

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

MAGA



Manual de Efectos del Fuego y Evaluación de Daños

PROYECTO FAO TCP/GUA/2903 (A)

Uso y manejo del fuego en áreas agrícolas y forestales del departamento de

Petén

Petén, mayo 2005

El presente documento fue elaborado por el Consultor internacional Herbert Haltenhoff D, quien contó con el valioso apoyo de los Consultores Nacionales Ing. Agr. Rudy Herrera M.Sc y Técnico. forestal Jorge Alberto Juárez Baldizón, con el concurso del Coordinador del Proyecto Ing. Agr. Mario Salguero.

CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN	4
2	INTRODUCCIÓN	5
3	CONCEPTUALIZACION DEL PROBLEMA	10
3.1	ÉPOCA DE CAMBIO DE MIRADA, GLOBALIZACIÓN Y CAMBIOS GLOBALES	11
4	CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO	15
5	EFFECTOS DEL FUEGO	21
5.1	EFFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN.....	25
5.2	EFFECTOS SOBRE EL SUELO	33
5.3	EFFECTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE	45
5.4	EFFECTOS SOBRE LA VIDA SILVESTRE	50
5.5	EFFECTOS SOBRE LA CALIDAD DE VIDA.....	52
6	EVALUACIÓN DEL DAÑO DE LOS INCENDIOS FORESTALES	53
6.1	ANTECEDENTES PRELIMINARES	56
6.2	EVALUACIÓN DEL DAÑO DE LOS INCENDIOS FORESTALES	59
6.3	EL IMPACTO DE LOS INCENDIO FORESTALES	62
6.4	METODOLOGIA PARA LA VALORACION DE PERDIDAS POR INCENDIOS.....	66
6.4.1	<i>Madera Comerciable y Pérdidas de otros Subproductos</i>	66
6.4.2	<i>Productos no Maderables</i>	68
6.4.3	<i>Matorrales</i>	68
6.4.4	<i>Agricultura</i>	69
6.4.5	<i>Daño y Destrucción de Propiedad</i>	69
6.4.6	<i>Efectos sobre el Paisaje y Recreación</i>	69
6.4.7	<i>Efectos en Cuencas Hidrográficas</i>	70
6.4.8	<i>Pérdidas de Productividad</i>	71
6.4.9	<i>Valores Ambientales</i>	71
6.4.10	<i>Fauna Silvestre</i>	71
6.4.11	<i>Impacto Atmosférico</i>	72
6.5	DAÑOS POTENCIALES.....	75
7	BIBLIOGRAFIA	76
8	ANEXOS	79
	<i>ANEXO 1</i>	79

1 PRESENTACIÓN

En el marco de los programas de CTPD de FAO, de colaboración Sur-Sur donde técnicos especializados de países en desarrollo colaboran y asisten a profesionales de otros países, se ha estructurado el desarrollo del Proyecto FAO/TCP/GUA/2903 “Uso y manejo del fuego en áreas agrícolas y forestales del Departamento de Petén”, cuyo propósito es *perfeccionar las actividades de uso y manejo del fuego y control de incendios en las áreas agrícolas y forestales en el Departamento de Petén.*

Uno de los componente específicos, de dicho Proyecto, esta referido a identificar y discutir las técnicas de “evaluación de daños ocasionados por los incendios forestales u otros tipos de situaciones de emergencias” y de acuerdo con los términos de referencias establecidos, se llevaron a cabo las siguientes gestiones:

1. Analizar los tipos de daños más comunes que producen los incendios forestales y/u otros eventos de emergencias (huracanes, tormentas, inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.) y los métodos utilizados en la actualidad para evaluarlos;
2. Analizar los aspectos institucionales y decisionales que están a la base de las actividades de evaluación de este tipo de daños y el tipo de consecuencias/impactos concretos que los mismos han originado;
3. Diseñar y proponer técnicas y metodologías más comunes y prácticas para la evaluación de los daños causados por los incendios forestales en término de sus efectos en el suelo, agua, aire, agricultura, vida silvestre, salud humana, ambiente, ciclo del carbono y sobre todos sus impactos y costos sociales y económicos;
4. Elaborar un programa de capacitación en evaluación de daños por incendios forestales y otras emergencias;
5. Llevar a cabo, a lo menos un curso nacional sobre el tema;
6. Elaborar un informe sobre el trabajo realizado e indicación de las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

En este contexto, y con la finalidad de dar cumplimiento a los puntos 1, 3, y 5, se presenta el siguiente documento denominado “Manual Efectos del Fuego y Evaluación de Daños”, preparado el consultor FAO, Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambientes PUC. Sr. Herbert Haltenhoff D.

Herbert Haltenhoff D.
Consultor CTDP-FAO
e-mail: hhaltenh@conaf.cl

2 INTRODUCCIÓN

Desde una mirada antropológica, desde los tiempos más lejanos de la historia, los pueblos se sintieron atraídos por el fuego y su gran poder. Además del respeto hacia el fuego, que les inducía a crear mitos, leyendas y formar parte de la liturgia de sus religiones, también pasó a representar triunfo, victoria, fiesta y diversión. Aún perduran en nuestros días muchas de estas tradiciones que de forma simbólica recogen aquellas creencias primitivas (MATALLANA Y GIL, 1996).

El fuego, conquistado por el hombre hace más de 500.000 años, constituyó uno de los elementos más importantes para el desarrollo de la civilización humana, planteándose que esto supuso avances incluso superiores a los de la Revolución Industrial de nuestra historia. Según RAMOS (1997) el fuego ha estado tan ligado al hombre que este no pudo más que aceptarlo, reconocer su papel y estudiarlo. Muchas civilizaciones usaron el fuego para ahuecar las canoas, endurecer maderas para éstos menesteres o para usarlas en instrumentos de caza o de trabajo. Fue tan usado para erradicar epidemias en épocas anteriores, que en Viena se le erigió un monumento.

Tan fuerte ha sido el impacto del fuego en la sociedad que se le ha infundido misterio a la relación hombre – fuego, tal es así que el culto del fuego, por su simbolismo forma parte de todas las religiones, siendo Vulcano el Dios mitológico del fuego para los Romanos y Hefeso el de los Griegos. También Foudo, Dios popular japonés de la antigüedad, era representado rodeado de llamas y los acusados que se encomendaban a él para probar su inocencia tenían que pasar tres veces sin quemarse sobre una alfombra de ascuas. Por su parte la religión Budista con su creencia en los diez infiernos, castigaba en cada uno los pecados de una gravedad, siendo el fuego el nivel máximo.

Según RODRÍGUEZ (1996) un elemento tan útil y tan de temer como el fuego, necesariamente tuvo que formar parte de la rica mitología prehispánica. Este autor cita a VAILLANT (1973) quien narra que el Dios Viejo (Huehuetotl), también conocido como el Dios del Fuego (Xiuhtecuhtli), fue importante en las civilizaciones teotihuacana y azteca.

En honor al fuego el hombre ha organizado fiestas con danzas y sacrificios humanos. En la obra “*La Rama Dorada*” (FRAZER, 1972) se narra que en toda Europa desde tiempo inmemorial los campesinos han acostumbrado encender hogueras en ciertos días del año y bailar a su alrededor o saltar sobre ellas. En unos lugares se decía que debían verse siete hogueras para que la aldea estuviera libre de incendios. Con sus bailes y cantos pensaban asegurar buenas cosechas o un matrimonio feliz en el año, o como medio de preservarse de cólicos. También en algunas aldeas las personas cruzaban los campos sembrados y esparcían las cenizas de las antorchas sobre el terreno, también ponían algo de ellas en los nidos de las aves, para que las gallinas pusieran huevos en abundancia durante el año.

En Chile, el fuego ha estado presente, primero como herramienta bélica cuando los conquistadores españoles quemaron los bosques para eliminar el refugio de los mapuches durante la época de la conquista. Posteriormente, durante los procesos de colonización del territorio austral mediante los roces a fuego para habilitar terrenos para la agricultura y la ganadería - donde se destruyeron más de 11 millones de hectáreas de bosques nativos, terrenos que posteriormente por problemas de clima y

fertilidad de los suelos quedaron en el abandono - y, en los tiempos modernos, como alternativa de manejo de los desechos agrícolas y forestales y por los incendios forestales generados por ignorancia, descuido y/o maldad en el uso del fuego (HALTENHOFF, 1993).

Según HEIKKILÄ, *et al.* (1993) en muchos países africanos las comunidades locales prenden fuegos porque creen que cuando la sequía es extrema la quema de árboles y/o pastos al formar grandes nubes de humo, este se combina con nubes de rocío en el cielo, o participan en la formación de nubes y por eso comienza la lluvia. Sin lugar a dudas esta cita llamará la atención de los especialistas en incendios forestales, ya que este fenómeno se presenta con bastante periodicidad en incendios de grandes extensiones en áreas de climas mediterráneos (HALTENHOFF, 1997).

Hoy día, todavía el hombre sigue adorando al fuego. Ejemplo de esto son las Fiestas del Fuego que se celebran todos los años en el Caribe o la llama de los Juegos Olímpicos, la olimpiada, cuyo nacimiento tuvo lugar en Grecia en el año 776 a.C. También en Guatemala el 7 de Diciembre realizan una celebración denominada “La quema del diablo”. En todos los casos, la adoración al fuego se disfraza de celebración.

Si enfocamos nuestro análisis desde otro punto de vista, con una mirada de la dinámica ambiental, el fuego, producido por los volcanes y los rayos, el primero proviene de la profundidad de la tierra y el segundo, de la atmósfera que la envuelve, ha sido uno de los elementos naturales más importantes en la dinámica de evolución de la tierra, junto al agua, y el oxígeno. Posterior al origen de la atmósfera, la formación de mares y a la aparición de la vida en éstos, los vegetales colonizaron la superficie terrestre hace unos 345 millones de años. Al convivir con los elementos mencionados anteriormente, mucho de los seres vivos pioneros manifestaron muerte, adaptación y/o evolución. Así, el fuego ha formado parte del complejo ambiente abiótico que junto al biótico ha influenciado la evolución de las especies, sin perder de vista que algunos factores limitativos como el agua, son más importantes que otros para la generalidad de los organismos (NÁJERA, 2003).

De acuerdo con lo anterior, el fuego ha estado presente siempre en la naturaleza. Es un fenómeno tan natural como lo pueden ser las precipitaciones. Su importancia desde el punto de vista ambiental estaría dada, entonces, por su frecuencia y su intensidad. Estas variables hacen aparecer el concepto de regímenes de fuego propuesto por BARNEY *et al.* (1984) y citado por RODRÍGUEZ (1996) al cual distinguen tres modelos de regímenes de fuego:

- 1.- Masas reemplazadas por incendios muy intensos y poco frecuentes: Acontecen cada 50, 500 ó más años en promedio, impactan prácticamente toda la vegetación. Son siniestros catastróficos. La baja frecuencia se debe a cambios en las condiciones propias del hábitat de la vegetación, que generalmente corresponde a etapas serales avanzadas o clímax, y coincidente con un agente de ignición natural y/o antrópico y sobre todo con cambios drásticos en los regímenes de precipitaciones. Un ejemplo de esta situación se dio en los bosques templados de Chile austral, donde en el sotobosque crece y se desarrolla una especie de bambú denominado *Chusquea quila*, el cual florece, en ciclos de 50 o más años, y posteriormente se seca quedando como un combustible altamente inflamable, esta situación se presentó en la década de 1920, época en que adicionalmente confluyeron otros dos fenómenos: uno natural, un periodo de disminución drástica de las

precipitaciones y otro antropológico, un proceso de colonización y demanda de tierras para la agricultura y la ganadería, la suma de ello condujo a que se quemaran del orden de las tres millones de hectáreas de bosques (HALTENHOFF; 1993)

2.- Masas mantenidas por incendios frecuentes y poco intensos: Se registran cada 5 o 25 años aproximadamente. Se presentan muchos incendios de baja a moderada intensidad sobre combustibles superficiales. La falta de continuidad vertical entre los combustibles dificulta que el fuego pueda coronar. Después del paso del fuego, que afecta cantidades moderadas de combustibles, se reduce temporalmente el peligro de incendio, hasta que nuevamente se genere la vegetación superficial y se acumulen combustibles muertos abundantes en el terreno. Ejemplo son los bosques de coníferas de Norteamérica.

3.- Masas reemplazadas por incendios muy intensos y frecuentes: Categoría intermedia, típica de vegetación arbustiva como chaparrales, donde la recuperación de la vegetación es a través de rebrotes de rizomas o germinación de semillas inducidas por el calor del fuego. Los siniestros afectan grandes cantidades de combustibles, con frecuencia de 25 a 50 años aproximadamente. Mucha de la fauna también se ve favorecida y los suelos no sufren gran deterioro en sus características químicas y físicas, aunque de encontrarse en laderas, estos quedan expuestos al peligro de erosionarse.

Como podemos desprender de los antecedentes antes expuestos, el fuego ha jugado un importante papel en la evolución de las civilizaciones y en la demanda del hombre por terrenos para su establecimiento, agricultura y ganadería, y en la disposición de los bosques y sabanas del mundo entero y de aquí surge la gran pregunta “*¿Control de los incendios forestales o manejo del fuego?*”.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante citar a ARNO (1996) quien señala que durante los últimos años los especialistas en recursos naturales han comenzado a sostener el concepto de la reintroducción del fuego en algunas de sus formas en ecosistemas dependientes del fuego, en los que el fuego juega un rol vital en la determinación de su composición, estructura y el paisaje. Los esfuerzos para eliminarlo han introducido problemas tan serios como los creados por conflagraciones accidentales (COOPER, 1961).

Por otra parte, si bien es cierto en términos globales, podemos plantear que la humanidad a pasado por grandes hitos en su evolución, en términos reales esta evolución no ha sido uniforme en todo el orbe. Hay sociedades, áreas geográficas y, más aún continentes, que poseen una marcada diferencia en su etapa evolutiva. Lo que implica que cualquier estrategia que se plantee para enfrentar una problemática de carácter ambiental debe estar estrechamente relacionada con la realidad económica, social y cultural del territorio donde ella se pretenda llevar a cabo.

En términos descriptivos y generales se han podido establecer los siguientes grandes hitos que han marcado la evolución de nuestra sociedad:

1. **Caza:** Donde el *hombre nómada – trashumante*, va en un continuo peregrinar detrás de los animales que le brindan sustento para su supervivencia y recolectando frutos silvestres como complemento de su alimentación.
2. **Agricultura:** Etapa en que el hombre antes gregario establece sus *núcleos poblacionales*, y aprende a domesticar los animales y a cultivar la tierra, para lo cual comienza a conquistar y a modificar el ambiente agreste que le rodea.
3. **Revolución Industrial:** Donde el *hombre como parte de la máquina* (Siglo XVIII) se distancia notoriamente de su relación dinámica con el medio ambiente, centrando gran parte de su esfuerzo en satisfacer la creciente demanda por bienes y servicios de esta nueva “especie”, el hombre urbano.
4. **Tecnología:** Donde el avance científico y tecnológico, se constituye en el *soporte que facilita las cosas* (Fines del Siglo XIX).
5. **Conocimiento:** a mediados del Siglo XX, el fenómeno de las comunicaciones en tiempo real conlleva al *acceso a todos* al conocimiento y no sólo de una elite. El cual anteriormente era sin duda el privilegio de algunos grupos sociales, lo que trajo consigo la categorización de las naciones como desarrolladas o subdesarrolladas.
6. **Era de la gente:** En esta nueva era, que se inicia entrando el Siglo XXI, esta centrada en *que el hombre sepa usar la tecnología y el conocimiento*, teniendo como base de sustento el *razonamiento y la educación*.

Nos podríamos entrar a preguntar, que relación pueden tener entre sí los aspectos antes descritos: fenómeno de la presencia del fuego en el medio ambiente, el hombre y el fuego en una simbiosis mística y de sustento, con los grandes hitos de la evolución de la humanidad, y el tema general que nos preocupa, *de uso y manejo del fuego y control de incendios en las áreas agrícolas y forestales en el Departamento de Petén* y en particular la *evaluación de daños ocasionados por los incendios forestales u otros tipos de situaciones de emergencias*. Aparentemente sin conexión.

En términos muy resumidos, podemos ir conectado una serie de fenómenos, tanto ambientales como sociales, que se han venido presentando en gran parte de las áreas clasificadas como tropicales y sub tropicales de todo el orbe y especialmente en el Departamento de Petén.

El punto de inicio de esta tesis, está dado por el cambio climático global. Si miramos hacia atrás, gran parte de estos territorios eran prácticamente inhabitables - selvas impenetrables, altos regímenes de precipitaciones, terrenos continuamente inundables, inadecuados para la agricultura y la ganadería. Los escasos grupos humanos que en ellos habitaban mantenían una estrecha simbiosis con el medio ambiente. El hombre era nómada y trashumante y construía pequeños núcleos poblacionales, generalmente cercanos a los grandes cursos de agua. Desde la perspectiva de la población urbana, eran terrenos distantes, lejanos, inmensurables e inagotables, pero inaccesibles. El fenómeno de los incendios forestales y las grandes quemas no existía como tal, el medio ambiente no lo permitía. Sin embargo, esto comenzó a cambiar radicalmente en las últimas décadas, el “clima

mejoró” desde nuestra perspectiva antropocéntrica, permitiendo mejores condiciones de habitabilidad, comenzaron a disminuir las precipitaciones, los terrenos se hicieron más accesibles y la “*vegetación más adecuada*” para ser eliminada mediante el uso del fuego, abriéndose de esta manera una “*oportunidad única*”, para la población que vivía en condiciones de marginalidad en los centros urbanos o semiurbanos y para grandes inversionistas, la tierra era de nadie, era para el primero que llegar a ella. La agricultura y ganadería era la solución a sus demandas, pero esta emigración y colonización ha tenido un común denominador: población sin educación, sin acceso a la tecnología y menos al conocimiento de las mejores prácticas para no depredar el medio ambiente. Sumado a esto Estados donde sus prioridades fundamentales pasan por erradicar la pobreza y mejorar la salud de la población, el tema medio ambiental se ve en muchos casos como un ***conflicto de interés entre el desarrollo y la protección y conservación de los recursos naturales.***

3 CONCEPTUALIZACION DEL PROBLEMA

Si analizamos muy someramente como ha evolucionado nuestra relación hombre-ambiente, el fuego ha sido uno de los instrumentos más utilizados en el manejo del terreno, tanto para plantaciones de especies agrícolas, como en áreas forestales o ganaderas. Según la FAO (1990), citada por RAMOS (1991) en el Siglo VI a.C. se quemaban plantas y árboles en Cerdeña, Italia, para facilitar la producción agrícola, práctica extendida en gran parte de Europa, lo que llevó a modificar sustancialmente el paisaje y disponibilidad de bosques naturales.

Hoy en día Centro y Sudamérica esta viviendo la misma situación que se vivió en Europa en siglos pasados, una gran expansión de la población y una creciente necesidad de terrenos para la agricultura, sumando a estos marginalidad económica y escasez de medios y conocimientos técnicos, nos da como resultado que esta sea una región del mundo donde los “*incendios forestales*” son prácticamente intencionados en su totalidad.

Según las observaciones de varios cronistas de la época de la Conquista (Siglo XVI), los mayas poseían el terreno en común, entregándose a cada hombre una parcela de 120 metros cuadrados, que roturaba derribando árboles y arbustos con hachas de piedra durante los meses de enero y febrero. Después, durante la estación seca, marzo a mayo, se quemaban los troncos tirados. Luego la ceniza se removía y extendía, quedando preparada la tierra para la siembra del maíz, que se realizaba con las primeras lluvias.

Esta descripción es válida en todos sus detalles en la actualidad. Los campesinos de México, Guatemala y Honduras continúan cultivando el maíz de esa manera en terrenos que se van arrebatando al bosque. Este sistema de cultivo tiene una peculiaridad notable, que lo diferencia del empleo del fuego por los agricultores europeos, los cuales poseen la capacidad económica para aplicar en cada cosecha fertilizantes de modo de contrarrestar el agotamiento natural del suelo. Este sistema de agricultura migratoria, no se realiza permanentemente sobre el mismo terreno, sino que se repite durante tres o cuatro años hasta que la producción de maíz desciende por agotamiento de la tierra. Entonces se abandona la parcela y se busca otra donde empezar la roturación de nuevo. Los niveles de producción son tan marginales que sólo les proporciona alimentos a ellos y a su familia.

Si bien es cierto la necesidad de producir maíz, el alimento básico, obliga a ir destruyendo el bosque, lo que se requiere es educar al campesino en el manejo de los suelos, a través de la rotación de cultivos.

Otro fenómeno presente en la mayoría de los asentamientos humanos cuyos márgenes limitan con terrenos de características forestales, son los denominados incendios forestales de la interfase. Donde su causa de origen pasan por varias vías: la eliminación de cobertura vegetal para expansión urbana, la quema de basuras o desechos y un proporción importante producto del descuido y/o maldad de la gente que circula por estas áreas.

Desde la perspectiva de manejo silvícola también es posible encontrar ejemplos sobre uso del fuego para fines productivos. Saveland *et al.* (1990) plantean que la quema controlada en *Pinus ponderosa* ha sido usada principalmente para reducir el peligro de incendios forestales (Weaver, 1957; Knorr, 1963; Kallander, 1969; Truesdell, 1969; Sackett, 1990; Harrington, 1981). También puede ser utilizada la quema para preparar el lecho de semillas para la regeneración natural (Schubert, 1974; Barrett, 1979; Sackett, 1984; Hease, 1986). Según Batista y Soares (1997) el fuego controlado es el más práctico método de manejo a ser usado cuando peligrosas concentraciones de combustibles se acumulan bajo plantaciones. En los Estados Unidos y en países de América Central se utiliza la quema controlada en las plantaciones de diversas especies de pinos buscando principalmente reducir los riesgos de incendios y favorecer la regeneración natural. En Australia se utiliza en las plantaciones de *Eucalyptus* spp. a fin de reducir la acumulación de combustibles sobre extensas áreas y facilitar el control de incendios. En la India se recomienda la quema controlada para las plantaciones de *Tectona grandis*. Estos autores reconocen, al igual que muchos otros, los efectos negativos de los incendios forestales, planteando que el fuego es la mayor fuente de daños a los bosques de todo el mundo. Además de quemar y destruir el bosque y otras formas de vegetación, los incendios pueden también afectar negativamente otros elementos del ecosistema como el suelo, la fauna silvestre y el aire atmosférico. Pero, también señalan que el fuego es una adecuada herramienta de trabajo silvoagropecuaria, siempre y cuando este sea utilizado tomando en consideración los aspectos técnicos básicos para mantenerlo bajo y para atenuar impactos negativos sobre el medio ambiente.

3.1 Época de cambio de mirada, globalización y cambios globales

Si bien es cierto, la importancia de los bosques ha sido reconocida desde hace mucho tiempo, en las últimas décadas estos han cobrado una importancia fundamental en la conservación de la dinámica ambiental global. Nuestros complejos ecosistemas forestales son parte integrante de los sistemas sustentadores de vida de la Tierra y desempeñan un importante papel en la regulación de la atmósfera y el clima. Cuando los bosques parecían ser inagotables e interminables, cabía muy bien su clasificación de recursos naturales renovables, más hoy día nos hemos percatado que ellos son los recursos naturales más frágiles y los menos renovables. De hecho ya se suman por cientos las especies extinguidas y por miles las en vía de extinción.

Entre 1990 y 1995 (FAO, 1997) se registró una pérdida neta estimada en 56,3 millones de hectáreas de bosques en todo el mundo, lo que entraña una reducción de 65,1 millones de hectáreas en los países en desarrollo, compensada en parte por un aumento de 8,8 millones de hectáreas en los países desarrollados. El ritmo de desaparición de los bosques aumenta cada vez más.

Entre las causas manifiestas de degradación forestal están: la excesiva recolección de leña, el sobre pastoreo, los incendios, el sobre aprovechamiento y las malas prácticas de aprovechamiento de maderas (FAO, 1997). Sin embargo, es tremendamente importante indagar y conocer cuales son las causas primarias o básicas de la degradación de los bosques. Desde una perspectiva social, tenemos al aumento exponencial de la población, la cual demanda cada vez más alimentación y combustible; el requerimiento de áreas de cultivo agrícola, las cuales son tremendamente escasas a nivel global; el

crecimiento de los núcleos poblados que demandan terreno; la marginalidad y escasa educación de la población rural; la búsqueda de bienes de rápido y fácil comercialización.

Como es por todo ya conocido, a nivel global se está generando un importante cambio climático, el cual tiene en su génesis varios agentes causantes, entre los más importantes se destacan, la contaminación atmosférica producto de la combustión de combustibles fósiles y la desaparición de los bosques, agentes básico en la dinámica reguladora del clima. Eventos como el fenómeno del Niño o la Niña, la desaparición de la capa de ozono, el aumento de la radiación ultravioleta, muestran desde hace varios años, a nivel mundial, una tendencia al aumento y hasta el momento irreversible. Estos cambios han traído como consecuencia directa, la disminución de la precipitaciones, prolongación de los periodos de sequías, en áreas tropicales y subtropicales, y en las áreas de climas templados, aumento significativos de la temperatura y disminución de las precipitaciones, en ambos casos ha quedado expuesta la vegetación a periodos prolongados a estrés hídrico haciéndola altamente susceptible a la ignición y propagación de los incendios forestales. Situación bastante beneficiosa para los procesos de expansión agrícola y de los centros poblados, áreas que antiguamente eran inhóspitas e inhabitables para el ser humano y para la ganadería, hoy día están presentando condiciones más benignas para su uso y vida en ellas.

En vista de este poco alentador panorama, cada vez más un importante número de organismos y organizaciones nacionales e internacionales han dedicado múltiples esfuerzos para desarrollar iniciativas con vistas a revertir esta situación. Entre los cuales es pertinente mencionar los siguientes:

- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Brasil en 1992 adoptó una declaración autorizada, sin fuerza jurídica obligatoria llamada “Principios para un Consenso Mundial respecto de la Ordenación, la Conservación y el Desarrollo Sostenible de los Bosques de todo tipo”. Estos principios y el Programa 21, programa medio ambiental para el Siglo XXI, también aprobado en dicha reunión, proponen medidas de conservación forestal para conservar los depósitos de carbono y para aumentar la seguridad de los mismos.
- La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) (OIMT, 1996) elaboró las Directrices de la OIMT sobre el Manejo de Incendios en los Bosques Tropicales con el fin de ayudar a los países productores y consumidores de esta organización a elaborar programas para reducir los daños causados por los incendios y ayudar a los administradores de los bosques tropicales y a los pobladores rurales a utilizar y aprovechar de forma segura los efectos beneficiosos de los incendios en los sistemas de uso de tierra.
- La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su resolución 44/236 de 1989 declaró a los años noventa como el “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales”, siendo uno de sus objetivos reducir los daños, la distorsión económica y la pérdida de vida causados por los incendios forestales mediante esfuerzos coordinados internacionales, especialmente en los países en desarrollo.

