

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

EL HUMO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN
BOSQUES DE *Pinus hartwegii* Lindl.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

P R E S E N T A:

JAVIER CONTRERAS MOCTEZUMA

Marzo del 2002

Chapingo, Estado de México,



BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