- La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y su Grupo Consultivo sobre Incendios Forestales han apoyado la armonización y el fortalecimiento de los esfuerzos de las agencias y programas de la ONU, así como de otras organizaciones internacionales incluyendo organizaciones no-gubernamentales, para reducir los impactos negativos de los incendios forestales sobre el medio ambiente.
- El Documento Marco EIRD-FAO-GFMC-GOFC/GOLD para el Desarrollo del Acuerdo Internacional sobre Incendios Forestales del 5 de Mayo 2004, resumiendo los esfuerzos internacionales concertados hacia una cooperación internacional en el manejo de incendios forestales.
- Los objetivos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de promover y fortalecer acuerdos bilaterales y multilaterales para la cooperación en el manejo de incendios forestales.
- Las metas y los esfuerzos conjuntos del Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CDB), de la Convención de Lucha contra la Desertificación de las Naciones Unidas (CLD), de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC), del Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques (UNFF) y de la Convención Ramsar sobre Humedales, para proteger los recursos mundiales de vegetación y la atmósfera mundial de las influencias negativas de los incendios forestales, así como la promoción de conocimientos y técnicas para utilizar el fuego beneficiosamente en el manejo de ecosistemas.
- Los objetivos y las recomendaciones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo - 2002) acerca de los esfuerzos internacionales de asegurar un desarrollo sostenible de los recursos mundiales de vegetación.
- Las recomendaciones de la Cumbre Internacional de Incendios Forestales (Sydney - 2003) con respecto a estándares internacionales comunes para el manejo de incendios forestales y la estrategia para fortalecer la cooperación internacional en el manejo de incendios forestales.
- Los objetivos de la Red Mundial de Incendios Forestales (RMIF) de la EIRD y su Secretaría, el Centro Mundial de Monitoreo de Incendios (GFMC), de aumentar sistemáticamente la cooperación intra e inter-regional en el manejo de incendios forestales en todo el mundo.

También se han emitido estrategias, principios y proyectos de investigación a distintos niveles. CIESLA (1996) señala que algunas de las estrategias y tácticas que hay que considerar en el desarrollo de los programas de ordenación de los fuegos forestales son aumentar la capacidad de los países en desarrollo de ejercer liderazgo en los programas de ordenación de los fuegos forestales, incluyendo la planificación de la prevención y de las medidas previas de pre-supresión y de supresión en sí y disminuir la dependencia de una o dos especies en los programas de forestación y de reforestación.

Todas estas iniciativas si bien es cierto entregan importantes lineamientos de políticas de conservación de los recursos forestales, es importante contar con el concurso real y decidido de los gobiernos de los países comprometidos en este problema. Por otra parte, es importante considerar que la deforestación, no sólo producto de los incendios forestales, es el síntoma de problemas estructurales más complejos, como la pobreza, la falta de educación, le escasez de tecnología y del conocimiento mínimo para aprovechar racionalmente los recursos forestales y usar el suelo en forma sustentable.

4 CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO

De forma paralela al desarrollo de los estudios sobre los rasgos físicos de los riesgos naturales, entre los que pueden considerarse los incendios forestales, es importante avanzar con mayor intensidad en el análisis de sus aspectos sociales, ya que son estos los que pueden aportar la condición de catástrofe. Desde una mirada global la deforestación es una catástrofe que esta ocasionando importantes cambios globales en el planeta, sin embargo, desde la mirada de un colonizador la eliminación de los bosques le da una esperanza de sobrevivencia. Las políticas de prevención y mitigación de catástrofes naturales serán sin duda más eficaces si se basan en el *estudio social del riesgo*, buscando el indispensable equilibrio entre conservación y desarrollo.

El interés de la inclusión de este tipo de análisis reside en la consideración de que los riesgos medioambientales y fracturas sociales no son cuestiones separadas. Los espacios de pobreza y marginación son con frecuencia el escenario de "catástrofes naturales" tanto en la escala mundial como en territorios mucho más reducidos, y la exclusión apriorística de la valoración de este aspecto, o su banalización, empobrece notablemente la investigación.

Es también posible, en un mayor grado de generalización, afirmar que todos aquellos procesos capaces de hacer ocasionalmente desembocar en catástrofe a los elementos del medio natural, son estrictamente sociales e inherentes a las características y organización del grupo humano en cuyo territorio se desarrollan los fenómenos en cuestión.

Los contextos políticos, institucionales, sociales y culturales determinan en gran medida la respuesta humana a la calamidad, no siempre encaminada hacia una gestión eficaz de futuros episodios. También se ha tratado de poner en evidencia el papel de ciertas instituciones intermedias, con frecuencia de carácter privado (empresas de seguros, promotoras inmobiliarias), que puede ser más relevante que los análisis a macroescala (comportamiento individual) o microescala (condicionantes estructurales) en determinados casos. En resumen, existe una intensa búsqueda en el amplio campo de los agentes y estructuras sociales de los aspectos que permiten la interpretación geográfica del riesgo.

No es muy aventurado generalizar afirmando que la práctica más habitual en el análisis de los riesgos naturales se orienta hacia el conocimiento de sus parámetros físicos, ocupando un lugar muy secundario el análisis de la componente social de estos eventos.

En cualquier caso lo que resulta evidente es que el estudio del "sistema natural" ha avanzado mucho en los últimos años, concretándose en aportaciones de aplicación inmediata y gran utilidad, como pueden ser las cartografías de áreas de riesgo potencial, el establecimiento de redes de información y prevención e incluso la regulación legal del sistema defensivo.

Cabe, sin embargo, considerar que *frente al comportamiento de los factores naturales generadores de situaciones potencialmente de riesgo, son las características y el comportamiento del grupo o*

grupos sociales en cuyo territorio se desarrollan estas, el factor que determina realmente la importancia e incluso la propia existencia de riesgo. Estas características y comportamientos determinan el grado en que puede verse afectado el conjunto social frente a los fenómenos naturales y la componente hostil que puedan incorporar. El umbral que establece el paso desde el riesgo potencial al de evento catastrófico no está determinado tanto por la oscilación de los parámetros naturales como por las peculiaridades de la ocupación humana del espacio afectado, hasta el punto de que en el interior de un territorio acotado como "espacio de riesgo" por ser el ámbito de un fenómeno natural de este carácter (área inundable, zona sísmica, etc.) los espacios de catástrofe pueden variar mucho, e incluso no existir en relación con rasgos de la organización de la población afectada.

Nos parece, por tanto, que el grado de vulnerabilidad de los grupos sociales afectados es un aspecto básico que debe considerarse en cualquier análisis sobre riesgos naturales que busque la comprensión del problema en su conjunto. Y nos parece también que a pesar de haberse utilizado con frecuencia este concepto no está perfilado su contenido de forma suficiente, arrojando con frecuencia procesos y situaciones de índole muy distinta.

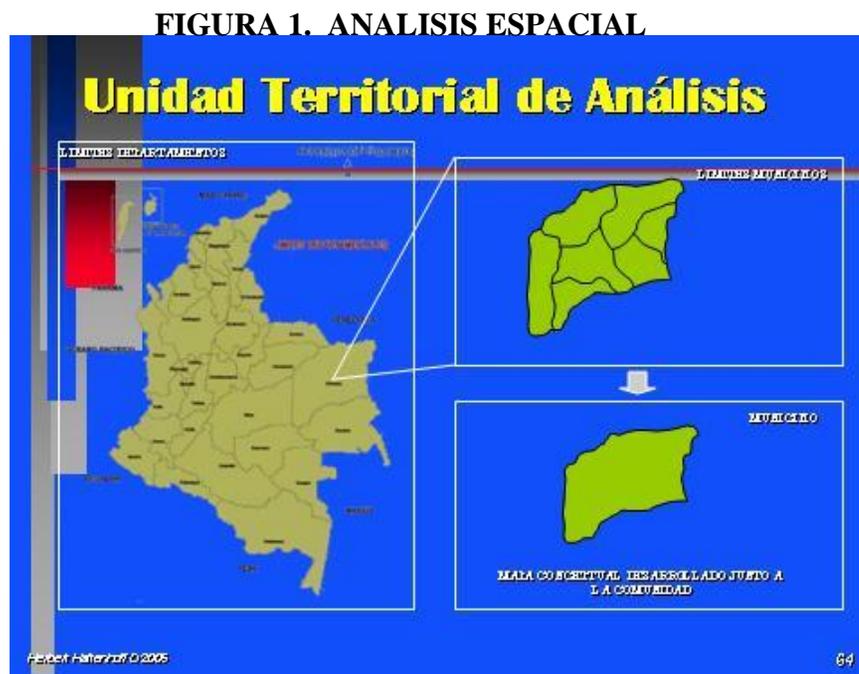
Conviene señalar que en análisis del riesgo natural en si mismo y en sus efectos, las *escalas a utilizar* no son necesariamente coincidentes. El fenómeno natural generador de situaciones de riesgo actúa a la escala impuesta por sus parámetros físicos, delimitando así los "territorios de riesgo potencial" que en el caso de inundaciones, por ejemplo, se determinan mediante cálculos de magnitud y recurrencia cartografiados sobre una base topográfica. A partir del establecimiento del ámbito físico del fenómeno todas las investigaciones encaminadas al análisis del impacto social de este han de hacerse a escala diferente, bien mayores o menores. La labilidad directa del grupo o grupos afectados demanda la primera, puesto que las diferencias que nos interesan están inscritas en el interior del marco del territorio de riesgo potencial. Por el contrario los efectos generados por el riesgo y las políticas de prevención o destinadas a paliar sus efectos, por su naturaleza parecen demandar un territorio más extenso.

En resumen, parece razonable que si se trata de conocer la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas en áreas de riesgo, el análisis se realice a la escala de mayor detalle posible, a partir de la referencia proporcionada por los parámetros físicos. Otros aspectos derivados de situaciones catastróficas y que trascienden a territorios más extensos que el propio escenario de la catástrofe demandan escalas bastante menores que las determinadas por el marco natural. Pretendemos indicar tan sólo que las características del evento catastrófico, y entre ellas su mayor o menor gravedad, dependen más bien de las diferencias en los rasgos de la ocupación humana en el interior de dicho espacio, y, por otra parte, del contexto mucho más amplio en el que la sociedad trata de administrar este tipo de acontecimientos.

El cambio de escala proporciona perspectivas distintas que hacen la comprensión del fenómeno mucho más coherente. Es incluso posible que sea el uso preferente de la escala impuesta por el contexto natural la principal causa de que el análisis de los riesgos naturales no se desarrolle en toda su potencialidad, y con ello se favorezca la pervivencia de comportamientos estereotipados de

incidencia muy negativa: recurrir exclusivamente a la gran cantidad de recursos de control frente al riesgo de incendios forestales o primar la solidez del edificio ignorando la planificación urbana en el caso de terremotos.

Para el caso de los incendios forestales, es importante efectuar los análisis de riesgos a partir de una escala nacional, donde se priorice la importancia relativa que tiene cada Departamento en el contexto general, de manera de focalizar en las áreas más críticas, las gestiones de prevención y control de los incendios forestales. Una vez determinados los Departamentos prioritarios, dentro de estos identificar los Municipios de atención prioritaria y dentro de estos últimos, en conjunto con las organizaciones municipales y la comunidad analizar, identificar y priorizar las gestiones tendientes a prevenir los incendios forestales y regular el uso del fuego como herramienta silvoagropecuaria. Esta metodología permite adicionalmente junto a la comunidad trabajar en el Plan de Desarrollo Municipal y el Plan de Atención de Emergencias, cualquiera sea su génesis. A modo de ejemplo se muestra el modelo desarrollado en Colombia. (Figura 1)



Fuente: Haltenhoff, 2005

Sin duda el término "**vulnerabilidad**" tiene una larga tradición en el campo del análisis de riesgos naturales, generalmente utilizado como evaluación de la posibilidad de que un evento catastrófico se produzca, o como expresión de los daños potenciales que puede incluir, expresado en pérdidas de bienes o vidas humanas.

Sin embargo, el sentido que se le debe dar al concepto de vulnerabilidad según CALVO (1977) "*es el grado de eficacia de un grupo social determinado para adecuar su organización frente a aquellos cambios en el medio natural que incorporan riesgo. La vulnerabilidad aumenta en relación directa con la incapacidad del grupo humano para adaptarse al cambio, y determina la intensidad de los*

daños que puede producir". El concepto de vulnerabilidad es, por tanto, estrictamente de carácter social.

La vulnerabilidad se manifiesta como un conjunto de factores en interacción que convergen en un grupo humano particular. Tiene como resultado diversos grados de incapacidad para responder ante la presencia de un riesgo determinado y sus causas son tanto internas como externas al grupo. De forma esquemática vamos a esbozar estos factores describiéndolos por separado, aunque conviene insistir en que no actúan así en la realidad, sino combinados y en íntima interdependencia.

En la base de las actitudes sociales ante los riesgos naturales se encuentra la concepción predominante sobre la índole de estos fenómenos. Esta puede variar desde la "voluntad de los Dioses" hasta la presunción de voluntariedad en la naturaleza que incorporan numerosas culturas. Más recientemente las interesadas manipulaciones que sobre un acontecimiento pueden hacerse, buscando eludir responsabilidades en la planificación y ordenación del territorio o no perjudicar expectativas económicas, tienden con frecuencia a subrayar su "inevitabilidad" antes que a asumir un nivel de conocimientos insuficiente o simplemente un error o un abuso.

El caso del impacto de un incendio forestal ocurrido en Chile en el verano del año 1968, en el que se destruyeron 268 casas en menos de 5 horas, parece ser un buen ejemplo para el análisis de esta propuesta. Esta además recordar que, la situación antes señalada, se ha estado presentado con inusitada frecuencia en muchos países alrededor del mundo.

Es claro no ignorar al menos dos cuestiones de enorme importancia. Ante todo que el calificativo de catástrofe no puede aplicarse al hecho en sí, sino a haber provocado la destrucción de 268 casas construidas en un área de lomajes sinuosos, con vegetación altamente inflamable y sin las más mínimas medidas de prevención de incendios (cortafuegos). Por otra parte que la existencia de riesgo potencial era conocida, pues se disponía de información sobre la dinámica de comportamiento del fuego, el cual señala que las quebradas se transforman en verdaderos cañones de convección del fuego y cualquier actividad para su control es imposible de llevar a cabo. También había constancia de acontecimientos similares anteriores en otras áreas del país.

Sin pretender restar valor al análisis de los parámetros físicos (clima, vegetación, pendientes, etc.) para explicar el comportamiento de este incendio en particular, parece razonable interrogarse sobre otras cuestiones, aquellas que precisamente prestan carácter de catástrofe a un acontecimiento que comporta riesgo pero que forma parte del contexto natural del área. Naturalmente estas otras cuestiones son bien diferentes, y se refieren tanto al ámbito individual (percepción del riesgo, características económicas de la población, nivel de conocimiento del problema), como al institucional-administrativo (legislación, política de uso del territorio y expansión urbana), o al económico (valor del suelo, iniciativas locales de desarrollo, iniciativas de mitigación del riesgo). En resumen, toda una compleja trama de realidades cuyo resultado final ha favorecido un desenlace catastrófico.

Resulta, por tanto, difícil atribuir a un sólo factor, o incluso a un número reducido de estos, la ocupación inadecuada de espacios con riesgo. Con frecuencia se ha primado la percepción de los

rasgos medioambientales, que puede conducir a consideraciones muy acertadas e incluso totalmente erróneas.

La compleja elaboración de un juicio socialmente compartido sobre estas materias, que determinará la actitud general adoptada por el grupo humano es, por tanto, un aspecto de gran importancia y no es desdeñable el papel en este proceso de los medios de comunicación. Pero también existen numerosos condicionantes externos cuyo papel no puede ignorarse.

Se ha afirmado con frecuencia que la razón fundamental de que existan poblaciones instaladas en sectores muy proclives a la presencia de riesgos naturales se explica porque "*afortunadamente las ventajas habituales son superiores a los inconvenientes episódicos*" (DEMANGEOT, 1989). Posiblemente sea esta una generalización excesiva. De hecho parece que a partir de la valoración social existente sobre la posibilidad de que un riesgo se convierta en catástrofe, y de la estimación de la posibilidad de evitarla o al menos paliarla, todo un abanico de factores sociales en un sentido muy amplio adquiere un papel de importancia, tanto en las formas de ocupación del territorio como en el desarrollo de dichos acontecimientos.

En forma muy esquemática es importante hacer un breve análisis de cuáles son los componentes principales del comportamiento social - *los componentes de la vulnerabilidad* – que posibilitan que acontecimientos naturales tengan un desenlace catastrófico.

Llegados a este punto hay que señalar que cuando el comportamiento social es inapropiado se abre la puerta del amplio capítulo de las catástrofes con origen humano, a las que aquí no aludimos, pero cuya importancia es muy grande y su crecimiento constante. Abordada la primera de estas cuestiones hasta ahora de forma bastante general (PATTERSON, 1994) nos parece un campo abierto a la investigación con amplias posibilidades, como muestran algunas aportaciones del grupo multidisciplinar iberoamericano "La Red" (*Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*).

Hasta hoy quizá el aspecto advertido con mayor frecuencia en el análisis sobre riesgos y al que se suele considerar como componente básico de la vulnerabilidad son los de caracteres económicos de los grupos afectados. Esencialmente consiste en destacar la relación directa entre *bajos niveles de renta y alta intensidad del impacto* causado por acontecimientos que incorporan riesgo.

En este terreno se ha llegado a establecer estadísticas que muestran la relación entre renta y mortalidad en caso de desastre. Aún considerando que los países o grupos sociales más ricos siempre tienen más que perder, parece que también son capaces de defenderse mejor de la posibilidad de esa pérdida.

La *cohesión social* se muestra como otro de los factores que componen la vulnerabilidad, de tal modo que las sociedades que poseen una trama compleja de organizaciones pueden absorber más fácilmente las consecuencias de un desastre y reaccionar con mayor rapidez que las que no la tienen. La cohesión social puede manifestarse tanto formalmente, a través de organizaciones oficiales o sectores de la administración pública especializados en el tema, como de forma espontánea entre

grupos que por diversas razones se involucran en estas cuestiones. Las estrategias de prevención y mitigación de los efectos de una catástrofe que puedan establecerse y el análisis de su eficacia debe estar sustentadas en la participación ciudadana y la búsqueda de mecanismos cooperación solidaria.

El **marco jurídico y político**, en una escala diferente pero íntimamente ligado con el aspecto anterior, reviste también una gran importancia. La existencia o no de regulaciones legales encaminadas a paliar los efectos del riesgo y su adecuación a la realidad que pretenden ordenar, el respeto a los condicionantes medioambientales que incorpore la regulación de actividades capaces de generar o favorecer procesos de riesgo, y sobre todo la posibilidad de que el marco político facilite o no la adopción de medidas adecuadas o en líneas generales el complemento de las políticas sobre el territorio y el medioambiente.

La elección e implantación de **medios técnicos de defensa** puede también considerarse como factor de vulnerabilidad. Ante todo porque pueden no existir, pero en el caso de que los haya porque pueden ser adecuados o no a la función defensiva que se les atribuye, incluyendo un diseño desafortunado que los convierta a ellos mismos en causa o amplificador del desastre.

Por último el **factor cultural-educativo** incluye el tipo de información que se suministra a la población sobre los acontecimientos a que nos venimos refiriendo, que alcanza incluso a la generación de situaciones de "falsa seguridad", señalada hace ya bastante tiempo (BEYER,1974) respecto a áreas inundables, áreas de deslizamientos o avalanchas, áreas de riesgo volcánicos, etc. La elaboración de actitudes en la población mediante mensajes a través de medios de comunicación o incluso a través de los procesos educativos formales y sistemáticos es una tarea sin duda de vital importancia, sin embargo, plantea numerosas cuestiones: aislamiento, analfabetismo, género y otros.

La importancia de este último aspecto señalado es de tal grado que posiblemente convendría añadir la "**vulnerabilidad mediática**" a las distintas facetas de la vulnerabilidad global esbozadas. Consistiría esta básicamente en el hecho de que una catástrofe puede ser maximizada, minimizada o incluso ignorada según el tratamiento que de ella hagan los medios de comunicación.

El tratamiento de estas realidades depende en bastante grado de los intereses y coyunturas políticas o económicas que generan, a veces, sesgos informativos no siempre involuntarios. Incluso ciertos trabajos de investigación, preocupados por buscar la base del aumento constante del número de desastres en el cambio climático, la deuda externa, la erosión del suelo, la deforestación e incluso el obvio crecimiento poblacional, facilitan extraordinariamente que la información recibida a través de los medios de comunicación sea cuando menos confusa, sino falsa. Referirse a una vulnerabilidad global creciente generada por fenómenos también globales tiene el peligro de hacernos retroceder hacia un "acto de Dios", y con toda evidencia oculta fenómenos más concretos y asequibles, favoreciendo la desesperanza (CALVO, 1977).

Ni la escala de análisis adecuada es la mundial, ni los riesgos naturales se manifiestan exclusivamente en el llamado Tercer o Cuarto Mundo, aunque allí puedan ser más evidentes en ocasiones. De ahí que ciertas catástrofes o ciertos grupos humanos vulnerables puedan permanecer ocultos si la información que se proporciona sobre ellos o no existe o es incorrecta.

Otro tratamiento merecen ciertas manipulaciones de los datos técnicos encaminadas a proporcionar coartadas de inevitabilidad a actuaciones incorrectas de responsables públicos. En este caso resulta obligado ir más allá del ámbito estrictamente científico y tratar de poner en evidencia estas conductas de la forma más clara posible.

Quizá el problema más grave que afecta a la evaluación de la vulnerabilidad de los grupos humanos ante riesgos medioambientales sea la amplitud del concepto que acabamos de esbozar. La reflexión sobre la validez de los indicadores sociales ampliamente utilizados en geografía social pero procedentes en gran medida de otras disciplinas, y la búsqueda de nuevas herramientas descriptivas más afinadas, es una labor que conviene enfrentar en el corto plazo.

En conclusión, lo que se ha pretendido en estas líneas es llamar la atención sobre un campo de investigación prácticamente vacío y excluido de las “ciencias naturales”, y que es lo suficientemente amplio y sugestivo para intentar integrarlo, en el ámbito de las preocupaciones sobre la relación asentamientos humanos y medio ambiente. Su inmediata vertiente de aplicabilidad a problemas casi cotidianos en el ámbito mundial lo hace, por que no decirlo, aún más atractivo.

5 EFECTOS DEL FUEGO

Es indudable que no se puede ser taxativo en cuanto a efectuar una valorización generalizada si el fuego es beneficioso o perjudicial sobre los ecosistemas naturales o si éste es una herramienta positiva o negativa para el manejo de los residuos de producción agrícola o forestal.

Ha renacido el hecho natural e inequívoco de que el hombre es sólo una parte de sistemas más amplios y complejos, al igual que los vegetales y otras especies animales, y que la parte nunca puede dominar el todo. Los tiempos modernos son tiempos de cambios, supeditados al avance tecnológico, al nuevo concepto mundial de globalidad y, principalmente, al nuevo paradigma científico enfocado en la Teoría General de Sistemas.

Un ecosistema o su modelo necesitan ser explicados desde el exterior, formando parte de un sistema más amplio y, éste a su vez, como parte de otro sistema aún más extenso. La persistencia o estabilidad de sistemas limitados sólo se comprende porque forman parte de sistemas más amplios y la estabilidad de éstos es consecuencia de su organización jerárquica.

Durante mucho tiempo se ha pensado, principalmente desde el punto de vista económico, que la utilización del fuego trae consigo más ventajas que desventajas. No obstante, en la actualidad existe la clara convicción de que la alteración de los ecosistemas está íntimamente relacionada con la pérdida de la productividad de ellos, fundamentalmente por el daño que se causa al suelo. Por ello, cada vez son más estudiados los procesos de transformación de los recursos naturales, incluyendo el efecto fuego en la eliminación de residuos de cosecha y por los incendios forestales, el cual muchas veces juega un papel gravitante. No nos olvidemos de nuestra historia natural, que ha sido marcada

profundamente mediante el uso irracional del fuego, denotando una especie de silvofobia y desprecio por nuestros ecosistemas naturales.

En la Figura 2 se entrega un diagrama, en el cual se pretende mostrar una visión sistémica de la influencia que tiene el fuego sobre nuestro entorno directo.

FIGURA 2
IMPACTO DEL FUEGO



Fuente: Haltenhoff, 1997

Sin duda, el efecto del fuego sobre el medio ambiente puede ser perjudicial o beneficioso, dependiendo del comportamiento de éste (magnitud, intensidad, duración, temperatura, periodicidad) de dónde, cuándo y cómo se presente o se aplique; sus efectos, además, pueden ser directos o indirectos y éstos de corto, mediano y largo plazo.

Una clasificación de los efectos del fuego a considerar es la propuesta por DONOSO (1981), la cual identifica efectos directos e indirectos:

- **Efectos Directos:** Consisten en el daño y más frecuentemente la muerte de los organismos, flora y fauna, que conforman el ecosistema forestal.
- **Efectos Indirectos:** Son aquellos que se refieren a las alteraciones que se producen en el medio ambiente y no son apreciables a simple vista.

Por otra parte, la destrucción del bosque cualquiera sea su tipo implica la pérdida de productos y alteraciones ambientales, existiendo una variada gama de efectos que pueden resultar de las acciones del fuego, algunas inmediatas y otras difíciles de detectar en el corto plazo.

Entre más compleja sea la estructura del bosque mayor será el impacto del fuego. Pudiendo identificarse y describirse *alteraciones inmediatas* como: la pérdida de la biodiversidad, flora y fauna; la destrucción del hábitat natural de ellas y la alteración de los ciclos productivos forestales; y alteraciones donde su impacto son *a mediano y largo plazo*, entre la que se tiene el aumento de los procesos de desertificación; desequilibrio del ciclo del agua (pérdida de fuentes naturales productoras); erosión (desde la contaminación de los cursos de agua con pequeñas partículas de suelo y cenizas hasta avalanchas y deslizamientos por inestabilidad y saturación del suelo); embancamientos de ríos, lagos y puertos; pérdida de la belleza escénica y lugares de esparcimiento al aire libre; contaminación ambiental producto del humo; recalentamiento del ambiente por pérdida de la vegetación amortiguadora de las radiaciones solares y pérdida de productividad de los suelos.

Por otra parte SPURR y BARNES (1980) y PRITCHETT y FISHER (1987) cit. p. SANTELICES Y LITTON (1996) señalan que la influencia del fuego sobre los ecosistemas boscosos se manifiesta en los siguientes aspectos:

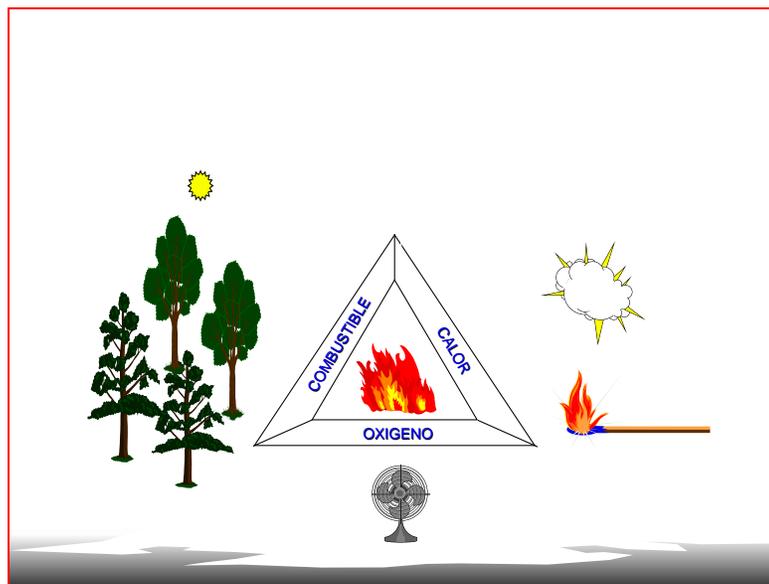
- Propiedades físicas y químicas del sitio.
- Acumulación de materia seca.
- Adaptación genética de las especies.
- Establecimiento, desarrollo, composición y diversidad de las especies. De este modo determina, a menudo, las relaciones en la comunidad, especialmente en las sucesiones vegetales.
- Hábitat y poblaciones de vida silvestre.
- Presencia y abundancia de insectos forestales, parásitos y hongos.
- Presencia y abundancia de microflora y microfauna en el suelo.

En esta descripción preliminar, es importante también remitirse a la definición de fuego. El cual es: la descarga simultánea de calor, luz y llama, generada por la combustión de un material inflamable. Fenómeno físico-químico resultante de la rápida combinación de oxígeno con una sustancia llamada combustible, en presencia de calor, con destrucción del combustible (combustible + calor + oxígeno). Desprendimiento de energía calórica, vapor de agua, elementos volátiles y producción de cenizas. Se caracteriza por la aparición de llamas (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

En base a esta definición se desprende que para que éste exista, se deben conjugar tres variables fundamentales: combustible, calor y oxígeno, donde el combustible está referido a las características de la cobertura vegetal presente en el medio (estructura, volumen, continuidad espacial, contenido de humedad y si ésta está viva o muerta); el calor a la fuente generadora del fuego (natural a través de tormentas eléctricas o de generación por el hombre) y el oxígeno como comburente, esta triada es lo que constituye el denominado Triángulo del Fuego. De no existir una de estas tres variables este fenómeno no se presentará (Figura 3).

FIGURA 3

TRIANGULO DEL FUEGO



Fuente: Haltenhoff, 1997

Del punto de vista técnico, los incendios forestales son entendidos como: fuego que se propaga libremente sin límites preestablecidos que consume material vegetal leñoso o de cualquier otra característica que se encuentre incluido en áreas rurales denominadas forestales, entendiéndose por tales a los terrenos de aptitud preferentemente forestal y aquellos que sin serlo tengan en la actualidad un aprovechamiento forestal (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

Estos se presentan de diferente forma, dependiendo de su localización espacial, como:

Incendios subterráneos: Son aquellos que se producen en zonas en que la capa vegetal es muy profunda, quemando las acumulaciones de materia orgánica sobre el suelo mineral. Son de muy difícil control, pues desprenden poco humo y se propagan en forma subterránea. Son los incendios más destructores por superficie afectada. Desarrollan altas temperaturas y se propagan lentamente (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

Estos incendios pueden matar a todas las plantas que desarrollan su sistema radicular en la materia orgánica. Generalmente se presentan asociados a condiciones de sequía. Sobre este tipo de fuego BARBOUR *et al.* (1987) cit. p. SANTELICES Y LITTON (1996) opina que destruye el 100% del suelo y lleva al ecosistema a una fase de sucesión primaria, necesitándose 10.000 años para su recuperación.

Incendios superficiales: Son aquellos que se propagan por la superficie del suelo, quemando pastos, arbustos, tocones, etc. En ocasiones y en forma aislada, queman árboles completos (coronación). Se propagan en forma rápida con relativo poco desarrollo de calor. Causan daño fundamentalmente en la vegetación menor (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

Incendios de copas: Son aquellos incendios forestales que se propagan por las copas de los árboles. Su control es prácticamente imposible, debido a su alta velocidad de propagación. Para que ocurran éstos deben concurrir varios factores: gran concentración de combustibles, sequías prolongadas, alta velocidad del viento y bajo contenido de humedad del combustible (vegetación) (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

Las otras formas como se presenta el fuego, en los terrenos rurales, es a través de:

Los roces a fuego: corta de la cubierta vegetal de bosques o montes, en general, hecha con el objeto de eliminar posteriormente el combustible obtenido, por medio del fuego (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993). Práctica muy difundida en las décadas pasadas. Considerando que en muchos de estos roces a fuego, no se toman las más mínimas medidas de seguridad, estos se han constituido como causa origen de incendios forestales de grandes magnitudes.

Quemas controladas: acción de usar el fuego para eliminar vegetación en forma dirigida, circunscrita o limitada a un área previamente determinada conforme a normas técnicas preestablecidas con el fin de mantener el fuego bajo control. (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993). Esta práctica es la más extendida en Chile y está circunscrita fundamentalmente a la eliminación de los residuos de cosecha agrícola y de los residuos del manejo y explotación forestal.

Las únicas consideraciones técnicas que en la actualidad toman los usuarios de este tipo de quemas durante su ejecución es mantener el fuego bajo control y que éstas no se constituyan en un incendio forestal. Aspectos relacionados con el impacto del fuego sobre el ambiente (suelo y atmósfera) no son tomados en cuenta.

Quemas Prescritas: acción de usar el fuego para eliminar vegetación en forma dirigida, circunscrita o limitada a un área previamente determinada conforme a normas técnicas preestablecidas con el fin de reducir al mínimo el impacto ambiental negativo (CÁRCAMO y HALTENHOFF, 1993).

Es indudable que el fuego, de ser necesario como alternativa de manejo, debe ser utilizado bajo este último precepto.

Considerando los antecedentes antes expuesto en términos generales a continuación se analizan, de acuerdo a una revisión bibliográfica, los efectos que tiene el fuego sobre los ecosistemas forestales.

5.1 Efectos sobre la Vegetación

Resulta evidente que el estudio del "sistema natural" ha avanzado mucho en los últimos años, concretándose en aportaciones de aplicación inmediata y gran utilidad, como pueden ser la descripción de las dinámicas ambientales, las representaciones cartográficas, el establecimiento de redes de información y prevención de fenómenos ambientales e incluso en la regulación legal de los sistemas defensivos.

Cabe, sin embargo, considerar que frente al comportamiento de los factores naturales generadores de situaciones potencialmente de riesgo, como son los incendios forestales, son las características y el

comportamiento del grupo o grupos sociales en cuyo territorio se desarrollan estas, el factor que determina realmente la importancia e incluso la propia existencia de riesgo. Es así como al indagar sobre el impacto del fuego sobre el medio ambiente, todo el conocimiento está circunscrito a la descripción del fenómeno en los países de climas mediterráneos y templados. Condicionado por varios aspectos, la presencia del fuego en forma natural, su impacto sobre la población, su uso como herramienta de trabajo silvoagropecuaria y la capacidad tecnológica para estudiar sus efectos.

Considerando que a pesar de todos los esfuerzos institucionales, el fuego se ha convertido en un evento casi periódico, es importante iniciar estudios detallados y concretos sobre lo que realmente ocurre en el bosque que es afectado por un incendio, pues en la temporada de 1998, Guatemala fue el segundo país de Centroamérica en cuanto al número de esos eventos registrados (Proyecto Frontera Agrícola 1998). En algunas áreas donde ocurrieron incendios forestales el bosque se regenera naturalmente; sin embargo no se conoce el efecto de esos siniestros ecológicos, tomando en cuenta que se desconocía, en forma concreta, la composición y estructura horizontal de la vegetación existente antes de la ocurrencia de los incendios; solamente se ha podido expresar la extensión de bosque afectado y la intensidad de los mismos. (PINELO, 2001)

Tomando en consideración estas limitantes, a continuación se entrega un relación de los antecedentes bibliográficos disponibles, sin lugar a dudas habrán muchos antecedentes que no se pueden extrapolar al territorio donde se ha llevado a cabo el presente Proyecto, pero ponen de manifiesto la necesidad de abrir líneas de investigación aplicada en ellos.

Partiendo desde lo más general, la presencia recurrente del fuego en los bosques y formaciones vegetacionales de climas mediterráneos, templados y boreales, las especies han desarrollado distintos tipos de adaptaciones para sobrevivir al fuego. De acuerdo con TAPIAS Y GIL (2000) estas pueden agruparse del siguiente modo:

1.- **Estrategia resistente: bancos vegetativos.** Esta expresión incluye las adaptaciones que permiten a las especies sobrevivir al fuego anulando sus efectos nocivos. La regeneración vegetativa de las plantas ocurre a partir de algún órgano, generalmente subterráneo, que no es dañado por el fuego. Las adaptaciones más típicas para evitar los daños del fuego son las cortezas gruesas y aislantes de los árboles (*Pinus* spp.) y la protección de las yemas apicales por las hojas, como ocurre en algunos helechos, cicas o monocotiledóneas. Varias especies tienen la capacidad de originar brotes a partir de yemas latentes. Estos órganos, normalmente subterráneos, pueden ser: bulbos, rizomas, base de fuste, tubérculos y lignotubérculos.

2.- **Estrategia resiliente: bancos de semilla.** En otras especies, los individuos adultos mueren por la acción del incendio y es posible la recuperación de la población gracias al banco de semillas que tenían acumulado en el vuelo (banco aéreo) o en el suelo (banco edáfico). El término banco de semillas se refiere al conjunto de propágulos de origen sexual, potencialmente capaces de reemplazar a plantas adultas. El objetivo del banco es preservar el acervo genético, consecuencia del proceso de selección natural. El fuego produce un incremento de la germinación de las semillas almacenadas en el banco como consecuencia de dos procesos: estimulación de la germinación y estimulación de la dispersión de semillas.

Otras adaptaciones que presentan algunas plantas son en general, espesor de corteza (dificulta la penetración del calor hacia el cambium), reducida inflamabilidad (especies con follaje suculento y baja producción de resinas), producción de cono serotinos (liberando sus semillas después de haber sido sometidos a grandes temperaturas durante un incendio o una quema), capacidad de brotar (por yemas adventicias presentes en el fuste o en las raíces), floración y fructificación precoz, viabilidad de las semillas, base de copa a gran altura, rápido crecimiento inicial (KIMMINS, 1987; cit. p. PEÑA, 1994).

Los ecosistemas adaptados o que han evolucionado bajo la acción del fuego son aquellos bosques boreales de Norteamérica y Europa, los bosques de coníferas del noroeste de los Estados Unidos y los bosques esclerófilos y matorrales (chaparrales) de las regiones con climas mediterráneos.

En Chile, el fuego no se presenta en forma natural a través de la presencia de tormentas eléctricas éste no posee un rol natural en la dinámica de corto plazo en la evolución de los ecosistemas forestales de los bosques templados de la zona sur del país. Sin embargo, en el largo plazo a jugado un rol importante la presencia del fuego producto de las erupciones volcánicas.

Los incendios superficiales aún de baja intensidad matan las plántulas y árboles pequeños, especialmente si el suelo y la materia orgánica está seca. Situación común en Chile durante la temporada de incendios forestales (noviembre a abril de cada año).

Sin embargo, son los incendios de copas o la combinación de incendio superficial y de copas, los que causan los mayores daños en los bosques en pie. Tales incendios generalmente se presentan durante condiciones adversas de clima (altas temperaturas y baja humedad relativa) y periodos de sequía prolongada, y donde grandes cantidades de combustible están disponibles, como es el caso de desechos de podas y raleos especialmente en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus* spp. en pie.

Estos también pueden alterar el carácter del bosque. Un bosque valioso, en algún tiempo, puede convertirse en uno de crecimiento achaparrado, como es el caso de los renovales de Lenga (*Nothofagus pumilio*), en la zona sur de Chile, que después de los incendios forestales ocurridos entre 1920 y 1930, aún no han recuperado su estructura arbórea.

Sin embargo, el fuego puede no matar un árbol, pero sí dejar cicatrices si la intensidad del fuego es de tal magnitud como para penetrar la corteza, haciéndolos propensos a enfermedades y plagas. Como es la situación ocurrida en Guatemala con los bosques naturales de *Pinus caribaea*, los cuales posterior a una afectación por incendios forestales fueron atacados violentamente por un insecto taladrador de la madera, lo que causo su destrucción en gran parte se área sur del Departamento de Petén.

Los árboles poco resistentes al fuego, disminuirán su crecimiento y morirán posteriormente en período de sequía. Pueden también ser atacados por insectos o derribados por el viento, años después del incendio.

Según PINELO, 2001, a pesar de que el incendio favorece la dinámica del bosque remanente, presente en el Departamento de Petén, (mayor incremento diamétrico, ingresos y regeneración natural), el fuego también causa efectos negativos en esa vegetación ya que la calidad de fuste de los árboles (un 24% más que antes del incendio) se ve significativamente afectada o dañada; entre ellos las de especies actualmente comerciales. Sin lugar a dudas, el incendio rastrero afecta más a los individuos de categorías de crecimiento menores, en su orden: brinzales (87% muertos dos meses después del incendio) y latizales (23% y 54% muertos dos meses y 2.3 años después del fuego, respectivamente). La mortalidad en los individuos a partir de 10 cm dap, después de 2.3 años, asciende a 20%. Debido a la poca profundidad del suelo, se considera que la pendiente del terreno influye de alguna manera en la mortalidad, ya que a mayor pendiente, la caída de árboles aumenta y provoca efectos adicionales indirectos del incendio (más individuos muertos y dañados por la caída de árboles).

En los bosques mediterráneos el período de retorno del fuego fluctúa entre 15 a 100 años, dominando en estas zonas fuegos frecuentes pero de baja intensidad. La zona mediterránea de Chile tiene un período de retorno más largo que el promedio de otras áreas. CHANDLER *et al.* (1983) cit. p. PEÑA (1994) da una estimación de 272 años, esto se explica debido a la carencia de tormentas eléctricas secas que caracterizan a las otras zonas mediterráneas.

Por otra parte WALTER (1968) cit. p. AVILA *et al.* (1983), consideró al fuego como un factor ecológico importante en la composición florística del paisaje de climas mediterráneos. LE HOVEROU (1973) cit. p. AVILA *et al.* (1983), comunica que la vegetación mediterránea está dominada por especies pirófitas y que las zonas periódicamente quemadas son más complejas en comparación y estructura que las no quemadas esporádicamente. Esta respuesta se podría deber a que las plantas están adaptadas a permanentes “stress” hídricos, y tendrían una cierta capacidad para responder ante el fuego.

ALTIERI (1977) cit. p. PEÑA (1994), propone el uso de quemas prescritas para mantener el estado sucesional de la vegetación mediterránea de Chile y a su vez reducir la carga de combustible, evitando así los incendios de alta intensidad.

Basado en lo anterior y aún cuando algunos autores reportan que después de un incendio el 50% o más de la vegetación arbustiva de Chile se regenera (MOONEY y DUNN, 1972; cit. p. PEÑA, 1994), se puede decir que una gran proporción de la vegetación natural no depende ni estaría adaptada a una acción frecuente del fuego.

Por otra parte, a pesar de la recuperación de especies del bosque esclerófilo como el Peumo (*Cryptocarya alba*) y el Quillay (*Quillaja saponaria*) y otras especies después del incendio se ven afectadas por la fuerte herbivoría a que son sometidos sus rebrotes por parte del ganado vacuno que generalmente se asocia a estas formaciones (VILLASEÑOR y SAIZ, 1990). Lo que indudablemente se constituye en un importante factor negativo en la recuperación de estos ecosistemas.

Algunas especies del bosque esclerófilo, como el Tebo (*Trevoa trinervis*), de utilidad marginal, invaden rápidamente los terrenos quemados, lo mismo podría ocurrir con el Maqui (*Aristotelia chilensis*) en áreas con vegetación más mesofítica, lo que ocasiona un cambio en la estructura del bosque (AVILA *et al.*, 1983; DONOSO, 1981). Esta situación que puede ser visualizada en el cambio de la estructura del bosque esclerófilo en la zona central del país, más expuesta temporada tras temporada a los incendios forestales.

En el plano específico, el Litre (*Lithraea caustica*) es la especie arbórea que mejor responde a los incendios, junto con los arbustos xéricos, lo que avalaría la hipótesis que la estructura vegetal actual de la zona mediterránea (DONOSO 1990) estaría modelada por la recurrencia de los incendios forestales (SÁIZ, 1990).

El efecto del fuego en el matorral esclerófilo de Chile central, dentro del primer año después de un incendio, se traduce en cambios en la riqueza, abundancia y diversidad de las especies herbáceas, especialmente de las anuales (VILLASEÑOR y SAIZ, 1990).

Inmediatamente después del fuego se produce una gran colonización de lugares abiertos por parte de hierbas anuales, con incremento en el número de especies del orden del 300% respecto a sectores no quemados y casi duplicación de la diversidad específica. A nivel de herbáceas perennes, el efecto es inicialmente negativo al no ser favorecida la colonización por este tipo de especies, acción que es de esperar ocurra en la fase juvenil de la sucesión secundaria, según KRUGER y BIGALKE, 1984; cit. p. VILLASEÑOR y SAIZ, 1990.

En la perspectiva temporal, los resultados indican que a largo plazo se produce una pérdida de las especies menos frecuentes, lo que podría significar una tendencia a una estabilidad en riqueza específica como en los estados no quemados. En la fase inicial del periodo post incendio hay también un favorecimiento del desarrollo de especies introducidas, especialmente anuales, las que tendrán alta probabilidad de persistir si los incendios son reiterados (VILLASEÑOR y SAIZ, 1990).

Respecto a los pastizales, un incendio que consume toda la materia orgánica, o incendios repetitivos dañarán las especies forrajeras más apetecidas. El efecto general de un incendio es la reducción en la calidad de la producción forrajera. Este se pierde temporalmente, en especial durante el verano. Cuando se usa el fuego apropiadamente, la quema controlada mejora la disponibilidad, la calidad y el sabor de los pastos. Sin embargo, las quemas recientes atraerán al ganado, debido al mejor sabor y crecimiento más succulento del pasto, terminando con un sobre pastoreo de las áreas que están en proceso de regeneración.

Por otra parte, la quema general de un área, a pesar de su bajo costo, es el método menos deseable de eliminación de residuos. Son muy destructivas para la regeneración adelantada, las semillas y cualquier masa residual presente después de la cosecha. El riesgo de que el fuego escape a los árboles vecinos es elevado, e incluso, si no es así, los árboles adyacentes a menudo son afectados por la radiación y mueren. La drástica exposición del área puede dar paso a la erosión, y suele perjudicar el establecimiento de la repoblación, algunas veces hasta el punto de hacer necesaria la plantación. Hay una ventaja concomitante, la destrucción de la vegetación indeseable, que constituye una

ganancia muy precaria si estas especies rebrotan con facilidad. La reducción de la materia orgánica no incorporada del suelo forestal hace que el método sea una manera ligeramente más eficaz de impedir la propagación de los incendios que otros medios de eliminación de residuos (HAWLEY y SMITH, 1982).

Con lo anterior está claramente establecido que hay ecosistemas adaptados a la acción del fuego y otros que han evolucionado sin la acción frecuente de este elemento.

En efecto, existen especies que resisten el paso del fuego debido a sus características anatómicas, frecuentemente poseen un espesor de corteza que le confiere resistencia al fuego.

Otras especies pueden ser afectadas por quemaduras o por la destrucción de las copas, pero están dotadas de órganos adaptados para la regeneración, que ofrecen una posibilidad más amplia para la sobrevivencia de la especie después de un incendio. Esto es particularmente valioso si el paso del fuego es causado en el período de reposo vegetativo, en este caso, la parte aérea es sustituida en el período vegetativo siguiente.

Existen especies que por estimulación del fuego facilitan la germinación de semillas.

En rodales de plantaciones de *Pinus radiata*, los fuegos controlados de baja intensidad y de propagación lenta, no dañan las grandes copas cuando son usados apropiadamente, produciendo una efectiva reducción del combustible disponible no deseado.

El uso del fuego en Chile ha sido utilizado extensivamente para la preparación de sitios en el establecimiento de plantaciones, reduciendo con esto la competencia de una vegetación no deseada.

En los montes naturales de los Estados Unidos de América, las condiciones exigidas para la repoblación de muchas especies se consiguen sólo mediante operaciones drásticas, generalmente por el fuego. Estas especies, que incluyen alguna de las más valiosas, pueden ser divididas en cinco categorías según su adaptación al fuego.

Los pinos de conos cerrados constituyen el primer grupo. El mejor ejemplo lo constituye el *Pinus banksiana* e incluye además los *Pinus contorta*, *P. radiata*, *P. muricata* y *P. clausa*. En estas especies, la repoblación tiene lugar naturalmente después de que un fuego de copa ha matado la población vieja, exponiendo el suelo mineral y abriendo los conos. El segundo grupo lo componen especies del género *Prunus* y buen número de arbustos indeseables, incluyendo las especies de *Ribes*, que tienen semillas de cutícula dura capaces de sobrevivir durante largos períodos en el suelo forestal y de germinar después de incendios. El tercer grupo está formado por un gran número de especies que pueden reproducirse a partir de brotes del tallo o de la raíz, este grupo está formado por sobre todo por árboles de hoja ancha y arbustos, pero incluye también unas pocas coníferas. La cuarta categoría está formada por especies de semillas ligeras que prosperan sobre camas de suelo mineral desnudo expuesto por el fuego, pero que no son especialmente resistentes al fuego. Este método incluye muchas especies valiosas como en *Betula* spp., el *Pseudotsuga mensziessi*, los *Pinus strobus* y *monticola*, las *Picea liquidambar styraciflua* y *Liriodendron tupilífera*. La reproducción de

estas especies después de incendios se hace a partir de semillas ya presentes sobre los árboles viejos o de las producidas por aquéllos que han llegado a sobrevivir debido a su tamaño o a su ubicación.

En estas cuatro categorías mencionadas en el párrafo anterior, las especies afectadas están adaptadas sobre todo a la regeneración después de incendios catastróficos que destruyen la mayoría de los árboles de una generación y preparan el camino para la otra.

Finalmente, hay una quinta categoría de especies que son suficientemente resistentes al fuego para resistirlo a intervalos a lo largo de la mayor parte de una generación. Este tipo está formado por ciertos pinos duros, el más notable es el *Pinus palustris*, los demás son el *Pinus taeda*, *P. rígida*, *P. echinata* y *P. elliotti*. Hay una posibilidad importante de que los *Pinus ponderosa* y *P. resinosa* pertenezcan también a este grupo. Los fuegos ocasionales resultan beneficiosos para el mantenimiento de estas especies en el monte original debido a que contrarrestan la sucesión natural, exponiendo suelos favorables, e impidiendo incendios más destructivos. (HAWLEY y SMITH, 1982)

No hay que deducir que cualquiera de estas especies sólo puede ser regenerada después de fuegos o devastaciones similares del monte original. Independientemente del grado en que cualquiera de ellas sea favorecida por el fuego, sería ingenuo suponer que el uso del fuego fuera obligatorio en su tratamiento silvícola.

En la Figura 4 se pueden observar los niveles de temperatura a la cual ocurren distintos eventos en una quema o incendio forestal.

FIGURA 4
RANGO DE TEMPERATURA PARA ALGUNOS EFECTOS DEL FUEGO (°C).

>800 °C volatización del sulfuro
>700 °C volatización del fósforo
> 500 °C volatilización de Ca, Mg, K y otros
> 400 °C cambios en textura
300-500 °C volatilización 50% del nitrógeno
300-500 °C repelencia al agua
110-210 °C destrucción de las bacterias
100-150 °C destrucción de los hongos
50-70 °C destrucción de las semillas
40-70 °C muerte del cambium

Fuente: Hungerford et al., 1991 (citada por Peña, 1994).

El grado de perjuicio causados en cualquier parte del árbol depende de si los tejidos vivos han sido calentados por encima del umbral crítico de los 50°C y del tiempo que se haya mantenido esta temperatura.

Publicaciones (DeBANO *et al.*, 1977; cit. p. WELLS *et al.*, 1979) han recolectado toda la información sobre datos de temperatura en el suelo tomados durante los últimos 10 años en incendios forestales o quemas en chaparral de California. Esta información fue usada para construir curvas estilizadas de temperatura del suelo, para bajo, moderados e intensos incendios en chaparral (matorral). Estas curvas muestran una temperatura máxima en la superficie cercana a los 700°C durante una quema o incendio intenso; 425°C en una quema moderada y 250°C en una quema de baja intensidad. A 2,5 cm bajo el suelo la temperatura máxima no ha excedido los 200°C en un incendio intenso. En praderas anuales en California se han controlado temperaturas de 177°C y temperaturas máximas a 1,3 cm bajo el suelo de 93°C (BENTLEY y FENNER, 1958; cit. p. WELLS *et al.*, 1979). Al respecto es importante resaltar que en incendios forestales de vegetación con estructura de matorral esclerófilo se han registrado temperaturas entre los 800 y 1200°C en el frente de avance del fuego.

Al comparar estas cifras con las expuestas en la Figura 4, queda de manifiesto el alto poder destructivo que tiene el fuego, ya sea como quema o incendio forestal.

Como resumen de este capítulo se puede establecer que el fuego juega un importante papel en la modificación de las estructuras vegetales, dependiendo su impacto de la adaptación de las especies al fuego. Es así como las coníferas serían las especies que poseen una mayor adaptación y su regeneración por semillas estaría condicionada en gran parte a procesos cíclicos de fuego.

En cambio, la vegetación asociada a climas mediterráneos, su respuesta al fuego está correlacionada con la adaptación de estas especies a stress hídricos. En estas áreas el fuego podría haber jugado un papel importante en la sucesión de especies y en la estructura del bosque.

Sin embargo, es importante aclarar que el efecto fuego-positivo o fuego-negativo sobre la vegetación está muy relacionada con la periodicidad de éste. Las áreas que son afectadas en forma recurrente por el fuego sin, lugar a dudas sufrirán un cambio radical aumentando su susceptibilidad a los procesos de desertificación.

En concreto, lo que es claro es que los incendios forestales tienen un gran impacto en la vegetación destruyendo, entre más complejo sean los ecosistemas, una cantidad importante de especies. El punto está en la capacidad de respuesta de estos ecosistemas a la acción devastadora del fuego y la potencialidad de regeneración de las especies, ya sea por semillas u otras adaptaciones fisiológicas.

Sin duda en estos procesos de recuperación de los ecosistemas afectados por el fuego, juega un papel importante la influencia de factores externos como por ejemplo la acción de animales herbívoros, tanto domésticos como silvestres, que consumen los retoños de la nueva sucesión vegetal, como también la acción del hombre a través de la extracción de los remanentes leñosos que quedan después de los incendios.

Por otra parte, la pérdida de la cobertura vegetal deja expuesto el suelo a importantes procesos erosivos generados por las precipitaciones, dependiendo su intensidad de la pendiente del terreno y a

la pérdida del contenido de humedad del suelo durante los periodos estivales, influyendo negativamente ambos factores en los procesos de recuperación de los ecosistemas.

Los niveles de recuperación de los ecosistemas, sin duda irán en magnitudes de tiempo muy variables. Es así como, los menos complejos como las praderas naturales recuperarán su estructura de una temporada a otra y los más complejos como los bosques templados tardarán períodos superiores a los 500 años en recuperar su equilibrio original.

En cuanto a los efectos sobre la vegetación el más conocido es el producido sobre los árboles. Los efectos estarán relacionados con las temperaturas letales, las características de los árboles que afectan su susceptibilidad a los daños provocados por el calor (temperatura inicial de la vegetación, parte del árbol expuesta al calor, grosor de la corteza, poda natural, características del sistema radicular, inflamabilidad del follaje, estación y ciclo de crecimiento) y con la influencia en la sucesión vegetal.

RICO (1981) cita como efectos positivos la abundancia de pastos en la etapa subsiguiente al siniestro, en que las hierbas disfrutaban en exclusiva del suelo y de la humedad que contiene y los efectos positivos de la quema de matorral por eliminación de competencias.

Según CHANDLER, *et al.* (1983) el fuego, cuando se usa adecuadamente, puede ser muy efectivo y la herramienta menos costosa en el mantenimiento de la sanidad y la economía de los bosques productores, y agrega que exceptuando a los bosques lluviosos tropicales, el fuego a jugado un rol natural importante en el desarrollo de virtualmente todos los bosques, tierras arboladas y ecosistemas de sabanas.

BROWN Y SIEG (1996) coinciden con CHANDLER, *et al.* (1983) al plantear que el fuego fue una clave para los procesos ecológicos que determinó la composición y estructura de muchas comunidades de plantas en el Oeste de Norte América antes de esparcirse la colonización por América.

Como es posible apreciar, toda la información bibliografía expuesta en este capítulo, sobre efectos del fuego sobre la vegetación, esta circunscrita a estructuras vegetacionales de climas boreales, templados o mediterráneos, siendo prácticamente nula o muy escasa la información existente sobre impacto del fuego sobre las estructuras vegetacionales para climas tropicales y subtropicales. Situación condicionada en gran medida a que el fuego en estas áreas no tenía en impacto que hoy tiene debido a los importantes cambios climáticos en estas áreas. Queda de manifiesto la importancia de abrir líneas de investigación aplicada tendientes a identificar la dinámica de estos bosques frente a la presencia del fuego.

5.2 Efectos sobre el Suelo

Nadie puede desconocer que la seguridad alimentaria de la humanidad depende de los sistemas ecológicos y de todas las formas de vida que se encuentran en ellas: plantas, animales y microorganismos diversos que interactúan con otros componentes de la naturaleza. Todos ellos contribuyen a mantener los sistemas en que se sustenta la vida en la tierra, a la vez que, hacen sostenibles los sistemas de producción. Un suelo vivo presenta una gran actividad biológica, producto de la enorme cantidad de microorganismos que lo habitan, en él se encuentran: bacterias, hongos, algas, protozoarios, anélidos, etc. que se cuentan por varios cientos de miles en un gramo de suelo y su población aumenta mucho más cerca de la zona radicular inmediata (rizosfera).

La acción conjunta de los factores bióticos y abióticos en el proceso de formación del suelo contribuye a la formación de una capa superficial humosa muy apreciada por los agricultores. El humus, es el resultado de la descomposición cíclica de la materia orgánica a consecuencia de la actividad del edafón (flora y fauna del suelo), que solubiliza y libera los nutrientes a ser absorbidos por las plantas. En condiciones tropicales, la tasa de acumulación de humus en el suelo es baja, por lo que es muy importante fomentar el reciclaje “intensivo” de la materia orgánica.

Para controlar la erosión, es necesario conocer la capacidad de uso de cada suelo, pero mantener la cobertura vegetal es una medida fundamental. Hay pues una obligación de desarrollar y poner en práctica la conservación de suelos como un elemento importante dentro de la agricultura ecológica, sobre todo, en lugares donde se practica la “agricultura de laderas”.

Las prácticas de siembra en curvas de nivel, formación lenta de terrazas, construcción de terrazas, la labranza mínima, construcción de terrazas con muros de piedra, zanjas de infiltración, uso de barreras vivas – productivas, agroforestería, asociación y rotación de cultivos, abonos verdes, no quema de pastos, cortinas rompeviento, entre otras deben ser consideradas para la puesta en práctica de la agricultura ecológica dentro de las unidades productivas.

Los aspectos ecológicos de interés global derivados de las quemadas de residuos y de los incendios forestales son el efecto invernadero, la erosión del suelo y la degradación de las tierras productivas, que por pérdida de cobertura vegetal, se altera el equilibrio natural de la fauna microbiana, estructura, composición química y la capacidad de retención de agua. Estos procesos afectan la calidad ambiental y en último término la sustentabilidad de la producción de alimentos.

Sin lugar a dudas el recurso más importante con que cuenta el hombre es el **recurso suelo**, ya que es la base para la productividad tanto agrícola como forestal. Por ello es fundamental conocer sus niveles de respuesta a determinados agentes, entre ellos el fuego.

El suelo tiene mayor importancia para los organismos y no sólo como soporte, sino por contener la reserva de agua y de elementos nutritivos solubles en ella. De aquí que se llegue a una interacción mucho mayor entre el sustrato sólido y los organismos, en el cual el suelo enriquece su estructura. Es posible decir, en general, que el suelo es el resultado de una interacción prolongada entre biosfera y litosfera.

La sucesión de los ecosistemas terrestres va indisolublemente ligada a un proceso de sucesión en el suelo; pero, aún independientemente de esta correspondencia, la formación y maduración del suelo constituye realmente de por sí un proceso de sucesión ecológica.

Si entendemos el fuego, dentro de un contexto productivo, como una perturbación sobre el proceso de sucesión ecológica, debemos analizar los cambios cualitativos y cuantitativos que éste genera sobre los componentes estructurales. Estos últimos, de naturaleza biótica o abiótica. De esta manera, nuestro análisis debe enfocarse a las alteraciones producidas sobre los componentes minerales, materia orgánica, estructura, agua, aire y sus procesos asociados.

La erosión parece ser el efecto más grave relacionado con el uso del fuego. Este se acentúa cuando las quemaduras de alta intensidad se conjugan con terrenos de fuertes pendientes y con temporadas de quemaduras inadecuadas para las condiciones de un sitio en particular. Sin embargo, la mayoría de estos factores son manejables mediante prescripciones de quemaduras que controlen la intensidad del fuego.

La vegetación y la materia orgánica, es la capa protectora del suelo. Si el suelo queda expuesto, las partículas finas dispersadas por la lluvia, tapan los poros del suelo, de esta manera la tasa de infiltración decrece y el escurrimiento superficial es incrementado.

El escurrimiento superficial llevará partículas de suelo en suspensión y otros materiales hacia las corrientes adyacentes y lagos, con la correspondiente reducción de la calidad del agua. Las aguas lluvias, en vez de ser retenidas por los árboles u otras plantas que permiten su infiltración en el suelo, escurren rápidamente sobre la superficie arrastrando todo a su paso provocando inundaciones e incluso dañando tranques y represas en su recorrido. A mayor intensidad del fuego se produce un daño mayor. En terrenos planos, sin embargo, el fuego tiene menor impacto.

Por otra parte McKENNEY *et al.* (1993) cit. p. MEZA *et al.* (1997) concluye que el uso de cubierta vegetal o residuos, esto es eliminación de las quemaduras, es un sistema alternativo de producción conservacionista del suelo. Se logra un mejoramiento de la estructura y variación en la densidad aparente y reducción de la erosión. Agregan que estos efectos se pueden lograr a través del reciclaje de los nutrientes y a una activación de los procesos microbiológicos, y que pueden contribuir con cantidades significativas de Nitrógeno al suelo. DORAN (1994) y ROUANET (1996) cit. p. MEZA *et al.* (1997) señalan que en la medida que se interviene menos el suelo, se presenta un aumento del tamaño de la biomasa del suelo y número de microorganismos del suelo, tanto en suelos arcillosos del este de Nebraska con una precipitación anual de 710 mm, como en suelos transicionales y andisoles con una pluviometría anual de 1.200 mm.

En un suelo en el que se practican las quemaduras, VESETH (1986) cit. p. MEZA *et al.* (1997) señala una reducción de la capacidad de almacenaje de agua del suelo en un 15% con la pérdida de 30 cm de suelo franco limoso por erosión. Esta pérdida alcanza hasta un 67% de la capacidad de almacenaje de agua en suelos de poca profundidad, fuertemente cementado. La pérdida de 30 cm superficiales de suelo requiere una tasa de erosión severa por 35 años de 50 ton/ha/año. En Chile no han sido documentadas estas cifras, sin embargo RODRIGUEZ y SLOOT (1994) cit. p. MEZA *et al.* (1997) señalan que en un suelo franco-arcillo-limoso de la Precordillera de Ñuble, con 1600 mm de

lluvia anuales existe una pérdida anual de 12,8 ton/ha/año, mientras SANDOVAL *et al.* (1994) cit. p. MEZA *et al.* (1997) señalan en el mismo suelo una pérdida de 15,3 ton/ha/año. Los mismos autores señalan respectivamente que las pérdidas de suelo en un sistema cero labranza son menores, esto es de 2,8 ton/ha/año y de 1,1 ton/ha/año cuando se practica cero labranza sin quema de residuos.

Toda pérdida de suelo derivada del manejo con inversión y eliminación del residuo mediante el fuego incide naturalmente en el rendimiento potencial de los cultivos, existiendo una tasa de pérdida de rendimiento en trigo de 1.100 kg/ha por cada 2,5 cm de pérdida de suelo. Esta tasa correlaciona paralelamente las pérdidas del contenido de materia orgánica, la concentración de fósforo y varios micronutrientes, paralelamente con la disminución de la profundidad del suelo provocado por erosión (VESETH, 1986 cit. p. MEZA *et al.*, 1997).

Informaciones obtenidas de un estudio en que durante 20 años se compararon las características de la productividad de los cultivos y del suelo en Canadá (BRIDERBECK *et al.*, 1980 cit. p. MEZA *et al.*, 1997), indican que las quemas no tienen efecto depresivo en los rendimientos, puesto que no se midió en suelos de alta fertilidad natural. No obstante indican que existen suficientes señales de peligro, como la reducción de nitrógeno, carbono y nitrógeno potencialmente mineralizable, aumento de la susceptibilidad a erosión, reducción en la permeabilidad del suelo, para indicar que en estas condiciones la quema de residuos no debiera ser incentivada.

Las quemas forestales por lo general son efectuadas con dos propósitos: para preparar terrenos para plantaciones, se corta el matorral nativo y/o los renuevos de bosque nativo, se esparcen en el suelo y posteriormente se queman y para la eliminación de residuos posterior a la explotación a tala rasa.

La influencia de las quemas de residuos sobre el suelo es opuesta naturalmente a la de dejar estos residuos (BURNS, 1952; cit. p. HAWLEY y SMITH, 1982). La posibilidad de que se dañe el suelo físicamente por erosión aumenta, especialmente en pendientes inclinadas y sobre suelos regularmente compactos y con un elevado contenido de arcillas y humus. Los incendios de alta intensidad en espesas acumulaciones de residuos pueden causar también el deterioro físico de los estratos superficiales del suelo mineral. Las mejoras de las propiedades químicas son temporales y están en gran parte asociadas con la rápida liberación de los alimentos inorgánicos almacenados en los residuos. Este aumento temporal puede estimular la fijación de nitrógeno atmosférico por los microorganismos del suelo.

En general, la eliminación de residuos mediante quemas tiende a dañar los suelos de textura fina o los que están en pendientes inclinadas. No daña en cambio y puede incluso mejorar, a los suelos de textura gruesa o que tienen una gruesa capa de humus no incorporado. Los fuegos muy intensos en concentraciones grandes de residuos probablemente son siempre perjudiciales (HAWLEY y SMITH 1982).

Las propiedades físicas del suelo son sólo afectadas cuando la materia orgánica es totalmente consumida y la temperatura en los primeros centímetros del suelo superan los 400°C (HUNGERFORD *et al.*, 1991; cit. p. PEÑA, 1994). Estas condiciones se dan cuando el suelo y

materia orgánica tienen un bajo contenido de humedad (menor al 10%) y existe una alta carga acumulada en rumas de combustible.

Respecto a la textura y estructura del suelo, la textura puede ser más susceptible a la acción del fuego, dependiendo de la intensidad del fuego. La estructura difícilmente es afectada por fuego de alta intensidad y si ello ocurre ésta no es afectada en gran escala (HUNGERFORD, 1991; KIMMINS, 1987; cit. p. PEÑA, 1994) Algunas observaciones indican que después de la acción del fuego, la estructura tiende a ser masiva, como consecuencia de un cambio en los organismos del suelo y el impacto de la lluvia.

Por ello se considera mejor reagrupar las quemas inmediatamente después de la caída de los primeros 75 mm de lluvia de otoño (AUFDERHEIDE y MORRIS, 1949; cit.p. HAWLEY y SMITH, 1982). Si se escoge un periodo después de unas lluvias en que el tiempo está en calma, hay muchas posibilidades de que el fuego consuma solamente los desechos que deben ser eliminados. Estos están formados por materiales muy finos que se secan rápidamente y por las densas concentraciones de desechos que no se empapan en las lluvias. El riesgo de ocasionar daños a las masas vecinas y a los árboles guardados como padres es bajo. El fuego también se extiende lentamente para que la operación pueda ser supervisada por un grupo pequeño de hombres. Las quemas en primavera y principalmente en verano deben ser evitadas debido al riesgo de incendios que ellas conllevan y a las altas temperaturas letales que se alcanzan en estos períodos, condicionadas por las altas temperaturas ambientales y baja humedad de los combustibles.

Las alteraciones que se producen en las propiedades químicas del suelo, después de la presencia del fuego dependen, en gran medida, de las temperaturas que se desarrollan. Si las temperaturas son superiores a los 100°C, se produce una destrucción total del mantillo y de gran parte de la materia orgánica, junto con la vegetación. Esto interrumpe los ciclos de los nutrientes minerales, pero básicamente el nitrógeno se volatiliza y se pierde totalmente con lo cual se empobrece el suelo (DAUBENMIRE, 1973; SPURR y BARNES, 1973).

Los nutrientes en un ecosistema se encuentran almacenados en forma orgánica los que no son aprovechables por las plantas. La incorporación de estos nutrientes al suelo mineral es realizada vía descomposición física y microbiológica, dependiendo su descomposición de factores como temperatura, humedad del suelo y población de organismos en el suelo.

Para muchos nutrientes de las plantas, las quemas o los incendios forestales, producen su liberación depositándose en la superficie donde están disponibles para la planta. El fuego puede realizar la descomposición de la materia orgánica en un corto tiempo y muchos de los productos resultantes son similares en cantidad y composición química a aquellos originados por vía biológica (HUNGERFORD *et al.*, 1991; KIMMINS 1987; McLEAN *et al.*, 1983; cit. p. PEÑA, 1994). De esta forma el ciclo del nitrógeno se complica, perdiéndose parte de este posiblemente por volatilización. Esta pérdida puede ser disminuida si la quema se produce en estaciones húmedas. Sin embargo, esto significa a la postre una deficiencia en el nutriente ya que su producción está fuera del ciclo natural, en otras palabras, se ha aumentado la productividad del sitio, agotando la materia prima a mediano y largo plazo.

Los nutrientes son rápidamente reciclados cuando se someten a altas temperaturas, aunque algunos nutrientes requeridos por las plantas, como el calcio, magnesio y sodio, sólo son liberados y depositados en el suelo. Otras como el nitrógeno y el fósforo son volatilizados y se pierden.

La mayoría de los estudios de nutrientes están enfocados principalmente al nitrógeno por ser un elemento clave en el crecimiento de las plantas y a su vez es el más afectado por volatilización. (HUNGERFORD *et al.*, 1991; KIMMINS 1987; cit. p. PEÑA, 1994).

El nitrógeno disponible es uno de los principales indicadores de la fertilidad del suelo, de ahí la importancia y el gran número de trabajos realizados acerca de los efectos del fuego sobre ese nutriente. No hay dudas de que en la mayoría de las veces el fuego afecta la cantidad de nitrógeno del suelo. Además del efecto directo, el fuego provoca cambios en otros aspectos del suelo, los cuales pueden estimular o inhibir el proceso de nitrificación conducido por bacterias y hongos del suelo. El nitrógeno en su forma orgánica es volatilizado y perdido en el aire a través de la combustión del material orgánico. Esto no significa, entretanto, que la cantidad disponible para las plantas disminuya, porque la mayor parte del nitrógeno perdido en la quema sería también perdido sin quema a través de la lenta descomposición del material orgánico. Varios estudios muestran que a pesar de que el nitrógeno total disminuye, la cantidad disponible generalmente aumenta después de la quema. Los resultados de investigaciones desarrolladas por JURGENSEN, HAVEY Y LARSEN (1981) a través de la quema de residuos de explotaciones forestales en Montana, EUA, pueden observarse en la tabla 1 (SOARES Y BATISTA, 2000).

Tabla 1. Contenido de nitrógeno (NH_4^+ y NO_3^-) disponible en el suelo en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, antes y después de una quema controlada.

Camada de suelo	Antes del fuego	Después del fuego			
		2 días	6 semanas	9 meses	13 meses
Hojarasca + humus	2,1	10,1	4,9	1,8	0,8
Madera en descomposición	2,0	7,3	6,9	5,8	2,3
Suelo mineral (0 – 5 cm)	1,3	3,3	5,7	2,4	0,8
Suelo mineral (5 – 22 cm)	4,2	5,4	7,9	5,8	2,7
Total	9,6	26,1	25,4	15,8	6,6

Algunos autores acreditan que la actividad de los microorganismos del suelo del ciclo del nitrógeno es intensificada después de una quema, provocando por consiguiente un aumento en la cantidad de nitrógeno mineralizado.

El nitrógeno es el único nutriente que no es derivado desde el suelo. Es removido desde la atmósfera y almacenado en el suelo al menos por cinco vías: a) bacterias que viven libremente en el suelo; b) plantas leguminosas y otras; c) precipitaciones; d) líquenes y e) por exudación desde el follaje de las plantas. Las pérdidas ocurren por: a) volatilización; b) lixiviación; c) escurrimiento superficial y d) erosión hídrica y/o eólica (BOERNER, 1982; CHRISTENSEN, 1973; HARVEY *et al.*, 1976; MARION *et al.*, 1991; McLEAN *et al.*, 1983; WELLS *et al.*, 1979; cit. p. PEÑA, 1994).

Si consideramos que en el proceso de propagación de los incendios forestales se destruye parte importante de la cubierta vegetal y por otra parte los terrenos quedan expuestos a procesos de lixiviación de nutrientes, escurrimiento superficial por efecto de precipitaciones y erosión hídrica y/o eólica, la presencia del fuego se constituye, en consecuencia, en un importante factor alterador del proceso del nitrógeno.

Por efecto del calentamiento del suelo el nitrógeno se volatiliza, perdiéndose hacia la atmósfera. El grado de volatilización va a depender de la intensidad del fuego.

En quemas prescritas para el control de la competencia en bosques de *Pinus* spp. en Estados Unidos, se han estimado pérdidas, por efecto de la volatilización, que oscilan entre 112 y 140 kg de N/ha; y entre el 10 y 20% (en caso extremo) del nitrógeno total en el ecosistema (WELLS, 1971; WELLS et al., 1979; cit. p. SANTELICES Y LITTON, 1996).

En quemas de residuos de cosecha, que son de mayor intensidad y magnitud que las quemas prescritas para controlar la competencia, GRIER (1975) cit. p. WELLS et al. (1979) y SPURR y BARNES (1980) cit. p. SANTELICES y LITTON (1996) señala que en el bosque de *Pinus ponderosa* Douglas ex Laws. en el estado de Washington las pérdidas se han estimado en 907 Kg de N/ha, lo que equivale aproximadamente a un 97% del nitrógeno original en el piso del bosque y a la pérdida de dos tercios del contenido en el horizonte A1 del suelo mineral.

El nitrógeno es uno de los elementos más volátiles, su temperatura de volatilización comienza aproximadamente a 150°C y temperaturas de 500°C pueden volatilizar todo el nitrógeno. Otros autores indican que a 300 °C pueden volatilizar la mayor parte del nitrógeno (KIMMINS, 1987; WHITE et al., 1973; cit. p. PEÑA, 1994).

Para mantener la productividad de las áreas frecuentemente quemadas es necesario la adición de nitrógeno mediante procesos de fijación. La depositación atmosférica depende de la región y puede variar de 1 a 22 Kg/ha (LANDSBERG, 1986; cit. p. SANTELICES y LITTON, 1996), lo que es insuficiente para balancear las pérdidas producto de la quema u otros mecanismos. Esto lleva a un cambio en la sucesión, cambiando la composición de las especies por aquellas capaces de fijar simbióticamente nitrógeno, como lo son muchas especies de leguminosas (WELLS et al., 1979; cit. p. SANTELICES y LITTON, 1996).

En Chile se han realizado algunas experiencias para evaluar el efecto del fuego, ya sea por incendios forestales o por quemas de residuos, sobre las propiedades del suelo. ALTIERI y RODRIGUEZ (1975) cit. p. SANTELICES y LITTON (1996), en uno de los primeros estudios efectuados, encontraron que la cantidad de nitrógeno soluble fue de 0,42% en un sector no quemado, contra 0,16% en un sector quemado, es decir, se redujo por efecto del fuego en más de un 60%.

TORO (1987) cit. p. SANTELICES y LITTON (1996) al evaluar el efecto del fuego sobre disponibilidad de nitrógeno total, comparando dos métodos de tratamientos de residuos en bosques, a) quema de los residuos sin apilarlos, usando el método de encendido del fuego en retroceso y b)

retiro de los residuos mayores a 3 cm de diámetro, sin efectuar quema, después de seis meses de efectuados los tratamientos, concluyó que se produce una pérdida de alrededor de un 63% del nitrógeno en el suelo arenoso, al interior de la VIII Región (Predio Maquehua); mientras que en otro arcilloso en la costa de la VIII Región (Predio La Colcha), fue de un 44%, pero en un suelo franco arcillo arenoso de la VII Región (Predio San Pedro), ésta fue sólo de casi un 3%. Esta menor pérdida podría explicarse porque en el predio de la VII Región la pluviometría fue casi la mitad que en los predios de la VIII Región, razón por la cual podría haberse producido menor lixiviación.

FRANCKE (1989, 1991, y 1992), cit. p. SANTELICES y LITTON (1996) al evaluar después de seis meses los ensayos efectuados por TORO, es decir, un año después de instalados los experimentos, señala que con todos los tratamientos probados se produce un aumento en el contenido de nitrógeno en el suelo, al compararlos con los valores de seis meses antes. Sin embargo, hace mención a la inconveniencia de realizar quemas en suelos arenosos y en suelos arcillosos y analizar la posibilidad de realizar otro tipo de manejo de los residuos, como por ejemplo su astillado.

El fuego libera otros nutrientes tales como Ca, Mg, K y Na que son menos volátiles que el nitrógeno. En general, estos elementos permanecen en el suelo porque son volatizados a temperaturas superiores a 500°C y otros como fósforo y sulfuro son volatizados a temperaturas mayores a los 800°C (HUNGERFORD *et al.*, 1991, KIMMINS 1987; cit. p. PEÑA, 1994). Este tipo de temperatura sólo se produce en algunas quemas en ruma o en fuegos subterráneos que queman toda la materia orgánica almacenada en el suelo. En Chile, las quemas realizadas en Pino radiata generalmente son en forma de rumas y ella cubren menos del 25% del suelo. Por lo tanto la superficie afectada por fuegos de alta intensidad es aún un porcentaje más pequeño ya que toda la superficie bajo la ruma es afectada con la misma intensidad. Algunas estimaciones indican que la superficie afectada por fuegos de alta intensidad es solo un 10% o menos (ORMAZABAL, 1994; cit. p. PEÑA, 1994).

En la figura 4 del punto 4.1. se pueden observar los niveles de temperatura a la cual ocurren distintos eventos en una quema o incendio forestal. En el se puede observar que el fuego de baja intensidad (temperatura en los primeros centímetros del suelo menores a 200 °C) sólo causaría daño en los microorganismos, pero estos tienen una gran capacidad de recuperación. Por lo tanto, esto nos señala que manteniendo un adecuado manejo de los factores que determinan la intensidad del fuego, éste no sería dañino para los nutrientes y propiedades físicas del suelo. Al contrario, la disponibilidad de nutrientes puede incrementar.

Sin la materia orgánica en el suelo, los nutrientes son inalcanzables para las plantas. La materia orgánica se caracteriza por presentar a las plantas los nutrientes disponibles en forma ideal en cuanto a su variedad y concentración. La materia orgánica en un suelo agrícola varía de 1,5 a 4,5 %, esto equivale a unas 45 a 135 t.ha⁻¹ de materia seca.

La materia orgánica aumenta la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, mejora la porosidad de los suelos compactados, regula la aireación y la temperatura, crea una estructura granular aterronada que favorece el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas. Asimismo, tiene sustancias activas, aumenta la actividad biológica, es rica en microorganismos, reprime y regula el crecimiento

desmesurado de las poblaciones de organismos dañinos. La materia orgánica es una gran reserva de nutrientes que es liberada poco a poco para su empleo e impide su arrastre por la erosión.

El agua es un elemento indispensable para el crecimiento de las plantas, es portadora de diversas sustancias nutritivas, por lo que la capacidad de retención de humedad del suelo influye en su fertilidad. Los suelos con buena humificación, presentan una buena capacidad de retención y percolación, mientras que los suelos pobres en materia orgánica presentan un drenaje excesivo o malo y necesitan mayor cantidad de agua lo que favorece la erosión y crea además, una necesidad cada vez mayor de riego tecnificado.

Plantean también los autores que para que un suelo rinda cosechas satisfactorias son necesarios los siguientes procesos:

- La meteorización de la roca madre y de los minerales, transformándolos en minerales arcillosos, óxidos e hidróxidos,
- Humificación y mineralización de la materia orgánica,
- Formación de agregados de estructura granular debido a la mezcla de partículas minerales y orgánicas.

Finalmente apuntan que deben evitarse daños a la actividad del edafón y a la estructura del suelo, recomendando lo siguiente:

- Considerar en el manejo del suelo la actividad del edafón, como la base para lograr condiciones óptimas para el desarrollo del sistema radicular de la planta, es decir, lograr una adecuada nutrición.
- Asegurar un adecuado régimen hídrico del suelo a través de una óptima presencia de materia orgánica y cobertura vegetal.
- Realizar labores apropiadas en el suelo y reconocer el valor de una cobertura vegetal permanente para la conservación de la estructura del suelo y de la actividad del edafón.
- Valorar el uso de árboles y arbustos dentro de los cultivos, especialmente en los trópicos, ya que permite una mejor cobertura del suelo y aporte de materia orgánica. Los sistemas agroforestales permiten un uso más eficiente del suelo.

Las temperaturas registradas sobre la superficie del suelo y debajo de esta dependen tanto de la intensidad del fuego como del tiempo de residencia. Debido a que el suelo es un mal conductor del calor, la temperatura disminuye grandemente con la profundidad. HOFFMAN (1971) citado por SOARES Y BATISTA (2000) en una quema de residuos de explotación de bosques de coníferas del Noroeste de los Estados Unidos, registró temperaturas de hasta 455 °C en la superficie del suelo. Debajo de una camada de 2 cm de humus, la temperatura máxima fue de 49 °C. En un lugar protegido por una camada de 3,75 cm de humus, la temperatura del suelo mineral a 2,5 cm de profundidad fue de 16 °C, en tanto que a la misma profundidad, pero en un suelo mineral expuesto, la temperatura máxima llegó a 24 °C.

Gran parte del efecto del fuego sobre el suelo depende del tipo y cantidad de materia orgánica no incorporada que cubre el suelo mineral y de lo que cada incendio en particular hace a ella. El consumo de la misma por el fuego puede variar desde prácticamente ninguna hasta su quema total, de ahí resultarán diferentes efectos.

En cuanto a otros nutrientes (calcio, potasio, fósforo, etc.) estos son liberados por la quema y posteriormente percolados o lixiviados por la lluvia a través del suelo. Debido a esto en la mayoría de los trabajos publicados se habla de aumentos en las disponibilidades de esos elementos principalmente después de quemas de media o baja intensidad.

Cuando la materia orgánica es quemada las sustancias contenidas en ella son liberadas en forma de óxidos o carbonatos, que generalmente presentan reacción alcalina, por tanto, parece lógico admitir que cuando considerables cantidades de esas sustancias (cenizas) son depositadas sobre el suelo, la tendencia es disminuir su acidez (SOARES Y BATISTA, 2000).

El fuego devuelve al suelo de manera violenta la mayoría de los nutrientes que estaban presentes en la vegetación y si estos no son arrastrados por el agua de la lluvia o por el viento, el suelo puede aumentar, al menos temporalmente, su fertilidad y dar origen a una nueva vegetación de saludable apariencia (RAMÍREZ, 1996).

Un estudio realizado en masas de *Pinus pinaster* y *P. radiata* por BARÁ, *et al.* (1982) arrojó que después de un incendio los contenidos de fósforo utilizable y potasio, calcio y magnesio cambiables entre 0 - 5 cm aumentan considerablemente. El pH experimenta un incremento alrededor de una unidad. El contenido de materia orgánica disminuye sobre un 40 % y la relación C/N bajó a 12. Entre 5 y 30 cm no se observaron cambios significativos. A los 2 años entre 0 y 5 cm el calcio y el magnesio conservan niveles análogos a los del testigo. El potasio disminuye en 30 % y el fósforo presenta un nivel 4 veces mayor que el testigo. El pH solo supera al testigo en una décima, el limo y la arcilla disminuye en un 15 % como consecuencia de los arrastres. Entre 5 y 30 cm no se observan cambios significativos.

GRASSO, *et al.* (1996) plantean que la quema altera las características microbiológicas del suelo en varias formas, dependiendo del tipo de suelo, intensidad del fuego y los cambios inducidos por el fuego en el sustrato.

Por su parte ANDREU, *et al.* (1996) destacan que el efecto del fuego en el suelo depende en gran medida de su intensidad. En un estudio realizado por estos autores en un área de 9.498 há. afectadas por el fuego en bosques de pinos y matorral en Sierra Calderona, Valencia, España; se observó que la incidencia de las altas temperaturas produce un aumento en el pH y la conductividad eléctrica, principalmente por la acumulación de cenizas y nutrientes desprendidos. En la misma forma, el contenido de nitrógeno mineral y el fósforo disponible también se incrementó, mientras que la materia orgánica y el nitrógeno total decreció. Después del fuego, los niveles de materia orgánica y nitrógeno total se incrementaron progresivamente con el tiempo, mientras que una disminución fue observada en el fósforo disponible y las sales solubles.

Los factores tales como el pH, la aireación, el agua, la temperatura y la cantidad de alimento disponible, influyen fuertemente sobre la microbiología del suelo (CRAMMER, cit. p. WELLS *et al.*, 1979). Por ende, cualquier alteración de estas propiedades afectará a los microorganismos del suelo y con ello procesos biológicos relacionados con la fertilidad del suelo y la productividad del bosque.

RAISON (1979), señala que la microbiología forma parte integral del ecosistema y que los microorganismos son sensibles a cambios producidos por el fuego en los microambientes del suelo. HARVEY *et al.* (1976), menciona tres factores que inciden en el resultado de las quemas sobre la composición microbiológica del suelo y su actividad. Estos son la intensidad del fuego, el tipo de microorganismo involucrado y las condiciones ambientales pre y post fuego.

La biología del suelo tiene dos tipos de respuestas frente al fuego, una inmediata, producida al momento de la quema y una posterior, donde influyen los cambios en el ambiente (WOODMANSEE y WALLACH, 1981).

En las respuestas inmediatas el factor más importante es el calor (RAISON, 1979; WOODMANSEE y WALLACH, 1981). Generalmente un mayor calentamiento disminuye la cantidad de los microorganismos al momento de la quema pero, posteriormente, se produce una gran recuperación en la cantidad a niveles por sobre a los existentes antes del fuego. De acuerdo con AHLGREN y AHLGREN (1965) y WRIGHT y TARRANT (1975); cit. p. RODRIGUEZ (1996), son el calor y las cenizas depositadas en la superficie del suelo, los factores que hacen aumentar rápidamente el número de las poblaciones microbilógicas.

Las respuestas post quema se producen por cambios en el pH, temperatura del suelo, aireación del suelo, agua disponible, cama de cenizas y alimento disponible (RAISON, 1979).

El fuego puede aniquilar muchas bacterias y hongos, estos organismos tienen una baja tolerancia al calor y pueden ser destruidos a temperaturas tan bajas como 100 °C, dependiendo si el suelo está húmedo o seco. La susceptibilidad al fuego también depende en que estado de desarrollo se encuentran al momento de la quema. Por ejemplo, los hongos son más resistentes en el estado de esporas (CASS *et al.*, 1983; cit. p. PEÑA, 1994).

Las bacterias mueren cuando la temperatura en la superficie del suelo alcanza 210°C en suelos secos y 110°C en suelos húmedos. Muchos autores reportan una importante reducción de la población bacteriana inmediatamente después de la acción del fuego. Sin embargo estos microorganismos son favorecidos por la reducción en acidez y un incremento en la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, su población rápidamente alcanza los niveles previos a la quema y en un gran número de ocasiones esta población supera a la original (AHLGREN 1974; AHLGREN y AHLGREN 1960, 1965; CHANDLER *et al.*, 1983; cit. p. PEÑA, 1994). El aumento de la alcalinidad del suelo favorece la nitrificación y mineralización del humus remanente en el suelo (SPURR y BARNES 1980; cit. p. PEÑA, 1994). Esto puede explicar en parte la incrementada fertilidad observada en suelos sometidos a quema.

En quemas de baja intensidad, JURGENSEN *et al.*, (1981) indican que la tasa de nitrificación fue baja. Iguales resultados expresan WOODMANSEE y WALLACH (1981) en quemas de baja intensidad, pero fue de corta duración. En contraste, fuegos intensos cambian profundamente la dinámica y actividad microbiana. En estas situaciones, procesos tales como la fijación de nitrógeno y la nitrificación son aumentados considerablemente.

Los hongos como un grupo en general están comúnmente asociados con suelos ácidos, se sabe que las cenizas de una quema o incendio a menudo reducen la acidez del suelo y esto hace que después de una quema las condiciones químicas del suelo sean menos favorables para el crecimiento de los hongos.

En general, los hongos son menos resistentes al calor que las bacterias, la excepción la constituyen las bacterias nitrificadoras, transforman el nitrógeno del amonio en nitrito y nitrato, que tienen menor tolerancia al calor que los hongos (WELLS *et al.*, 1979). En suelos húmedos los hongos son destruidos cuando la temperatura de la superficie del suelo alcanza los 100°C y 150°C en suelos secos. De acuerdo a esto, siguiendo una quema podría haber una importante reducción de la población fungosa, pero ellos recolonizan el área quemada a través de esporas por viento, o desde islas que quedaron sin quemar dentro del área afectada por el fuego. Sin embargo, la recolonización por hongos es más lenta que por bacterias ya que las condiciones químicas siguiendo una quema son más favorables para las últimas.

En general, las micorrizas disminuyen después de un incendio o quema porque estos hongos tienden a proliferar en el humus y madera en descomposición, ambos componentes orgánicos son consumidos por el fuego (BORCHERS y PERRY 1990; cit. p. PEÑA, 1994).

Aún cuando para *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus* spp. las micorrizas no parecen ser un problema importante, los usuarios del fuego deben prestar especial atención a los efectos del fuego en hongos micorrízicos ya que la relación simbiótica planta-hongo puede ser afectada, causando una pérdida de la eficiencia en absorción de nutrientes y agua. En bosques regenerados naturalmente, como lo es el bosque nativo chileno, especies indeseables podrían reemplazar las especies comerciales (PEÑA, 1994).

En general, hay consenso en señalar que la extensión de los cambios en la microbiología del suelo depende de la intensidad y duración del fuego, de la humedad, de la textura y profundidad a la cual residen los organismos (AHLGREN y AHLGRE, 1965; PRITCHETT, 1987; RAISON, 1979; THEODOROU y BOWEN, 1982).

Los efectos del fuego sobre el suelo están relacionados con su calentamiento, la erosión, la materia orgánica, el nitrógeno, otros nutrientes, la acidez, los microorganismos del suelo y la fauna del suelo.

La eliminación de la cubierta vegetal, la combustión de la materia orgánica y la temperatura desarrollada por el fuego producen en el suelo cambios de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, cuya magnitud depende, por un lado, de la intensidad y duración del incendio y, por otro, de la disposición, estructura y grado de humedad del propio suelo. El calor consume parte de la

materia orgánica y destruye los agregados, que acaban dispersando los impactos de las gotas de lluvia. En el suelo descubierto tras el incendio, y frecuentemente ennegrecido por las partículas de carbón, con un albedo o poder de reflexión generalmente muy inferior al de una superficie cubierta de vegetación, aumentan la temperatura y la evaporación, al tiempo que disminuyen la absorción y retención de agua, la porosidad, la aireación y la capacidad de infiltración superficial. El balance suele ser una reducción de las disponibilidades de agua y un aumento de la escorrentía y del peligro de erosión. Otra alteración frecuente e importante en muchos suelos calcinados es la formación de capas impermeables al agua. Las sustancias hidrófobas presentes en el tejido esponjoso que forma el mantillo, al arder éste se condensan bajo la zona recalentada del suelo, a varios centímetros de la superficie, formando una capa que puede impedir el paso del agua (RUIZ, 2000).

5.3 Efectos sobre la Calidad del Aire

Refiriéndose de forma general a los efectos negativos de los incendios forestales, RAMÍREZ (1996) apunta que estos destruyen no sólo los árboles y la vegetación en general, sino también animales silvestres; exponen los suelos a la erosión, acortan la vida útil de las represas de agua por la sedimentación que produce el arrastre que los ríos toman de los suelos desnudos, provocan inundaciones, agravan las sequías, contaminan el aire, causan enfermedades a las poblaciones vegetales y animales, incluyendo al hombre, afean el paisaje y afectan a la sociedad humana porque desequilibran el ambiente que le es favorable, contribuyen a la pérdida de biodiversidad y al incremento del efecto invernadero del CO₂. El fuego cambia las propiedades físicas del suelo al disminuir su porosidad y su capacidad de infiltración y de retención del agua, como consecuencia de la destrucción de la cubierta vegetal y de la materia orgánica en descomposición que forma el humus, fuente de nutrientes para el bosque.

El fuego introduce una serie de cambios físicos, biológicos y químicos en el bosque cuyos efectos se manifiestan sobre las plantas, la salud de la población vegetal, las masas forestales, el microclima, el suelo, la fauna y los valores recreativos (RICO, 1981).

Cuando ocurre un incendio forestal, además de agua y CO₂, varios otros elementos son lanzados a la atmósfera, como por ejemplo monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas. Pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno son también liberadas en algunos incendios de mayor intensidad. Entretanto, en los incendios forestales no hay producción de óxidos de azufre, altamente contaminantes, porque el contenido de azufre en la madera es insignificante (SOARES Y BATISTA, 2000).

Conocer y describir la contaminación ambiental producto de los incendios forestales o quemas de vegetación requiere del conocimiento de la producción y dispersión de los contaminantes.

La complejidad de las emisiones de los incendios forestales comienza con la complejidad de los combustibles quemados. En términos generales están constituidos por:

Celulosa, es el mayor constituyente, significa el 50% de la madera por peso. Esta es una gran cadena de polímeros compuesta de unidades de glucosa. **Lignina**, en un 23 a 33% en maderas blandas, 16 al

25% maderas duras y sobre el 65% en maderas muertas. Como la celulosa, la lignina es una estructura macromolecular, pero mucho más compleja. **Hemicelulosa** es un elemento que viene de la familia de los polisacáridos monocelulosos constituyen el 15 al 30% de la madera, dependiendo la especie y los **Extractos**, no son parte de la estructura de la madera, pero contribuyen a la inflamabilidad y a la complejidad de los productos de la combustión. Estos incluyen los taninos, aceites, grasas, resinas, ceras y almidones. Los extractos están presentes entre el 5 y el 30%.

Dos productos de una combustión completa, dióxido de carbono y agua, presentan sobre el 90% del total de las emisiones desde un incendio forestal. Estiquemetrías de la combustión de una tonelada de madera (contiene 50% de carbón, 6% de hidrógeno y 43% de oxígeno) produce 1.663 kilos de CO₂ y 1.080 de H₂O. Se requieren 7 toneladas de aire, o 175.000 pies cúbicos, para su combustión.

El producto final representa no sólo una amplia variedad de sustancias, sino también la proporción de estas sustancias es variable dependiendo de las condiciones existentes durante la descomposición.

La información sobre las características físicas y químicas de las emisiones desde quemas forestales fueron revisadas en detalle por RAYN y MCMAHON (1976) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) Los procesos de quema y sus relaciones con la emisión son:

Para apreciar como los componentes del humo son generados, necesitamos reconocer que en el fuego hay dos procesos: pirólisis y combustión. Ambos estados ocurren simultáneamente en fuegos en movimiento, pirólisis es el estado inicial de descomposición química que ocurre a temperaturas elevadas y combustión es la rápida producción de calor y oxidación exotérmica de los vapores pirolizados que escapan de la superficie del combustible. Durante la pirólisis y la combustión se producen grandes diferencias desde la capa vegetal. Se pueden resumir tres fases:

Fase de pre-ignición (la pirólisis es predominante) En esta fase los combustibles son calentados, los componentes volátiles son movidos desde la superficie de los combustibles y expelidos al aire circundante. Inicialmente, estos componentes contienen una gran cantidad de agua y algunos componentes orgánicos no combustibles. A medida que la temperatura aumenta la hemicelulosa seguida de la celulosa y la lignina comienzan su descomposición. Usualmente entre los 300°C y los 600°C se produce la segunda fase.

Fase de llama (la oxidación de los gases es la predominante) En esta segunda fase la temperatura aumenta rápidamente. La pirólisis continúa, pero es acompañada por una rápida oxidación, o llama, y los combustibles gaseosos comienzan a aumentar en concentración. Monóxido de carbono, metano, ácidos orgánicos, metanol y otras especies de hidrocarburos combustibles son emanados desde la zona de la llama. Los productos desde la zona de la llama son predominantemente dióxido de carbono y vapor de agua. El vapor de agua aquí no es el resultado de la fase de preignición, sino más bien de la oxidación de los componentes vegetales. La temperatura en esta fase fluctúa entre los 300°C y 1.400°C.

Fase de carbonización (la oxidación de sólidos es la predominante) Es la fase final de la combustión donde se produce la característica incandescencia.

En un incendio, estas diferentes fases son difícil de identificar porque ellas ocurren secuencial y simultáneamente. En los incendios se pueden distinguir combustión con llama, o activa, y combustión sin llama con producción de humo. La combustión con llama, o activa, obviamente está asociada con la llama visible que se mueve entre los combustibles. La combustión sin llama con producción de humo es mucho más general y está asociada con la llamada fase “die down” después que las llamas han pasado por el combustible. Este tipo de combustión produce una gran cantidad de humo en la cual la deshidratación, pirólisis, llamas bajas e intermitentes y procesos de incandescencia o carbonización están ocurriendo simultáneamente sin un proceso predominante.

Es importante enfatizar que la combustión en los incendios forestales no es un proceso químicamente eficiente. Una de las razones es el contenido de humedad de los combustibles, los cuales tienden a absorber diferentes cantidades de energía desde el fuego. La razón más importante es el viento, movimiento del aire alrededor del fuego, el cual no aporta oxígeno en forma pareja para que se mezcle con los gases inflamables. Por otra parte, el frente de avance del fuego es modificado por el viento, quemando con relativa y/o gran intensidad y moviéndolo de combustible en combustible. Bajo esta condiciones muchos de los elementos no son consumidos completamente.

Según VÉLEZ (2000) las principales emisiones durante la combustión son: CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), CH₄ (metano), NO_x (NO y NO₂) (óxidos de nitrógeno), NH₄ (amoníaco), O₃ (ozono) y partículas sólidas. El CO₂ y el CH₄ son gases de efecto invernadero que pueden contribuir al calentamiento global aparente. El CO, el CH₄ y los NO_x contribuyen a la producción fotoquímica de O₃ en la troposfera. El O₃ es un contaminante que puede ser irritante e incluso tóxico. El NH₄ genera en la troposfera ácido nítrico (HNO₃) y contribuye a la lluvia ácida. Las partículas sólidas (humo, hollín) se difunden por la atmósfera absorbiendo y reflejando los rayos solares, con impacto en el clima más o menos amplio, según la difusión que alcancen. También pueden producir problemas respiratorios si su concentración es muy elevada.

Según ANDREAE Y GOLDAMMER (1992) citados por GOLDAMMER Y MANAN (1996) se ha calculado que la liberación bruta de carbono a la atmósfera producida por la quema de biomasa vegetal en los trópicos para la agricultura migratoria, la deforestación permanente, u otros incendios de bosques y sabana, puede oscilar entre mil y cuatro mil millones de toneladas por año.

El humo de los incendios contiene diversos contaminantes, como son NO_x, SO_x, CO y otros, produciendo CO₂, que contribuye al cambio climático global (RODRÍGUEZ, 1994).

Después de la quema de combustibles fósiles, la quema de la vegetación forestal es la segunda fuente de gases de efecto invernadero y actualmente representa un 20 - 30 % de las emisiones anuales de estos gases (IPCC, 1990; citado por CIESLA, 1995).

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH₄) producto del fuego contribuyen al efecto invernadero atmosférico (CRUTZEN et al., 1979 citado por BERINGER, *et al.*, 1995).

El humo emitido por la quema de biomasa puede también afectar la cantidad de radiación por el incremento de la reflexión y absorción de la radiación solar (BERINGER, *et al.*, 1995).

No existen modelos reales para medir el rango de emisión de los productos de la combustión desde quemas forestales. Sin embargo, han sido propuesto modelos termoquímicos (BECKER, 1973, STEIN y BAUSKE 1972; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978) y modelos empíricos (SANDBERG y PICKFORD 1976, SANDBERG 1974; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). Estos deben ser tomados como resultado de una muestra instantánea desde las emisiones de un incendio forestal. Los rangos de las evidencias empíricas de los contaminantes más importantes, se exponen a continuación:

Dióxido de Carbono (CO₂) el dióxido de carbono no es un contaminante del aire en un sentido usual. Sin embargo, es monitoreado por ser un indicador de eficiencia de la quema. VINES *et al.* (1971) cuantificó 1.658 kilos de CO₂ por tonelada de combustible quemado. Emisiones entre 906 y 1.586 kilos por tonelada fueron medidas en quemas experimentales (RYAN y MCMAHON, 1976; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978).

Los sistemas de producción silvícola y agrícolas tradicionales, con su movimiento de tierra y quema, provocan un incremento significativo del CO₂ en la atmósfera, representando el carbono liberado por las quemas un 30% de sólidos en suspensión que contribuyen al efecto invernadero. La contaminación atmosférica, al emitir material particulado, influye significativamente al origen de problemas broncopulmonares en la población humana circundante. En perspectiva, si esta situación no es revertida en el inmediato plazo puede significar que la atmósfera contendrá alrededor de 3 a 4 veces más CO₂ que en la época preindustrial. (TANS y BAKVIN, 1995; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978).

Monóxido de Carbono (CO): el monóxido de carbono es el más abundante contaminante del aire generado por los incendios forestales, es un gas incoloro e inodoro altamente tóxico. Este puede afectar directamente la salud del hombre dependiendo de la duración, concentración y nivel de actividad física durante la exposición. RYAN (1974) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) midió concentraciones superiores a 200 partes por millón (ppm) cercanas a la llama, pero observaciones de FRITSCHEN y colaboradores (1970) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) plantean que el nivel se reduce a menos de 10 ppm pasado los 30 metros desde el fuego. RAYN y MCMAHON cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) indican que 226 kilos por tonelada pueden resultar desde la combustión sin llama en combustible húmedo y SANDBERG *et al.* (1975) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) midieron emisiones de 226 a 363 kilos por tonelada en incendios de laboratorio de gran intensidad.

Las medidas obtenidas del monóxido de carbono han dado como resultado entre 50 y 200 ppm, en el borde de un incendio y aún más alto en el incendio mismo. Si esto se compara a las 200 ppm en promedio de mediciones de monóxido de carbono en túneles de carreteras donde la producción es continua, puede ser poco significativo. Sin embargo, una exposición prolongada a estas concentraciones al borde de un incendio o quema puede ser un riesgo para el personal que trabaje en el control del fuego o en una quema controlada.

Óxidos de Sulfuro (SO_x): muchos de los combustibles forestales contienen menos de 0,2 % de sulfuros, como óxidos de sulfuro pueden ser producidos solamente en cantidades insignificantes en las quemas forestales. Dióxido de sulfuro (SO_2) es producido en una gran cantidad por el carbón mineral y combustión de aceite, aceite refinado y fundición de metales. Los bosques son el mayor vertedero de sulfuros desde la atmósfera vía los mecanismos de absorción de SO_2 por los vegetales (MURPHY *et al.*, 1977; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978) y la ocurrencia de la lluvia ácida (DOCHINGER y SELIGA 1976; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). Las cualidades del aire y productividad de los bosques puede ser afectada por las emisiones urbanas de óxidos de sulfuro.

Oxidantes: ha sido conocido en el último tiempo que el humo producido por las quemas de desechos agrícolas contienen menor cantidad de elementos propensos a reaccionar con la luz del sol desde el humo fotoquímico, tipificado como ozono (O_3) este requiere de concentraciones mayores de 0,03 partes por millón (DARLEY *et al.*, 1966; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). EVANS *et al.* (1977) cit. p. SANDBERG *et al.*, (1978) confirman que medidas en la columna de humo desde incendios forestales generan concentraciones de ozono por sobre 0,1 ppm después de 45 minutos de irradiación. RADKE *et al.* (1978) cit. p. SANDBERG *et al.*, (1978) midieron concentraciones de O_3 sobre las 0,9 ppm en la columna desde quemas de quemas de ramas.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): la formación de óxidos de nitrato ocurre durante la fijación del nitrógeno atmosférico en la zona de combustión a temperaturas sobre los 1540°C (HALL, 1972; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978), esto es sobre las temperaturas que ocurren normalmente en las quemas. Información sobre emisiones de óxido de nitrógeno desde incendios forestales son limitadas e inconclusas.

El óxido de nitrógeno causa un olor desagradable y una neblina café que irrita los ojos y la nariz y es perjudicial para las personas. Los óxidos de nitrógeno son producidos solamente a altas temperaturas, que sólo se alcanzan cuando el combustible forestal es totalmente consumido.

Hidrocarbonos (HC): los hidrocarbonos contienen miles de componentes producidos durante la combustión de la materia orgánica. Algunos reaccionan en el aire para producir un “smog” irritante. La combustión del combustible forestal no es el mayor contribuyente de los hidrocarbonos contaminantes. Las mediciones han oscilado entre 2,3 y 122 kilos por tonelada de combustible forestal, comparando a los 59 kilos producidos por tonelada de gasolina.

Sin embargo, si se analizan las cifras promedio por temporada de quemas, en Chile, tenemos que esta actividad genera un importante impacto sobre la calidad del aire. El impacto que tiene, en cuanto al aporte de material particulado a la atmósfera varía dependiendo del tipo de combustible vegetal quemado entre 2,3 y 122 kilos por tonelada quemada, donde el impacto más optimista asciende a 10.327 toneladas y el más pesimista a 55.769 toneladas de hidrocarbonos contaminantes que se aporta a la atmósfera por temporada (HALTENHOFF, 1997).

Partículas: probablemente la más importante categoría de emisiones son las partículas del humo. Ellas son la mayor causa de reducción de la visibilidad y sirven como superficie de absorción de los gases nocivos que puedan estar presente en el ambiente. Pueden agravar las condiciones respiratorias

en individuos susceptibles, especialmente en combinación con los óxidos de sulfuro. La emisión de partículas depende del tipo de combustible e intensidad del fuego. El frente del incendio produce por sobre tres veces más que la cola de los incendios (RAYN y MCMAHON, 1976; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978).

La emisiones por tonelada de combustible quemado están aproximadamente en inversa proporción con la intensidad del fuego. Combustibles como acículas producen más partículas que combustibles leñosos solos (SANDBERG, 1974; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978).

Cuando las partículas producto de la combustión están presentes en gran cantidad en la atmósfera, pueden causar una disminución drástica de la visibilidad y crear serios problemas en el transporte aéreo y terrestre.

En la noche la combustión, generalmente, produce más humo y permanece más tiempo en el suelo, debido a las inversiones de temperatura y a que el aire frío desciende por las quebradas.

Es indudable, a la luz de lo anteriormente expuesto, el importante impacto que tiene la combustión sobre la atmósfera, entre los que se destaca el aporte de monóxido de carbono, el dióxido de carbono, hidrocarburos contaminantes y partículas de material no quemado, los que causan significativos efectos negativos sobre la calidad del aire respirable.

Sin duda, en el Departamento de Petén, más que los incendios forestales en si mismo, lo que más esta impactando en el medio ambiente, es la contaminación atmosférica producto de la gran cantidad de quemados de vegetación y bosques para habilitar terrenos para la agricultura y la ganadería.

5.4 Efectos sobre la Vida Silvestre

Es importante destacar que los animales participan en la diseminación y facilitan la germinación de algunas semillas como así mismo, en su fertilización, como parte de su función en el ecosistema.

El efecto sobre los vertebrados, y la macrofauna en general, es dependiente de la agilidad de las especies, de la intensidad y duración del incendio y de las probabilidades de refugios como madrigueras, grietas, etc. que estén disponibles (BOOYSEN y TAITON, 1984; CHANDLER *et al.*, 1983; KOSLOWSKI y AHLGREN, 1974; WRIGHT y BAILEY, 1982; cit. p. SAIZ, 1990).

Durante la primavera y el verano los incendios destruyen la vida silvestre, sin embargo, la cantidad de muerte es poca en relación a la magnitud del fuego, esto es debido a la respuesta inmediata que tienen las especies frente al fuego (LYON *et al.* 1978).

Este elemento puede herir a los animales, directa o indirectamente propiciando accidentes mientras tratan de huir. De quedar atrapados por el fuego, pueden morir a consecuencia de asfixia, quemaduras o de pánico, si no es que escapan atravesando el muro de llamas (RODRIGUEZ, 1996).

El daño directo producido a la fauna consiste en la mortalidad súbita de la población animal durante un incendio y la dificultad de recuperar parte de los individuos sobrevivientes y el daño indirecto es la modificación de su hábitat natural, la escasez de alimentos y la pérdida de sus nichos y refugios. Situación que conlleva a la emigración de las especies desde las áreas afectadas por los incendios forestales.

Poblaciones de escasa movilidad, sufren una disminución notable, ésta se puede comprobar en la disminución en las poblaciones edáficas después de un incendio. Sin embargo, para estas poblaciones la propagación rápida y superficial del fuego le significará un menor daño.

En relación a la competencia, los efectos del fuego pueden reducir la disponibilidad de determinado recurso para una especie, y obligarla a competir con otra por el mismo. Sin el concurso del factor fuego tal competencia no se daría, al menos con la misma intensidad. Acerca de la depredación, el patrón de cobertura puede afectar la relación entre depredadores y presas, pues estas últimas quedan más expuestas y durante más tiempo. Sobre parásitos y enfermedades, después de un incendio, las infecciones de parásitos, externas e internas pueden reducirse en aves y otros animales (LOVATT, 1991; ISAAC, 1963; cit. p. BENDELL, 1974; cit. p. RODRIGUEZ, 1996).

La recuperación de la fauna es en gran medida dependiente de la recuperación de la cubierta vegetal, la cual ocurre, ya sea por estímulo directo del fuego sobre la germinación o por otros mecanismos de recuperación de que disponen las especies vegetales (ARAYA y AVILA, 1981; NAVEH, 1974; SPECHT, 1981; cit. p. SAIZ y BASCUÑAN, 1990).

Los efectos producidos a los insectos pueden ser transitorios o de larga duración dependiendo, de la eliminación de sus huevos por efecto del fuego. Pero, existen algunos insectos que son atraídos por el humo y el calor, encontrándose algunas especies en tocones que aún se encontraban humeando, aumentando así su población después de ocurrido el incendio.

Organismos como hormigas, termitas, lombrices, arañas, escorpiones, etc., superan total parcialmente el incendio en refugios bajo tierra, siendo activos poco después de terminado el fuego (AHLGREN, 1974; CHANDLER *et al.*, 1983, WARREN *et al.*, 1987; cit. p. SAIZ y BASCUÑAN, 1990).

Después del incendio, las cenizas que llegan a las corrientes de agua, causarán una destrucción de la vida acuática. La destrucción de la vegetación y de las sombras a lo largo de los cursos de agua, causará un aumento en la temperatura del agua y la emigración y/o muerte de las especies acuáticas.

Quizás uno de los efectos más importantes, en Chile, donde no existe una gran variedad de animales mayores asociados con los bosques nativos, sea el impacto del fuego sobre la fauna avícola silvestre. Por lo general, durante la época de incendios forestales, primavera y verano, estas especies se encuentran en periodos de anidación y crianza y como es claro concluir que al destruirse la vegetación se produce una importante destrucción de las especies en reproducción (PINTO, 1997).

Con anterioridad se han hecho algunas referencias respecto al rol del fuego como factor ecológico. Este elemento, provocado naturalmente en países del hemisferio norte, ha contribuido en muchas regiones del mundo a preservar el equilibrio biológico y la supervivencia de la flora y fauna autóctonas. El hombre puede simular las condiciones creadas por la naturaleza a través de la aplicación de quemas controladas, con el fin de favorecer el desarrollo de la vida silvestre. Son innumerables los ejemplos que prueban la eficiencia de este medio, especialmente en períodos en los cuales la producción de fuegos naturales no se han presentado con la normal intensidad (PINTO, 1997).

5.5 Efectos sobre la Calidad de Vida

El impacto que tienen los incendios forestales sobre la calidad de vida de la población se puede enfocar desde varias perspectivas. Este a su paso destruye construcciones y obras físicas que ha hecho el hombre, cada año en diferentes partes del mundo es posible conocer de la destrucción de cientos de casas localizadas dentro de los bosques o en áreas aledañas a estos. Esta realidad aún no se ha visto en Guatemala, pero, de continuar con el uso extensivo del fuego y el proceso de stress hídrico que están sufriendo los bosques por las alteraciones en el régimen de precipitaciones será un hecho concreto.

La destrucción de las fuentes productoras de agua (deforestación) y la contaminación de estas (sedimentación) es un realidad que ya se esta haciendo presente en gran parte del Departamento de Petén, de hecho ya muchos agricultores han planteado que cada día es más difícil acceder a las napas freáticas para obtener agua para consumo personal y para la ganadería.

Si bien es cierto, la quema de vegetación está originando un importante aporte de contaminantes a la atmósfera, este fenómeno no es apreciado por la población, en su real magnitud. Este impacto tiene una repercusión global lo cual no esta al alcance de la población rural.

Una de las fuentes de generación de ingresos más importante y ambientalmente sustentable, en gran parte del mundo, y sobre todo en áreas como el Departamento de Petén, es el turismo. En este departamento se cuenta con una riqueza cultural, paisajística, de biodiversidad, Parques Nacionales, que lo sitúan dentro de las áreas privilegiadas de Centroamérica y el mundo, pero de continuar con el proceso de quemas y deforestación se va hacia la extrema pobreza y marginalidad.

6 EVALUACIÓN DEL DAÑO DE LOS INCENDIOS FORESTALES.

Sin lugar a dudas, en los últimos años se han desplegado importantes esfuerzos para enfrentar los incendios forestales, y han sido muchos los países que han comenzado a sentar las bases para la estructuración de Programas de Protección Contra los Incendios Forestales y se han hecho importantes esfuerzos para normar, regular y tecnificar el uso del fuego como herramienta de trabajo silvoagropecuaria.

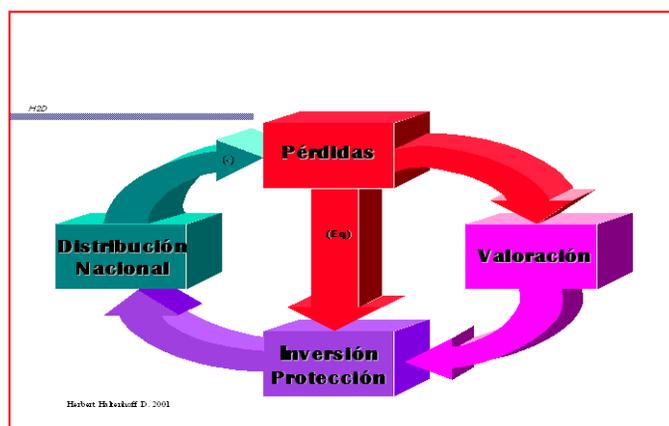
Sin embargo, estos esfuerzos se han centrado básicamente en la inversión en recursos para el control de estos siniestros, estrategia con la cual en el mediano y largo plazo no se logrará atenuar este problema. Preocuparse sólo por el control del incendio forestal es asumir una posición reduccionista, desconociendo que uno de sus efectos más graves se relaciona con el acelerado proceso de deforestación y posterior desertificación que está sufriendo parte importante de Latino América. En la “escalada silvofóbica” que ha caracterizado a la sociedad en su conjunto la herramienta básica para el manejo de la naturaleza ha sido el fuego, bajo el concepto de quemas para habilitar terrenos para la agricultura y ganadería, lo cual ha significado arrasar con millones de hectáreas de bosques nativos. El impacto que ha tenido el fuego en estos bosques, frágiles, ricos en biodiversidad y fuente de sustento económico y ambiental, ha sido dramático, más aún considerando que el fuego y las quemas no cumplen un papel preponderante en la dinámica de evolución de los ecosistemas en una parte importante de Latino América, como sí lo cumplen en otras latitudes. La deforestación así generada, por la fragilidad de los suelos que sustentan estos recursos, ha ocasionado importantes procesos de erosión, pérdida de suelos agrícolas y daños importantes, y en muchas ocasiones irreversibles, en el medio ambiente local y global. (HALTENHOFF 1998 y PINTO 1997).

Atendiendo, como ya se ha mencionado con antelación, el progresivo aumento del número de incendios forestales y los consecuentes daños que estos están generando, a escala local y global, al medio ambiente, a la sociedad y la economía de los países, se hace necesario integrar como una actividad más de los Programas de Protección a la **Evaluación de las pérdidas**, cualitativas y cuantitativas, generadas por estos y establecer **Planes de mitigación** de los impactos ambientales, sociales, culturales y económicos.

Una de las tareas que conlleva un Programa de Prevención y Protección contra Incendios Forestales tiene relación con la evaluación del “*daño real*”, entendido este como aquel generado por la ocurrencia de un incendio forestal, y el “*daño potencial*”, lo que está bajo la protección del sistema, originado por estos siniestros.

El fondo de esta evaluación radica en que se debe buscar un equilibrio entre los valores a proteger y la inversión en protección, por una parte y por la otra, también nos aporta antecedentes importantes sobre la eficacia y eficiencia de los programas de protección. (Figura 4)

FIGURA 4



Sin duda evaluar el impacto de los incendios forestales o el valor de los recursos a proteger es una tarea compleja, pues conlleva a la estimación de los rendimientos comerciales de los recursos forestales, cualquiera que sea su tipo, y/o la evaluación de su valor intrínseco como componente de la dinámica medio ambiental.

La medida de las consecuencias económicas de un incendio forestal descansa, como es claro comprender, sobre el conocimiento fundamental de los efectos físicos del fuego, negativos y positivos, sobre la vegetación forestal y el medio ambiente en general.

Debemos ser capaces de responder preguntas como:

- ¿Cuál es el valor de un bosque, de un matorral, una pradera natural o una plantación forestal?
- ¿Qué se pierde a causa de los incendios forestales?
- ¿Cuál es el valor, cualitativo y cuantitativo, de los recursos en riesgo?
- ¿Cuál es el grado de dificultad para restaurar un terreno forestal después del incendio?
- ¿Cuántas pérdidas potenciales nuestro programa de protección previene?

Pero, hay una serie de interrogantes técnicas que requieren de una pronta respuesta, con la finalidad de dimensionar el real impacto que encierra la presencia del fuego, en terrenos forestales y agrícolas, como: ¿Cuál es la temperatura máxima que es permisible aplicar en el suelo, antes que éste vea alterada su estructura?, ¿Qué pasa con los nutrientes orgánicos e inorgánicos del suelo?, ¿Qué pasa con la capacidad de sitio del suelo?, ¿Qué pasa con los microorganismos?, ¿Qué pasa con la contaminación ambiental producto del humo?, ¿Existen alternativas de utilización de la gran cantidad de desechos producto de las faenas agrícolas y forestales?, ¿Pueden ser éstos utilizados o incorporados al suelo?, ¿Qué beneficios aporta el uso del fuego?, ¿Existen otras alternativas de manejo silvícola, que aporten menos desechos al bosque?.

La respuesta a estas interrogantes, como se plantea en el documento de la Secretaría de Agricultura de México (1987), no es sencilla, sólo la pérdida de la madera en un incendio puede ser evidente, quizás inmediatamente después de él se puedan observar que han sido destruidas plántulas, renuevo y pequeños árboles, o bien que los perjuicios para la vida humana hayan sido de consideración; pero pueden pasar inadvertidas las quemaduras parciales de los árboles, la falta de incremento y la reducción del vigor que los hace más vulnerables a los ataques de los insectos y de los hongos, así como la alteración gradual de la

composición de la masa boscosa, la afectación sobre el Ciclo Hidrológico o las repercusiones ambientales, económicas, culturales y sociales que implica la ocurrencia de incendios forestales en una u otra región.

La tarea de conocer e identificar los daños, inmediatos y de corto y largo plazo, como también el estructurar y manejar un sistema de valoración de estos daños es, por lo tanto, multidisciplinaria (intervención de diferentes disciplinas o áreas del conocimiento en la interpretación de un fenómeno o solución de un problema), interdisciplinaria (interrelación de coordinación y cooperación efectiva entre disciplinas) y transdisciplinaria (logro de la unidad de marcos conceptuales entre las disciplinas o áreas del conocimiento), tomando en consideración la globalidad de los impactos del fuego.

Los incendios forestales no son un fenómeno aislado en el entorno, la génesis de estos posee una estrecha relación con el *territorio* donde estos se presentan, en cuanto a la característica vegetacionales, climáticas, edáficas, y a los modelos de propiedad de la tierra, terrenos particulares (minifundios o latifundios), del Estado, Parques Nacionales, u otros. También están estrechamente relacionados con los *asentamientos humanos* presentes en estos territorios, debiendo conocerse la percepción que tienen estos de los incendios forestales, su conocimiento de las dinámicas ambientales, su perspectiva de desarrollo y relación económica con ellos y su compromiso con los recursos forestales. Además, estos tienen también un impacto diferente en cuanto a la temporalidad y periodicidad cuando ellos ocurren. (Figura 5)

Conocer toda esta relaciones, es conocer la valoración que le da la población circundante y los tomadores de decisiones el problema de los incendios forestales y, aún más allá, de la deforestación y los cambios ambientales globales.

FIGURA 5



6.1 Antecedentes Preliminares

Saltan a la vista dos conceptos importantes que se requieren de consensuar y socializar, entre los involucrados en la temática de los incendios forestales, ello dará las pautas y fundamentos para el desarrollo y enfrentamiento del problema en el ámbito local. Estos conceptos son: **Bosque** e **Incendio Forestal**, los más básicos y obvios, pero, sin embargo, sobre estos no existe una paridad de criterios a escala global. Al respecto se puede mencionar el enfoque que se le ha dado a estos conceptos en diferentes partes del mundo:

Grecia:

- **Bosque:** Superficie total o parcial cubierta por vegetación leñosa de edad y altura que forme un conjunto homogéneo de manera que la distancia entre las plantas permita que existan interacciones entre ella, proporcione productos aprovechables y contribuya a mantener el equilibrio natural y biológico.
- **Bosque Abierto:** Superficie cubierta por vegetación leñosa poco abundante que no puede cumplir todas las funciones mencionadas.
- **Terreno Forestal:** Incluye los bosques y bosques abiertos, así como los claros de pequeña extensión situados dentro de ellos.
- **Incendio Forestal:** Es el fuego que se declara en terreno forestal. Se excluyen los pastizales, los cultivos y la interfaz zona urbanizada – medio natural. (VÉLEZ, 2000)

Italia:

- **Bosque o terreno forestal:** Superficie no inferior a 0,5 hectáreas en la que aparecen plantas forestales leñosas, arbóreas o arbustivas, cuyo coeficiente de superficie cubierta es superior al 50% y que pueden tener efecto indirecto sobre el clima y el régimen de las aguas.
- **Incendio Forestal:** Es el fuego en el bosque o terreno forestal, que produce daños económicos o que afecta a la función protectora o recreativa del bosque. (VÉLEZ, 2000)

Túnez:

- **Incendio Forestal:** Se consideran incendios forestales los que afectan a zonas con vegetación leñosa o plantaciones de más de 4 hectáreas. (VÉLEZ, 2000)

España:

- **Terreno forestal:** Es la tierra en la que vegetan especies arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, siempre que no sean de características de cultivo agrícola o fueren objeto del mismo.
- **Incendio Forestal o Incendio de Monte:** Es el fuego que se extiende sin control sobre terreno forestal, afectando a vegetación que no estaba destinada a arder. (VÉLEZ, 2000)

Chile:

- **Incendio Forestal:** Es el fuego que afecta a la vegetación en zonas rurales, propagándose libremente y en forma descontrolada. (ACHS, 1996)

Cuba:

- **Bosque:** Formaciones naturales (bosques naturales) o artificiales (plantaciones) integradas por árboles, arbustos u otras especies de plantas y animales superiores e inferiores, que constituyen un ecosistema de relevancia económica y social por las funciones que desarrolla. (Ley Forestal/1998, Artículo 2)
- **Incendio Forestal:** Al fuego que ocurre de manera incontrolada en los bosques naturales y artificiales. Incluye las áreas colindantes, definidas como al área contigua a la pared de bosques hacia el exterior hasta una distancia de 200 metros. (Ley Forestal/1998, Artículo 134)

Guatemala:

- **Bosque:** El ecosistema en donde los árboles son las especies vegetales dominantes y permanentes (Decreto No. 101-96, Ley Forestal).
- **Incendio Forestal:** Fuego que está fuera del control del hombre en un bosque (Decreto No. 101-96, Ley Forestal).

Como es posible deducir, en estos pocos ejemplos, la concepción de bosque e incendio forestal, presenta variados matices. En *Grecia* en términos generales, sólo considera a la vegetación leñosa; en *Italia* a la vegetación leñosa y que ésta presente determinado coeficiente de cobertura; en *Túnez* vegetación leñosa y que presente determinada superficie afectada; en *España*, hace alusión al terreno forestal y a la falta de control del fuego; en *Chile* el concepto es amplio a todo el ámbito rural; en *Cuba* a los bosques naturales y artificiales y a la falta de control del fuego y en *Guatemala* árboles como especie dominante y fuego fuera de control en áreas de bosques. Esta situación significa sin duda una disparidad de criterios a la hora de evaluar los daños de estos siniestros y por ello también una gran dificultad al tratar de comparar impactos y daños ambientales entre los diferentes países.

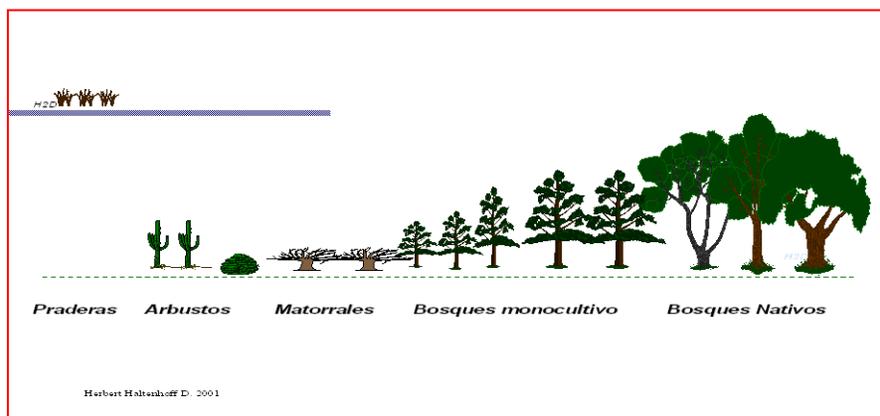
¿Qué se entenderá por incendio forestal?.

Incendio Forestal: fuego que se propaga libremente sin límites preestablecidos que consume material vegetal leñoso o de cualquier otra característica que se encuentre incluido en áreas rurales denominadas forestales, entendiéndose por tales a los terrenos de aptitud preferentemente forestal, y aquellos que sin serlo tengan en la actualidad un aprovechamiento forestal (CÁRCAMO Y HALTENHOFF, 1993).

De acuerdo a esta última definición, el incendio forestal, como concepto, está dado por su localización espacial, en terrenos de aptitud forestal, y no por la estructura de la vegetación afectada. Desprendiéndose también la existencia de un continuo de tipos vegetacionales, potencialmente

susceptibles a ser dañados por el fuego, los que varían notablemente en su morfología, biodiversidad y roles ambientales, económicos, sociales y culturales. Los que van desde las praderas naturales hasta los bosques nativos más complejos. (Figura 6)

FIGURA 6



Estas asociaciones vegetales desde la *perspectiva ambiental*, poseen diferente complejidad en sus relaciones con el medio ambiente y cumplen diferentes roles, entre los que se pueden mencionar están:

- Protección del Suelo
- Producción de Agua
- Participación en el Ciclo del Aire
- Refugio y alimento para la Vida Silvestre
- Conservación de la Biodiversidad
- Regulación del Clima

Desde el punto de vista *antropocéntrico o económico*, estos tipos vegetacionales, también aportan múltiples beneficios al hombre.

- Producción de alimentos
- Producción de materias primas
- Fuente de trabajo
- Recreación
- Belleza Escénica

Desde la *perspectiva social*, dada la cada vez más estrecha relación entre los asentamientos humanos y el medio natural, asociado a los recursos forestales existen una serie de bienes y recursos.

- Construcciones, vehículos, cercos, tendidos eléctricos, etc.
- Ganado
- Vidas humanas

Desde la *perspectiva cultural*, desde tiempos inmemoriales el desarrollo de los pueblos ha estado asociado a los bienes y recursos que ofrecen los bosques. Con el pasar de los años estas relaciones van siendo cada vez más distantes y se han perdido en el tiempo. Por otra, parte en muchas áreas de características forestales existen grandes vestigios de antiguas civilizaciones que es fundamental su protección y conservación.

Acervo cultural

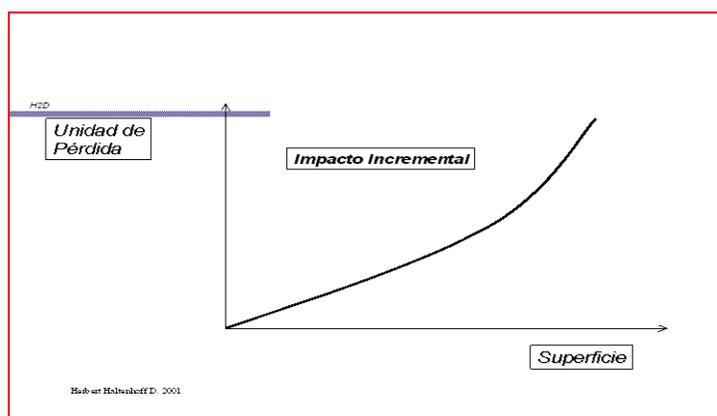
La definición de incendios forestales propuesta, además de dar una base para la evaluación de los daños y el impacto ambiental propiamente tal, ella también da un importante lineamiento para el enfoque de las campañas de prevención. La población debe comprender que las selvas, la foresta, los terrenos de aptitud preferentemente forestal o el monte, como se quiera denominar, no sólo lo componen los bosques propiamente tales, sino toda la vegetación presente en tales terrenos y, que independiente de su estructura, posee importantes roles ambientales y económicos.

6.2 Evaluación del Daño de los Incendios Forestales

Como primer punto es importante hacer una breve descripción y análisis de los tres componentes básicos de la teoría económica que nos permita establecer un modelo para la toma de decisiones: la función del daño; la función de producción y la función de los costos:

Función del Daño: Esta aceptado que en la medida que aumenta el área quemada los daños (directos e indirectos producto del fuego) aumentan más que proporcionalmente. En los grandes incendios forestales o complejos de incendios, debido a sus condiciones de comportamiento e intensidad, sus daños son proporcionalmente mayores a la sumatoria de igual superficie aportada por una gran cantidad de incendios pequeños. (Ver Figura 7)

FIGURA 7



Este comportamiento de las pérdidas guarda una estrecha relación con la topografía del área afectada, el tipo de estructura vegetacional, tiempo de recuperación de la vegetación y porcentaje del daño de la cubierta vegetal. No es lo mismo que se afecten 100 hectáreas de praderas naturales que

100 hectáreas de bosques nativos, en un terreno plano o uno con pendiente. Tampoco el impacto es similar en un incendio forestal de 1.000 hectáreas que la sumatoria de los impactos de 1.000 incendios de 1 hectárea.

La estimación de los daños o pérdidas directas ocasionadas por los incendios forestales no guarda mayor complejidad. Sin embargo, la determinación de las pérdidas indirectas - ambientales, económicas, sociales y culturales - o también denominadas externalidades negativas, son complejas de valorizar.

De acuerdo con la experiencia empírica y consultas bibliográficas de diversos autores, se propone, para la estimación de las pérdidas indirectas la siguiente función derivada de la valoración de las pérdidas directas. (HALTENHOFF, 1997)

$$\text{Daño Total} = f \text{ Pérdidas Directas; } f \text{ Pérdidas Indirectas}$$

$$\text{Pérdidas Indirectas} = \text{Pérdidas Directas} * ((t+p+e+r+d)/5)$$

Donde los valores obtenidos de la sumatoria de la Pérdidas Directas son multiplicadas por el factor dado por la sumatoria de los factores de tamaño del incendios (t); Pendiente del terreno (p); Estructura de la vegetación (e); Tiempo de recuperación de la cobertura vegetal (r) y Porcentaje de daño de la cubierta vegetal (d) divididas estas por 5. (Figura 8)

Para comprender el procedimiento, se tiene el siguiente ejemplo: Un incendio forestal de 40 hectáreas, en un terreno con un 28% de pendiente, de una estructura vegetacional de *Matorral*, con un tiempo de recuperación de 4 años y un 60% de daño del área quemada y una *pérdida directa* de \$4.000 por concepto de leña y carbón.

$$\text{Daño Total} = \$ 4.000 \text{ (PD)} + \$12.800 \text{ (PI)}$$

$$\text{Daño Total} = \$ 16.800$$

Donde se tiene una pérdida total de \$16.800, \$4.000 de pérdidas directas y un estimación de \$12.800 de pérdidas indirectas.

FIGURA 8

Daño: $f \text{ Pérdidas Directas} * \text{Pérdidas Indirectas } f ((t+p+e+r+d)/5)$									
Tamaño Incendio (t)		Pendiente Terreno (p)		Estructura Vegetacional (e)		Tiempo Recuperación (r)		% Daño Cubierta (d)	
Variables	Factor	Variables	Factor	Variables	Factor	Variables	Factor	Variables	Factor
- 10 ha	1	- 15 %	1	Praderas	1	Anual	1	- 25 %	1
10 a 50 ha	2	15 a 25 %	2	Matorral	2	- 5 años	2	25 a 50 %	2
50 a 500 ha	5	25 a 35 %	5	Plantación	5	5 a 10 años	5	50 a 75%	5
+ 500 ha	10	+ 35 %	10	B. Nativo	10	+ 10 años	10	75 a 100%	10

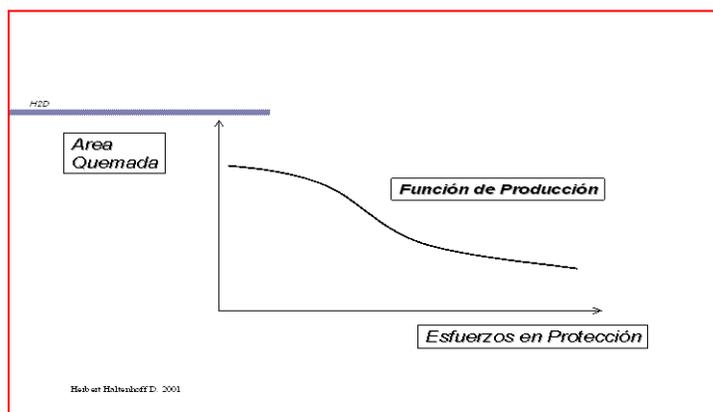
Preparado por Heibert Haltenhoff
Heibert Haltenhoff D. 2001

En Anexo 1 se hace un breve análisis y descripción de los conceptos que están a la base de cada uno de los factores definidos para la estimación de las pérdidas indirectas.

Función de Producción: La producción está en función de los esfuerzos de control que se ejecuten en un incendio forestal. La oportunidad y rapidez es la esencia, particularmente en los niveles altos de peligro de incendios. El tiempo transcurrido entre la detección de un incendio y las acciones de control tiene una marcada influencia en el área quemada y, por supuesto, en los daños consecuentes. (Figura 9)

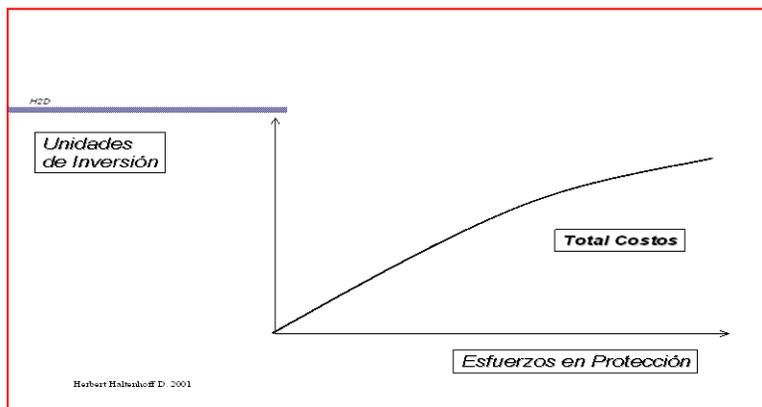
Entre mejor estructurado y coordinados se encuentre un sistema de protección el área quemada será menor. La función de producción es una agregación de tres factores de producción: la prevención de incendios; la detección de incendios y el control oportuno de ellos.

FIGURA 9



Función de Costos: Los costos del control están estrechamente relacionados con el área quemada y la variable de tiempo transcurrido. Los costos aumentan en la medida que aumentan los esfuerzos de control. Sin embargo, se llega a un punto en que los beneficios marginales de la inversión, asignar más recursos de control al área afectada, son decrecientes. (Figura 10)

FIGURA 10



Estas tres funciones son básicas para comprender y establecer los modelos de valoración de los impactos de los incendios forestales y la optimización de los recursos de prevención, detección y control de ellos.

6.3 El Impacto de los Incendio Forestales

El conocimiento por parte de la población en general de los daños que causan los incendios forestales es por demás objetivo, ya que son evidente las perturbaciones que sufren los recursos forestales y las implicaciones negativas y positivas de estos siniestros en el medio ambiente de una zona o región.

Pero la estimación de lo que realmente se está perdiendo en términos económicos y ambientales y lo que verdaderamente se está invirtiendo para prevenir y combatir estos siniestros, en términos específicos no lo conocemos. En muchas oportunidades se lucha por apagar todo tipo de incendio que se presente en las áreas forestales con los recursos disponibles, sin determinar la viabilidad y lo costoso que pueda ser estas actividades. Tampoco se enfrentan las necesidades de reforestar las áreas que se quemaron, restaurar el hábitat de la fauna silvestre o cuantificar las pérdidas de los diferentes productos forestales que se hayan dañado. (SARH, 1987)

Los impactos negativos y/o positivos de los incendios forestales sobre el medio son fáciles de enumerar y clasificar y una clasificación posible es ellos son: (HALTENHOFF, 1996):

Impacto Económico:

Pérdidas Directas

Externalidades (positivas y negativas)

Impacto Ambiental:

Pérdidas Directas

Externalidades (positivas y negativas)

Impacto Social:

Pérdidas Directas

Externalidades (positivas y negativas)

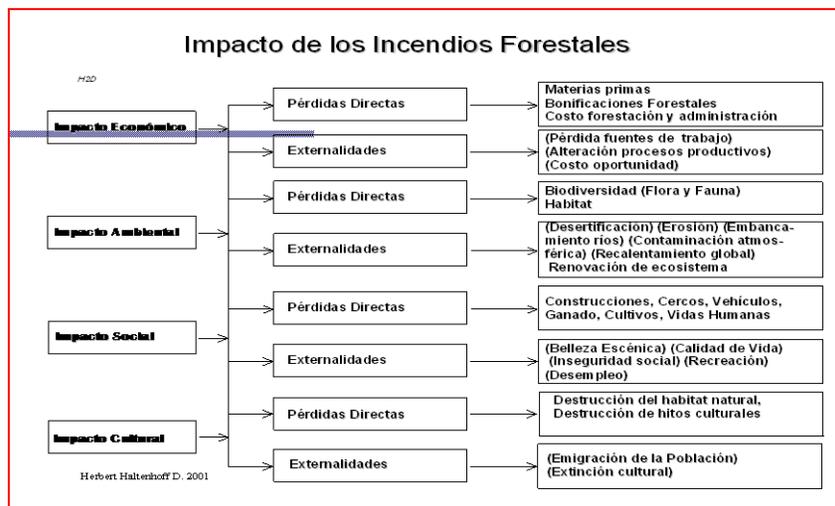
Impacto Cultural:

Pérdidas Directas

Externalidades (positivas y negativas)

Una desagregación de estos impactos se enumera en la Figura 11.

FIGURA 11



Sin embargo, las externalidades positivas y/o negativas, antes enumeradas, son complejas de medir y cuantificar económicamente, ya que como se puede inferir los incendios generan daños físicos, ambientales, biológicos y culturales, inmensurables con plena certeza.

Desde la mirada más simplista y en términos conceptuales y pedagógicos, desde el punto de vista económico, la valoración de los daños ocasionados por los incendios forestales, esta expresada por la siguiente fórmula:

$$\text{Daños} = \text{costos de restauración del recurso perdido} + \text{“valor económico” de la pérdida} + \text{costos de control}$$

Sin embargo, dentro del concepto recurso perdido, existe recursos sin “valor de mercado” y recursos que incluyen valores de “no uso”. Excluir estos valores implica una subvaluación de las estimaciones del daño.

Estas pérdidas con fines analíticos también pueden ser clasificadas en:

A.- **Tangibles** (Directas) deducidas de la pérdida de los productos primarios de los bosques (madera o subproductos) o de los bienes asociados a él (construcciones, maquinarias). Estas están basadas en, o son derivada de:

- Precios actuales o simulados
- Costo de repoblación o reemplazo

B.- **Inferibles** son aquellas pérdidas colaterales generadas a consecuencia de la pérdida de la cobertura vegetal, como: el “no uso del bien”, construcción de obras civiles, lucro cesante, bonificaciones, etc. Estas están basadas en:

- Precios actuales o simulados

C.- **Intangibles** son aquellas pérdidas generadas por el impacto del fuego sobre los recursos naturales como un todo, y que no poseen “valor de mercado”, como: biodiversidad, productividad de sitio, contaminación ambiental, contaminación de las aguas. Estas están basadas en:

- Valor de legado (es el valor de saber que el recurso como un bien estará disponible para generaciones futuras aún cuando ellos personalmente no lo usen)

- Valor de existencia (es el valor de saber que el recurso existe)

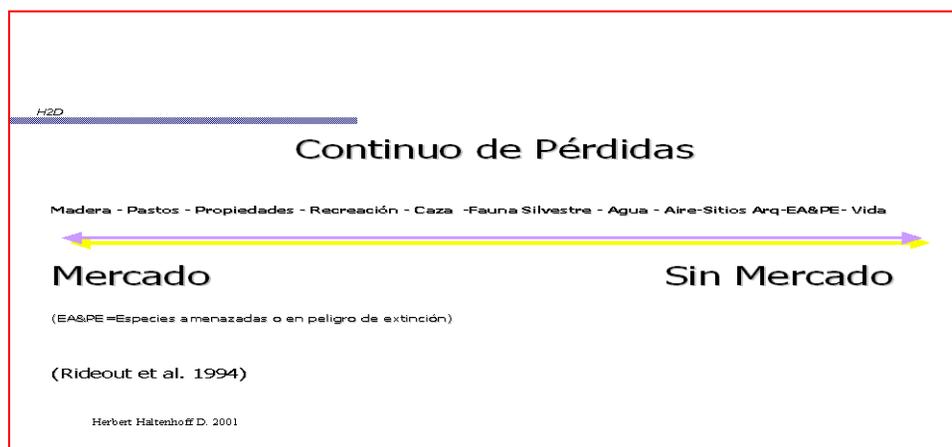
- Valor de opción (es el valor de tener la opción de usar el recurso en un tiempo futuro)

D.- **Alteraciones Inmediatas**, otro tipo de pérdidas o daño producto de la ocurrencia de un incendio forestal son las alteraciones inmediatas y ellas ocurren durante el proceso de propagación del fuego. Dependiendo de la localización y magnitud de éste ocurren una serie de disturbios en el área circundante, los que se pueden valorar por precios actuales o simulados, entre los cuales se pueden mencionar:

- Alteraciones en la navegación aérea
- Alteraciones en el tráfico en carreteras
- Evacuación de personas
- Gasto de organizaciones de apoyo al control
- Alteración de la seguridad interior del Estado

Estas pérdidas se pueden ordenar en un “Continuo de Pérdidas” dependiendo de su factibilidad de asignarles un “valor de mercado” o económico. (Figura 12)

FIGURA 12



Los recursos, entre los dos extremos, se ubican sobre un continuo dependiendo de cuánto de su valor puede ser establecido o ha sido determinado empíricamente que tiene atributos de bienes públicos o privados.

La ubicación de los recursos en este continuo determinará, por otra parte, que técnica de valoración deberá usarse para evaluar los daños causados por los incendios forestales.

El desarrollo de un sistema universalmente aceptado para la evaluación de daños producidos por los incendios forestales es difícil porque, entre otras razones, la evaluación de los valores intangibles de no uso no tienen una base común para su comparación. Además, hay una gran incertidumbre o confusión importante sobre la relación entre daño y valor. (GONZÁLEZ -CABÁN cit. VÉLEZ, 2000)

6.4 Metodología para la Valoración de Pérdidas por Incendios

Para obtener una valoración de las pérdidas o el daño directo o cuantificable económicamente de los incendios forestales existen una serie de formulas que permiten su cuantificación, dependiendo de los productos o bienes que se puedan obtener del recurso dañado, y también determinar el valor o pérdidas de aquellos recursos o bienes asociados a los bosques o recursos forestales.

Lo básico de esta cuantificación económica es la determinación del:

1. Valor económico de:

Propiedades

Bienes

Servicios

2. Costo de restaurar el bien afectado a una condición pre-incendio

Este proceso de valoración debe incluir:

- Efectos inmediatos y de largo plazo
- Recursos con mercado y sin mercado
- Efectos negativos y beneficios potenciales

Con la finalidad de hacer más fácil la lógica de la valoración posterior se estructuró la presentación partiendo de la metodología de valoración menos compleja a aquella que requiere de mayor nivel de abstracción.

6.4.1 Madera Comerciable y Pérdidas de otros Subproductos

Proceso de valoración debe incluir:

- Cambio en el volumen y calidad

- Valoración del cambio en el nivel de producción

1.1.- Plantaciones forestales jóvenes

Cuando la plantación forestal no tiene una edad suficiente para extraer el producto para lo cual fue establecida, se utiliza el Costo de Reposición (CR) de la plantación, para el cálculo de las pérdidas.

$$\text{CR} = \text{Costo de la Plantación} + \text{Gastos de Administración} + \text{Costo de Protección} + \text{Seguros}$$

Los valores a utilizar deben ser actualizados a los años de la pérdida utilizando un valor de interés compuesto, con la finalidad de actualizar el valor de la inversión y reflejar de manera más precisa la pérdida. Por ejemplo si la plantación fue afectada a los 6 años de la plantación de debe utiliza en la formula de interés compuesto el valor de 6 y el respectivo interés anual para el periodo.

1.2.- Arbolado Adulto

1.2.1.- Productos Maderables

Cuando la plantación o el bosque está en edad de producción se usa el Valor Presente (VP) de la madera dañada:

$$\text{VPdaño} = \text{VPcortado} - \text{Salvamento (Recupero)}$$

Hay que tener en consideración que el valor del bosque es la utilidad neta descontado los costos de administración, protección, explotación, transporte, seguros.

Como salvamento o recupero, se entiende a la utilidad obtenida por la venta de la madera del rodal quemado, por ello es importante en la cuantificación del daño, la determinación del porcentaje (%) de daño del bosque.

Como ejemplo se tiene: Un incendio forestal afectó 10 hectáreas de un rodal de Pino caribaea con un daño de un 25%, por razones sanitarias se decidió cortar la totalidad del rodal quemado. El valor total del rodal (10 ha) en términos de producción de metros cúbicos era de \$150.000= y posterior a su corta la madera se logró vender en \$85.000=

$$\text{VPdaño} = \$150.000 - \$85.000$$

$$\text{VPdaño} = \$65.000$$

Otra alternativa de cálculo de las pérdidas es mediante: El Valor Presente del rodal con y sin incendio:

$$\text{VPdaño} = \text{VP sin incendio} - \text{VP con incendio}$$

Esta alternativa aquí señalada se utiliza para destacar el hecho de salvar parte del rodal gracias a las acciones de control.

Como ejemplo se tiene: Un rodal tiene una superficie de 100 hectáreas y gracias a los esfuerzos de control un incendio forestal afectó sólo 10 hectáreas de un rodal de Pino caribaea con un daño de un 25%, por razones sanitarias se decidió cortar la totalidad del rodal quemado. El valor total del rodal (10 ha) en términos de producción de metros cúbicos era de \$150.000= y posterior a su corta la madera se logró vender en \$85.000=

$$\text{VPdaño} = 15.000.000 - 14.935.000$$

$$\text{VPdaño} = \$65.000$$

La conclusión es que, gracias a los esfuerzos de control sólo se perdió el equivalente a \$65.000 y se logró salvar un total de \$14.935.000.

6.4.2 *Productos no Maderables*

Un bosque antes de su cosecha no sólo produce madera sino también otros sub-productos, los cuales deben ser cuantificados. La valoración del daño sigue la misma metodología para los productos maderables, sólo cambia la estimación de la producción. Ya no se utilizan los metros cúbicos de madera, sino, las toneladas de resinas, de hojas, de miel, de cortezas, etc.

$$\text{VPdaño} = \text{Producción por hectárea} \times \text{hectáreas afectadas} \times \text{precio unitario del producto}$$

6.4.3 *Matorrales*

La valoración de los matorrales es factible de ejecutar al considerarlos a estos como una fuente de energía, o sea como productores de leña o carbón, según las características de estos también aportan cortezas, hojas, miel, tanino, etc.

$$\text{VPdaño} = \text{Producción por hectárea} \times \text{hectáreas afectadas} \times \text{precio unitario del producto}$$

1.4.- Praderas naturales (o artificiales)

Una aproximación a las pérdidas en las praderas, sean estas naturales o artificiales, es a través de su consideración como forraje para la alimentación de ganado. Para ello se debe considerar la siguiente fórmula.

$$\text{V Pérdida de Forraje} = ((\text{Cabezas de ganado por hectárea} \times \text{Hectáreas quemadas}) \times (\text{Consumo de forraje día} \times \text{Periodo de recuperación pradera} \times \text{Precio})) + \text{Transporte del forraje}$$

Como ejemplo se tiene: Se quemaron en un 100%, 10 hectáreas de praderas las cuales tienen una capacidad de carga de 0.5 vacunos por hectárea, las cuales consumen 1 pacas de forraje por día por animal. La pradera tardara 8 meses en recuperarse. El precio de cada paca de forraje es de \$100 y el costo de transporte \$1 por paca.

V Pérdida de Forraje= ((0.5 C/ha x 10 há quemadas) x (1 paca forraje día x 8 meses de recuperación pradera (240días) x \$100)) + \$1 por paca.

V Pérdida de Forraje= \$121.200.

6.4.4 Agricultura

Atendiendo que los incendios forestales también pueden afectar terrenos con cultivos agrícolas, se presenta la siguiente formula para su valoración económica.

Pérdida de Cosecha = (Costo de Replantar x Hectáreas Quemadas) + (Pérdida Esperada de Rendimiento x Precio x Hectáreas Quemadas)

6.4.5 Daño y Destrucción de Propiedad

Como se ha mencionado con anterioridad los incendios forestales no sólo afectan recursos forestales, sino también una serie de bienes asociados a ellos, viviendas, maquinarias, etc. Por ello esta valoración está referida a cualquier estructura o mejora que se considere parte de los terrenos, y el costo de reemplazar los artículos destruidos o de restaurar un artículo dañado a su condición pre-incendio.

La pérdida se refleja en el costo de reposición (CR) más la pérdida generada por el no uso de la propiedad, durante un periodo determinado de tiempo, hasta que ésta sea reemplazada o devuelta a condiciones pre-incendio.

Dp = CR + VP no uso

El concepto de “valor de no uso” del bien afectado, es posible entenderlo a través del siguiente ejemplo: Si el incendio forestal afectó una vivienda, esta tiene un cierto valor de mercado, que para estos fines equivale al costo de reposición, pero asociada a su destrucción el habitante de ella deberá rentar una nueva propiedad por el tiempo que tarde en reconstruirla, a este último gasto se le denomina valor de no uso.

6.4.6 Efectos sobre el Paisaje y Recreación

Existe otro tipo de bosques o asociaciones vegetales cuyo objetivo primario no es la producción de madera o subproductos forestales. Dependiendo de los objetivos del área en cuestión, del tamaño e intensidad del fuego los efectos pueden ser perniciosos o inexistentes.

Si el área fue afectada de forma significativa y esta estaba destinada a la recreación las pérdidas pueden ser valoradas a través de dos conceptos:

Lucro Cesante, entendido como los ingresos que se dejaron de percibir, por concepto de entradas o servicios turísticos hasta que el área no este en condiciones de recibir visitantes nuevamente.

Costo de oportunidad, entendido como el aumento de los costos que tienen que incurrir los visitantes potenciales o históricos del área por tener que recurrir a otra área de recreación.

Además, si la vegetación del área afectada no tiene capacidad de regeneración natural se deberá adicionar a la valoración de las pérdidas los costos que significara su reforestación.

$$\text{Dpyr} = \text{Número Visitantes proyectados} \times \text{Periodo de cierre del área} \times \text{Valor entrada} + \text{Ingresos turísticos proyectados} + \text{Costos de reforestación por hectárea} \times \text{hectáreas afectadas.}$$

6.4.7 Efectos en Cuencas Hidrográficas

Si el área afectada corresponde a una cuenca hidrográfica, destinada a la producción de agua, su valoración debe incluir una serie de aspectos.

- Costos de Repoblación de la Cuenca
- Costo de Estabilización de la Cuenca, a través de la ejecución de trabajos de mampostería u obras de ingeniería.

Como se ha mencionado en los casos anteriores, dependiendo del tamaño del incendio, los impactos sobre la cuenca pueden ser mínimos o también ocasionar cambios drásticos en producción de agua. Estos cambios en el régimen de agua pueden, consecuentemente, afectar el abastecimiento de agua a una población o afectar el régimen riego de los campos agrícolas aledaños.

En consecuencia, la valoración de las pérdidas será:

$$\text{Dch} = \text{Costo de reforestación por hectárea} \times \text{hectáreas afectadas} + \text{costo en obras de estabilización de la cuenca} + \text{valor de la producción de agua.}$$

La valoración de la producción de agua, puede ser efectuada, dependiendo de la finalidad de esta. Si es para la producción de agua para la población, a través de: la cantidad de litros que demanda la población afectada por la pérdida de agua por el valor de litro de esta por el periodo de falta de producción. Otra alternativa es la valoración de los costos adicionales, por concepto de mayor sedimentación y/o cenizas, en que deben incurrir las plantas purificadoras de agua abastecidas por la

cuenca. (HALTENHOFF, 1976). Si es para la producción agrícola, es la pérdida de producción generada en las hectáreas que dejaron de recibir el riego.

La evaluación de las pérdidas generadas “fuera-del-sitio”, pasan ya a ser más subjetivas y apreciables a más largo plazo. Entre estas están aquellas asociadas a inundaciones, avalanchas, por efecto de la desestabilización de la cuenca, como también al efecto del arrastre de sedimentos, los cuales en periodos largos de tiempo pueden embancar ríos y/o puertos.

6.4.8 Pérdidas de Productividad

Los incendios forestales pueden ocasionar, dependiendo de su intensidad, destrucción del contenido orgánico del suelo y una consiguiente pérdida en la productividad del suelo.

Esta situación se presenta fundamentalmente en terrenos con incendios recurrentes y áreas con marcados procesos de desertificación y en terrenos con topografía abrupta y elevada pluviometría.

El efecto más importante del incendio es la destrucción del potencial de crecimiento de la madera inmadura. Además, de los costos que implica la necesidad de fertilizar estos suelos.

6.4.9 Valores Ambientales

Los recursos forestales o ecosistemas forestales en particular, juegan un rol fundamental en el mantenimiento del equilibrio global del planeta, aportando al entorno dos clases de valores ambientales:

- **Amenidades del ambiente tal como el espacio para recreación y paisajes y fauna silvestre para el disfrute estético.**
- **Apoyo a la vida que son los procesos naturales que mantienen la biosfera, tales como la diversidad genética, estabilización de ecosistemas y regulación del clima.**

La valoración cualitativa de estos dos valores ambientales, es posible de desarrollar mediante la ejecución de encuestas de opinión, dirigidas tanto a expertos como público en general, donde estos asignen “valores” a estas amenidades o procesos.

La valoración de las amenidades del ambiente, puede ser efectuada bajo una metodología similar a la empleada para las Áreas de Recreación o Turismo.

6.4.10 Fauna Silvestre

Sin duda los incendios forestales afectan de forma importante a la fauna silvestre. El daño directo consiste en la mortalidad súbita de la población animal durante un incendio y la dificultad de recuperar parte de los individuos sobrevivientes y el daño indirecto es la modificación de su hábitat natural, la escasez de alimentos y la pérdida de sus nichos y refugios. Situación que conlleva a la emigración de las especies desde las áreas afectadas por los incendios forestales.

El impacto también se traduce en la afectación de los valores potenciales de amenidad y productos que tenga el área. Muchas de ellas, por lo general tienen un fin turístico – pesca, caza fotográfica, etc. – lo que conlleva a pérdidas económicas por el no uso de ellas para estos fines.

Dependiendo de las características de la estructura vegetal del área, si bien es cierto inmediatamente después del incendio los efectos pueden ser impactantes, los efectos de mediano y largo plazo pueden ser beneficiosos o inexistente. Por ello hay que tener cierta reserva con las evaluaciones en este tipo de circunstancias.

6.4.11 Impacto Atmosférico

En los últimos años se ha desatado una importante preocupación por la contaminación ambiental, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, debido a la importante emanación de contaminantes particulados y productos químicos que son aportados a la atmósfera por los procesos industriales y los motores a combustión. Sin embargo, el impacto de las quemas de vegetación (residuos de cosecha agrícola y forestal) e incendios forestales han sido poco considerados como un elemento condicionante a los procesos de contaminación ambiental.

El producto final de la combustión de la vegetación representa no sólo una amplia variedad de sustancias, sino también la proporción de estas sustancias es variable dependiendo de las condiciones existentes durante su descomposición.

Es importante enfatizar que la combustión en los incendios forestales y las quemas de vegetación no es un proceso químicamente eficiente. Una de las razones es el contenido de humedad de los combustibles, los cuales tienden a absorber diferentes cantidades de energía desde el fuego. La razón más importante es el viento, movimiento del aire alrededor del fuego, el cual no aporta oxígeno en forma pareja para que se mezcle con los gases inflamables. Bajo estas condiciones muchos de los elementos no son consumidos completamente.

Entre los principales componentes de la combustión de la vegetación se destaca el aporte de monóxido de carbono, el dióxido de carbono, hidrocarburos contaminantes y partículas de material no quemado, los que causan significativos efectos negativos sobre la calidad del aire respirable. (Ver Anexo 2)

Los contaminantes más importantes generados de la combustión de vegetación, obtenidos de la revisión bibliográfica, se estandarizaron en la figura 13:

FIGURA 13
Elementos Típicos Producto de la Combustión de la Vegetación

Productos de la Combustión	Valor Mínimo Obtenido	Valor Máximo Obtenido
Dióxido de Carbono	906 Kg/ton	1.586 Kg/ton

Monóxido de Carbono	226 Kg/ton	363 Kg/ton
Hidrocarbonos	2,3 Kg/ton	122 Kg/ton
Partículas	0,0025 Ton/ton	0,0135 Ton/ton

Nota: los valores están expresados en cantidad de kilos o toneladas de producto de la combustión por tonelada de combustible quemado.

Durante mucho tiempo se ha pensado principalmente desde el punto de vista económico y se ha tratado de buscar puntos de equilibrio para demostrar que el uso del fuego es una adecuada herramienta para el manejo de residuos agrícolas y forestales. Sin embargo, se ha excluido de estos análisis el impacto que tiene las emisiones de productos contaminantes a la atmósfera y cómo estos influyen sobre los cambios globales, especialmente sobre la capa de ozono (O₃), y cómo esta práctica de quemar lo que nos sirve y los incendios forestales están influyendo directamente sobre el aire que respira la población.

A la luz de los antecedentes expuestos es claro comprender que un Sistema de Evaluación de Daños originado por los incendios forestales requiere, más que una pauta uniforme, la aplicación de criterios específicos para cada situación en particular y la aplicación de una combinación de técnicas de valorización.

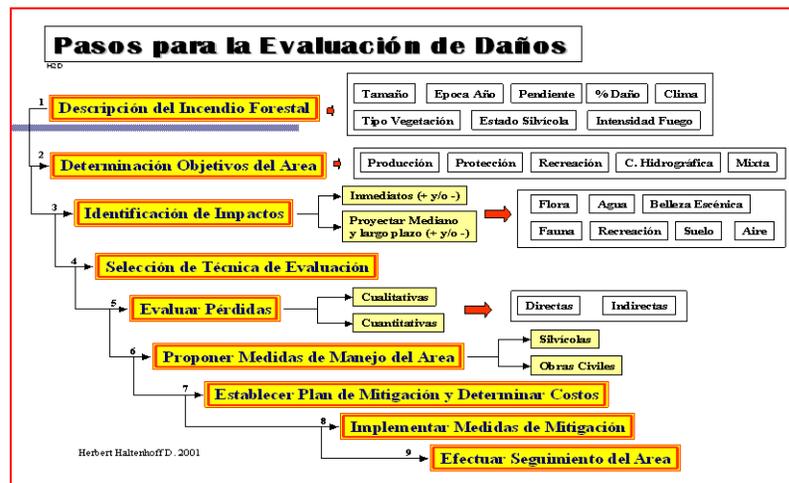
Si bien es cierto existe la necesidad de evaluar el impacto de la totalidad de los daños ocurridos por el origen de ellos, también es recomendable establecer criterios generales, para determinados rangos de daño de los incendios, y desarrollar una exhaustiva evaluación para aquellos incendios forestales de cierta magnitud y donde se requiera establecer medidas urgentes de mitigación de los daños.

Como pauta general, a la hora de la evaluación, es importante considerar y seguir la siguiente rutina:

1. Tamaño del área afectada
2. Objetivos del área afectada (Producción, Recreación, Conservación, Cuenca Hidrográfica productora de agua, etc.)
3. Fragilidad ambiental del área
4. Definición de la técnica o técnicas de valoración a utilizar
 - 4.1. Identificar bienes y servicios producidos en el área
 - 4.2. Determinar como la cantidad y calidad de ellos se ve afectada
 - 4.3. Evaluar el valor de la reducción en los bienes y servicios
 - 4.4. Estimar los cambios de flujos productivos o servicios por la afectación del área.
5. Estrategia y prioridad de mitigación de los daños.

Con el propósito de sistematizar la evaluación de los daños producto de los incendios forestales, en el cuadro a continuación se proponen los pasos a seguir para un ordenado y planificado enfoque de evaluación. (Figura 14)

FIGURA 14

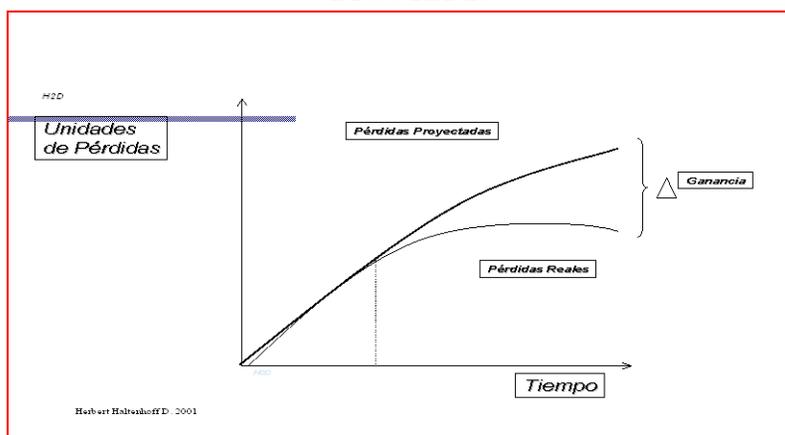


En Anexo 3 se entrega un modelo de formulario que puede servir de base para ir estructurando una metodología para la toma de información y posterior valoración, directa e indirecta, de los daños.

También queda de manifiesto que no es posible tratar de medir o valorar económicamente todos los impactos o daños originados por los incendios forestales, se deberá efectuar esta valoración cuando ella sea posible (*ej. Productos forestales dañados*) y cuando no (*ej. Impacto ambiental del humo de la combustión de la vegetación*) se deberá hacer una descripción cualitativa de los efectos de ellos. Tampoco es posible quedarse sólo con la evaluación desarrollada inmediatamente después de extinguido el incendio, se debe establecer pautas de seguimiento a largo plazo para tener una apreciación de la respuesta del ambiente al fuego, antecedentes que servirán como base fundamental para la toma de decisiones al presentarse un fuego en áreas de características similares.

Sin embargo, lo más importante no es tanto la preocupación por la evaluación cualitativa y/o cuantitativa de los incendios forestales, sino que es la preocupación por los beneficios que aporta la estructuración y operación de un Sistema de Prevención y Protección contra Incendios Forestales. Estos beneficios son aquellos que se aumentan a consecuencia de un incendio forestal no iniciado. Estamos hablando de los ahorros implícitos en los costos de supresión y en el daño causado por el fuego en los recursos forestales. (Figura 15)

FIGURA 15



6.5 Daños Potenciales

Otro aspecto importante de analizar dentro del tema de la evaluación de los daños a causa de los incendios forestales, es lo referido a la determinación del Daño Potencial de estos. Es utópico esperar que se “queme todo”, más aún si tenemos una gran área bajo protección.

En consecuencia, el Daño Potencial puede definirse como: el valor del recurso perdido, en una localidad dada - país, provincia y/o municipio - bajo la intensidad histórica más severa de incendios. Generalmente, los daños son una función de la severidad del incendio y la susceptibilidad del recurso a la destrucción y están, en gran medida, condicionados por las características climáticas. Los patrones del incendio como la ubicación, frecuencia, oportunidad y el tamaño también condicionan el daño.

De acuerdo a ello, el cálculo del Daño Potencial está definido como:

$$D \text{ potencial} = F (\text{sumatoria de la superficie máxima de cada combustible afectado durante una periodo mínimo de cinco años} \times 10\%)$$

Como una forma de dar un mayor rango de certeza a la proyección del daño potencial se utiliza un 10% como factor de corrección histórica de los daños máximos históricos.

7 BIBLIOGRAFIA

- Avila, G.; Aljaro, M.; y Haltenhoff, C., 1983. **Efectos del Fuego sobre la Vegetación Herbácea.** Universidad Católica de Chile-Corporación Nacional Forestal. Chile. 15 p.
- Batista, A., 2004. **Estrategias y Plan de Acción para el Uso y Manejo del Fuego en Áreas Agrícolas y Forestales del Departamento de Petén.** Proyecto FAO/TCP/GUA/2903. Petén. Guatemala. 45 p.
- Calvo, F., 1977. **Algunas Cuestiones sobre Geografía de los Riesgos.** Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. España. 4 p.
- Cárcamo, H. y Haltenhoff, H., 1993. **Los Incendios Forestales y su Terminología Especializada.** Inédito. 163 p.
- Corporación Nacional Forestal, 1984. **Recopilación de Trabajos presentados al III Seminario Manejo del Fuego. VIII Región.** Concepción. Chile. 290 p.
- Corporación Nacional Forestal, 1995. **Estadísticas de Ocurrencia y Daño de Incendios Forestales, Temporadas 1964 a 1997.** Santiago. Chile. 110 p.
- Corporación Nacional Forestal, 1997. **Estadísticas de Ocurrencia y Daño de Incendios Forestales, Temporadas 1964 a 1995.** Santiago. Chile. 115 p.
- Contreras, H., 1993. **Conservación de la Naturaleza y sus Recursos Renovables, Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable.** Corporación Nacional Forestal. Chile. 752 p.
- Donoso, C., 1981. **Ecología Forestal,** Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Chile. 369 p.
- Donoso, C., 1990. **Ecología Forestal El Bosque y su Medio Ambiente,** Edit. Universitaria Universidad Austral de Chile. II Ed.. 370 p.
- Elizalde, R., 1994. **Manejo de Residuos Forestales un Uso Alternativo al Fuego en las Labores Silvoagropecuarias.** Informe Estadístico N° 206. Corporación Nacional Forestal. Chile. 131 p.
- Elizalde, R., 1970. **La Sobrevivencia de Chile.** Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. El Escudo Impresores Editores, Santiago. Chile. 492p.
- Francke, S., 1990. **Efectos del Tratamiento de los Residuos de Explotación en el Suelo y en el Crecimiento inicial de *Pinus radiata*.** Revista Ciencia e Investigación. Instituto Forestal. Chile. Vol. 4, N°1; 1-33.
- Francke, S., 1991. **Efectos del Manejo de Residuos de Explotación en el Suelo y en el Crecimiento inicial de Plantaciones de *Pinus radiata* en Serie de Suelos Coreo (Zona de Arenales) y Colico (Zona Arauco).** Documento Técnico N° 51-52. Chile Forestal. Conaf. Santiago. Chile. 16 p.
- Giovanni, B., 1988. **Come Proteggerci Dagli Incendi Boschivi.** Collana Protezione Civile e Ambiente. Regione Piemonte. Italia. 142 p.
- Haltenhoff, H., 1979. **Evaluación Económica de Daños de Incendios Forestales.** Universidad Católica del Maule. Chile. 54 p.
- Haltenhoff, H., 1993 **Bajo las Cenizas de la Inconsciencia.** Editorial Olimpo. Chile. 269 p.

- Haltenhoff, H., 1997. **Silvicultura Preventiva**. Manual Técnico N°18. Corporación Nacional Forestal. Santiago. Chile. 29p.
- Hawley, R. y Smith, D., 1982. **Silvicultura práctica, 9. Eliminación de restos y fuegos controlados**. Omega. 298-336p.
- Instituto Conservación de la Naturaleza. 1995. **Ecología N° 9**, Madrid. España. 109- 126 p.
- Lyon, L.; Crawford, H.; Czuhai, E.; Fredriksen, R.; Harlow, R.; and Metz, L., 1978. **Effects of Fire on Fauna**. General Technical Report WO-6 USDA. Forest Service. Denver USA. 22 p.
- Martin, R.; Anderson, H.; Boyer, W.; Dieterich, J.; Hirsch, S.; Johnson, V.; and McNab, W., 1979. **Effects of Fire on Fuels**. General Technical Report WO-13 USDA. Forest Service. Denver USA. 64 p.
- Mazzoleni, S. y Aronne, G., 1993. **Introduzione all Ecologia degli Incendi**. Liguori Editore. Italia. 205 p.
- Meza, S.; Rogel, A.; Gaete, N.; y Rouanet, J., 1997. **Diagnóstico y Alternativa del Uso del Fuego para Habilitación de Terrenos en Actividades Silvoagropecuarias en la IX Región**. Corporación Nacional Forestal. Chile. 15 p.
- Moder, E., 1986. **Efectos de las Quemadas sobre la Fertilidad del Suelo en la Habilitación de Terrenos para la Forestación**. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Chile. 148 p.
- Peña, E., 1994. **Efectos del Fuego en las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Microorganismos**. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Chile. 39 p.
- Pinelo, G., 2001. **Efectos de un Incendio Forestal Rastroso sobre la Vegetación de un Bosque Natural Latifoliado en San Francisco, Petén, Guatemala**. Tesis de Grado Ingeniero Forestal. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 90 p.
- Pinto, E., 1997. **Efectos del Fuego**. Tesis de Grado Ingeniero E. Forestal. Universidad Católica del Maule. Chile. 67 p.
- Ramos, M., 2004. **Técnicas de Prevención de Incendios Forestales**. Informe Final. Proyecto FAO/TCP/GUA/2903. Petén. Guatemala. 67 p.
- Rodríguez, D., 1996. **Incendios Forestales**. Universidad Autónoma Chapingo. México. 630 p.
- Saiz, F., 1990. **Incendios Forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región Chile. I Problema e incidencia de incendios forestales en Chile**. Anales Museo Histórico Natural, Valparaíso, volumen 21.
- Saiz, F. y Bascuñan, J., 1990. **Incendios Forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región Chile. IV Fauna del suelo**. Anales Museo Histórico Natural, Valparaíso, volumen 21.
- Saiz, F. y Bascuñan, J., 1990. **Incendios Forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región Chile. VII Artropodos asociados a hojarascas, excepto Cleoptera, Formicidae y Multillidae**. Anales Museo Histórico Natural, Valparaíso, volumen 21.
- Sandberg, D.; Pierovich, J.; Fox, D.; and Ross, E., 1978. **Effects of Fire on Air**. General Technical Report WO-9 USDA. Forest Service. Denver USA. 40 p.
- Santelices, R. y Litton, C., 1996. **Efectos del Fuego sobre el Bosque, la Disponibilidad de Nutrientes y la Materia Orgánica en el Suelo**. Ciencia e Investigación Forestal 10 (2) en prensa. Chile.
- Spurr, S. and Barnes, B., 1980. **Forest Ecology**. Third Edition. John Wiley and Sons. New York, USA. 687 p.

- Wells, C., 1971. **Effects of prescribed burning on Soil chemical properties and nutrient availability..** In: Prescribed Burning. Symposium Proceeding.USDA. Forest Service. Ssouthestem Forest Experiment. Station. Astheville, USA. 86-99p.
- Wells, C.; Campell, R.; Debano, L.; Lewis, C.; Frederickson, R.; Franklin, R.; and Dunn, P., 1979. **Effects of Fire on Soil.** A State of Knowledge Review. USDA. Forest Service. Washington. USA. 33 p.
- Villaseñor, R. y Saiz , F., 1990. **Incendios Forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región Chile. II Efecto del fuego sobre el estrato arbustivo-arbórea.** Anales Museo Histórico Natural, Valparaíso, volumen 21.
- Villaseñor, R. y Saiz , F., 1990. **Incendios Forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región Chile. III Efecto del fuego sobre el estrato herbáceo.** Anales Museo Histórico Natural, Valparaíso, volumen 21.
- Woodmansee, R.G. y Wallach, L. S., 1981. **Effects of fire regimes on biogeochemical cycles.** Ecol. Bull. 33:649-669

8 ANEXOS

ANEXO 1 Metodología de Cuantificación Impactos Indirectos

En este Anexo se hace un breve análisis y descripción de los conceptos que están a la base de cada uno de los factores definidos para la estimación de las pérdidas indirectas.

La gravedad o el nivel de impacto que tiene un incendio forestal aumenta más que proporcionalmente a medida que aumenta la superficie afectada, y con la finalidad de llegar a valorar las pérdidas indirectas, es necesario establecer métodos de trabajo y valoración simplificados, aún a riesgo de menospreciar influencias decisivas. Bajo la premisa del aumento exponencial del daño, se establecieron cuatro rango de valoración de impacto: 1 (bajo); 2 (leve); 5 (alto) y 10 (extremo)

El impacto ambiental de los incendios forestales guarda una estrecha relación con la conjugación, a lo menos de 5 variables, consideradas las más relevantes en este modelo:

- Tamaño del incendio (t);
- Pendiente del terreno (p);
- Estructura de la vegetación (e);
- Tiempo de recuperación de la cobertura vegetal (r), y
- Porcentaje de daño de la cubierta vegetal (d)

Variables que fueron agrupadas en las cuatro categorías de valoración antes señalas.

Tamaño del Incendio	Valoración	Impacto
Menos de 10 há.	1	Bajo
10 a 50 há.	2	Leve
50 a 500 há.	5	Alto
Mas de 500 há.	10	Extremo

Pendiente del Terreno	Valoración	Impacto
Menos de 15%	1	Bajo
15 a 25%	2	Leve
25 a 35%	5	Alto
Mas de 35%	10	Extremo

Estructura de la Vegetación	Valoración	Impacto
Praderas	1	Bajo
Matorral	2	Leve
Plantaciones Forestales	5	Alto
Bosque Nativo	10	Extremo

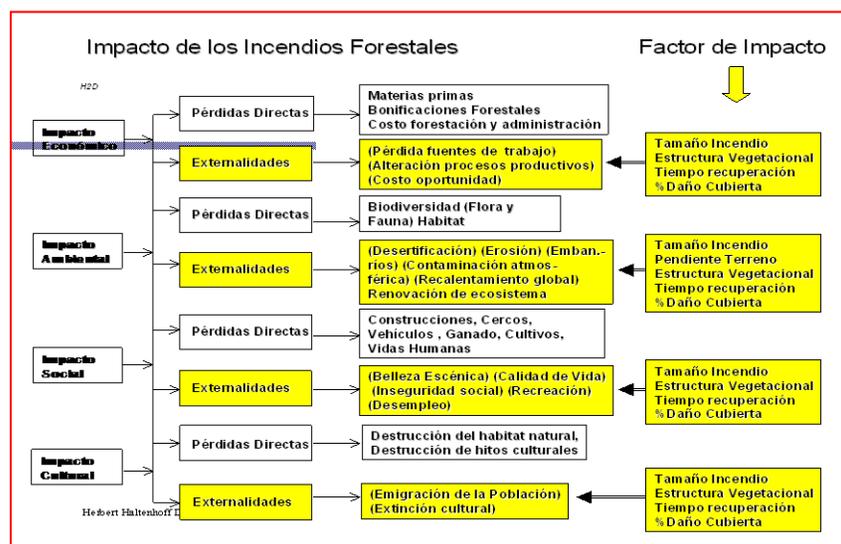
Tiempo de Recuperación	Valoración	Impacto
Anual	1	Bajo
Menos de 5 años	2	Leve
De 5 a 10 años	5	Alto
Mas de 10 años	10	Extremo

% Daño Cubierta Vegetal	Valoración	Impacto
Menos 25%	1	Bajo
25 a 50%	2	Leve
50 a 75%	5	Alto
75 a 100%	10	Extremo

El impacto indirecto relativo, será en consecuencia aquel factor o número que de la sumatoria de los valores dado para cada una de las variables divididas por 5. El cual multiplicado por las pérdidas directas obtenidas, dará una aproximación cualitativa y cuantitativa a las pérdidas indirectas.

Rango Valoración	Impacto Cualitativo
0 – 1.5	Bajo
1.6 – 3.0	Leve
3.1 – 7.5	Alto
7.6 – 10.0	Extremo

En el cuadro siguiente se muestra la relación que tiene cada una de las variables sobre las externalidades o impactos indirectos de los incendios forestales.



ANEXO 2

Impacto de los Incendios Forestales

(Extraído de Haltenhoff, 1998)

En los últimos años se ha desatado una importante preocupación por la contaminación ambiental, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, debido a la importante emanación de contaminantes particulados y productos químicos que son aportados a la atmósfera por los procesos industriales y los motores a combustión. Sin embargo, el impacto de las quemas de vegetación e incendios forestales han sido poco considerados como un elemento condicionante a los procesos de contaminación ambiental.

El producto final de la combustión de la vegetación representa no sólo una amplia variedad de sustancias, sino también la proporción de estas sustancias es variable dependiendo de las condiciones existentes durante su descomposición.

Es importante enfatizar que la combustión en los incendios forestales y las quemas de vegetación no es un proceso químicamente eficiente. Una de las razones es el contenido de humedad de los combustibles, los cuales tienden a absorber diferentes cantidades de energía desde el fuego. La razón más importante es el viento, movimiento del aire alrededor del fuego, el cual no aporta oxígeno en forma pareja para que se mezcle con los gases inflamables. Bajo estas condiciones muchos de los elementos no son consumidos completamente.

No existen modelos reales para medir el rango de emisión de los productos de la combustión desde las quemas. Sin embargo, han sido propuestos modelos termoquímicos (BECKER, 1973, STEIN y BAUSKE 1972; cit. p. SANDBERG et al., 1978) y modelos empíricos (SANDBERG y PICKFORD 1976, SANDBERG 1974; cit. p. SANDBERG et al., 1978). Estos deben ser tomados como resultado de una muestra instantánea desde las emisiones de una quema. Los rangos de las evidencias empíricas de los contaminantes más importantes, se exponen a continuación:

Dióxido de Carbono (CO₂) el dióxido de carbono no es un contaminante del aire en un sentido usual. Sin embargo, es monitoreado por ser un indicador de eficiencia de la quema. VINES et al. (1971) cuantificó 1.658 kilos de CO₂ por tonelada de combustible quemado. Emisiones entre 906 y 1.586 kilos por tonelada fueron medidas en quemas experimentales (RYAN y MCMAHON, 1976; cit. p. SANDBERG et al., 1978).

Los sistemas de producción silvícola y agrícolas tradicionales, con su movimiento de tierra y quema, provocan un incremento significativo del CO₂ en la atmósfera, representando el carbono liberado por las quemas un 30% de sólidos en suspensión que contribuyen al efecto invernadero. La contaminación atmosférica, al emitir material particulado, influye significativamente al origen de problemas broncopulmonares en la población humana circundante. En perspectiva, si esta situación no es revertida en el inmediato plazo puede significar que la atmósfera contendrá alrededor de 3 a 4 veces más CO₂ que en la época preindustrial. (TANS y BAKVIN, 1995; cit. p. SANDBERG et al., 1978).

Monóxido de Carbono (CO): el monóxido de carbono es el más abundante contaminante del aire generado por los incendios forestales, es un gas incoloro e inodoro altamente tóxico. Este puede afectar directamente la salud del hombre dependiendo de la duración, concentración y nivel de actividad física durante la exposición. RYAN (1974) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) midió concentraciones superiores a 200 partes por millón (ppm) cercanas a la llama, pero observaciones de FRITSCHEN y colaboradores (1970) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) plantean que su nivel se reduce a menos de 10 ppm pasado los 30 metros desde el fuego. RAYN y MCMAHON cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) indican que 226 kilos por tonelada pueden resultar desde la combustión sin llama en combustible húmedo y SANDBERG *et al.* (1975) cit. p. SANDBERG *et al.* (1978) midieron emisiones de 226 a 363 kilos por tonelada en incendios de laboratorio de gran intensidad.

Las medidas obtenidas del monóxido de carbono han dado como resultado entre 50 y 200 ppm, en el borde de un incendio y aún más alto en el incendio mismo. Si esto se compara a las 200 ppm en promedio de mediciones de monóxido de carbono en túneles de carreteras donde la producción es continua, puede ser poco significativo. Sin embargo, una exposición prolongada a estas concentraciones al borde de un incendio o quema puede ser un riesgo para el personal que trabaje en el control del fuego o en una quema controlada.

Oxidos de Sulfuro (SO_x): muchos de los combustibles forestales contienen menos de 0,2 % de sulfuros, como óxidos de sulfuro pueden ser producidos solamente en cantidades insignificantes en las quemas forestales. Dióxido de sulfuro (SO₂) es producido en una gran cantidad por el carbón mineral y combustión de aceite, aceite refinado y fundición de metales. Los bosques son el mayor vertedero de sulfuros desde la atmósfera vía los mecanismos de absorción de SO₂ por los vegetales (MURPHY *et al.*, 1977; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978) y la ocurrencia de la lluvia ácida (DOCHINGER y SELIGA 1976; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). Las cualidades del aire y productividad de los bosques pueden ser afectada por las emisiones urbanas de óxidos de sulfuro.

Oxidantes: ha sido conocido en el último tiempo que el humo producido por las quemas de desechos agrícolas contienen menor cantidad de elementos propensos a reaccionar con la luz del sol desde el humo fotoquímico, tipificado como ozono (O₃) este requiere de concentraciones mayores de 0,03 partes por millón (DARLEY *et al.*, 1966; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). EVANS *et al.* (1977) cit. p. SANDBERG *et al.*, (1978) confirman que medidas en la columna de humo desde incendios forestales generan concentraciones de ozono por sobre 0,1 ppm después de 45 minutos de irradiación. RADKE *et al.* (1978) cit. p. SANDBERG *et al.*, (1978) midieron concentraciones de O₃ sobre las 0,9 ppm en la columna desde quemas de quemas de ramas.

Oxidos de nitrógeno (NO_x): la formación de óxidos de nitrito ocurre durante la fijación del nitrógeno atmosférico en la zona de combustión a temperaturas sobre los 1.540°C (HALL, 1972; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978), esto es sobre las temperaturas que ocurren normalmente en las quemas. Información sobre emisiones de óxido de nitrógeno desde incendios forestales está limitada e inconclusas.

El óxido de nitrógeno causa un olor desagradable y una neblina café que irrita los ojos y la nariz y es perjudicial para las personas. Los óxidos de nitrógeno son producidos solamente a altas temperaturas, que sólo se alcanzan cuando el combustible forestal es totalmente consumido.

Hidrocarburos (HC): los hidrocarburos contienen miles de componentes producidos durante la combustión de la materia orgánica. Algunos reaccionan en el aire para producir un “smog” irritante. La combustión del combustible forestal no es el mayor contribuyente de los hidrocarburos contaminantes. Las mediciones han oscilado entre 2,3 y 122 kilos por tonelada de combustible forestal, comparando a los 59 kilos producidos por tonelada de gasolina.

Partículas: probablemente las más importantes categorías de emisiones son las partículas del humo. Ellas son la mayor causa de reducción de la visibilidad y sirven como superficie de absorción de los gases nocivos que puedan estar presentes en el ambiente. Pueden agravar las condiciones respiratorias en individuos susceptibles, especialmente en combinación con los óxidos de sulfuro. La emisión de partículas depende del tipo de combustible e intensidad del fuego. El frente del incendio produce por sobre tres veces más que la cola de los incendios (RAYN y MCMAHON, 1976; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978). Estos aportes pueden variar entre 0.0025 a 0.0135 toneladas por tonelada de vegetación quemada.

Las emisiones por tonelada de combustible quemado están aproximadamente en inversa proporción con la intensidad del fuego. Combustible como acículas produce más partículas que los combustibles leñosos (SANDBERG, 1974; cit. p. SANDBERG *et al.*, 1978).

Cuando las partículas producto de la combustión están presentes en gran cantidad en la atmósfera, pueden causar una disminución drástica de la visibilidad y crear serios problemas en el transporte aéreo y terrestre. Por otra parte, en la noche la combustión, generalmente, produce más humo y permanece más tiempo en el suelo, debido a las inversiones de temperatura y a que el aire frío desciende por las quebradas.

Es indudable, a la luz de lo anteriormente expuesto, el importante impacto que tiene la combustión de la vegetación sobre la atmósfera, entre los principales componentes se destaca el aporte de monóxido de carbono, el dióxido de carbono, hidrocarburos contaminantes y partículas de material no quemado, los que causan significativos efectos negativos sobre la calidad del aire respirable.

Los contaminantes más importantes generados de la combustión de vegetación, obtenidos de la revisión bibliográfica, se estandarizaron de la siguiente forma:

Productos de la Combustión	Valor Mínimo Obtenido	Valor Máximo Obtenido	Rango Medio Estimado
Dióxido de Carbono	906 Kg/ton	1.586 Kg/ton	1,246 Ton/ton
Monóxido de Carbono	226 Kg/ton	363 Kg/ton	0,294 Ton/ton
Hidrocarburos	2,3 Kg/ton	122 Kg/ton	0,062 Ton/ton
Partículas	0,0025 Ton/ton	0,0135 Ton/ton	0,008 Ton/ton

Nota: los valores están expresados en cantidad de toneladas de producto de la combustión por tonelada de combustible quemada (Ton/ton).

Una aproximación al impacto de la quema de vegetación es posible de obtener al extrapolar los valores de “rango medio estimado” por la cantidad de toneladas de biomasa quemada por hectáreas, por tipo de vegetación, en un incendio forestal o una quema de vegetación agrícola. Para ello se deben obtener los rangos propios del país de aporte de biomasa vegetal. Por ejemplo se cita el siguiente cuadro:

Tipo de Afectación	Aporte medio de biomasa por hectáreas	Superficie afectada (ha)	Dióxido de Carbono (CO ₂) Se aportan 1,246 ton/ton quemada	Monóxido de Carbono (CO).Se aportan 0,294 ton/ton quemada	Hidrocarburos (HO). Se aportan 0,062 ton/ton quemada	Partículas. Se aportan 0,008 ton/ton quemada.
Arbolado Nativo	55 ton/ha					
Matorrales	10 ton/ha					
Praderas	5 ton/ha					
Desechos Agrícolas (trigo)	7 ton/ha					

Nota: los valores están expresados en cantidad de toneladas de producto de la combustión por tonelada de combustible quemada (Ton/ton).

Durante mucho tiempo se ha pensado principalmente desde el punto de vista económico y se ha tratado de buscar puntos de equilibrio para demostrar que el uso del fuego es una adecuada herramienta para el manejo de residuos agrícolas y forestales. Sin embargo, se ha excluido de estos análisis el impacto que tiene las emisiones de productos contaminantes a la atmósfera y cómo estos influyen sobre los cambios globales, especialmente sobre la capa de ozono (O₃), y cómo esta práctica de quemar lo que nos sirve y los incendios forestales están influyendo directamente sobre el aire que respira la población.

Tal vez desde el punto de vista más optimista y comparando esta aproximación de la cantidad de aportes atmosféricos, con los aportes de otras fuentes de contaminación, más estudiadas, sea poco significativo, pero no es menos cierto que la suma de todos los fenómenos antrópicos nos llevarán a cifras que sobrepasan todos los límites permisibles de contaminación que puedan ser compensados por los procesos de reciclaje del aire que efectúa la cobertura vegetal en forma natural.

Si esta situación no es revertida en el corto plazo, puede significar que: la atmósfera contendrá alrededor de 3 a 4 veces más CO₂ que en la época preindustrial; y considerando la ubicación geográfica de las fuentes contaminantes, los aportes de contaminantes a la atmósfera tienen un impacto muy importante sobre la calidad y estabilidad fotoquímica de la capa de ozono (O₃) y, quizás lo más relevante, se tendrá un aumento de las enfermedades brocopulmonares.

ANEXO 3
Cuadro Resumen para Valorar las Pérdidas por Incendio Forestal

Nombre Incendio Forestal:														
Tipo Afectación	Concepto Pérdida	Hectáreas Afectadas	% Daño Cubierta	Daño Efectivo Hectáreas	Valoración Directa (\$)	Impacto Indirecto						Impacto Cualitativo	Valoración Indirecta	Pérdida Total
						t	p	e	r	d	x			
Terreno Forestal:														
Plantación Joven (Sin aprovechamiento)	Costo Reposición	10	10	1,0	120,0	1	2	5	2	1	2,2	Leve	264,0	384,0
Plantación Adulta (Con aprovechamiento)	Madera (m3)	10	5	0,5	245,0	1	2	5	10	1	3,8	Alto	931,0	1.176,0
	Otros (Ton)				233,0								885,4	1.118,4
Arbolado Adulto (Nativo)	Madera (m3)	12	10	1,2	123,0	2	10	10	10	1	6,6	Alto	811,8	934,8
	Resinas (T)				12,0								79,2	91,2
	Otros (Ton)				12,0								79,2	91,2
Matorrales	Carbón (T)	10	10	1,0	13,0	1	2	2	2	1	1,6	Leve	20,8	33,8
	Otros (Ton)				23,0								36,8	59,8
Praderas	Forraje	10	10	1,0	34,0	1	2	1	1	1	1,2	Bajo	40,8	74,8
Subtotal		52		4,7	815,0								3.149,0	3.964,0
Terreno Agrícola:														
Cultivos	Caña azucar	20	90	18,0	45,0									45,0
	Otras	20	80	16,0	56,0									56,0
Praderas	Forraje	20	99	19,8	56,0									56,0
Subtotal		60		53,8	157,0									157,0
Total		112		58,5	972,0								3149,0	4121,0
Otras Pérdidas:														
	Unidad													
	Construcciones	2 galpones			566,0									566,0
	Cercos	100 metros			56,0									56,0
	Vehículos	1			67,0									67,0
	Madera Encastillada	20 metros cúbicos			90,0									90,0
	Otros				34,0									34,0
Subtotal					813,0									813,0
Total General					1.785,0								3.149,0	4.934,0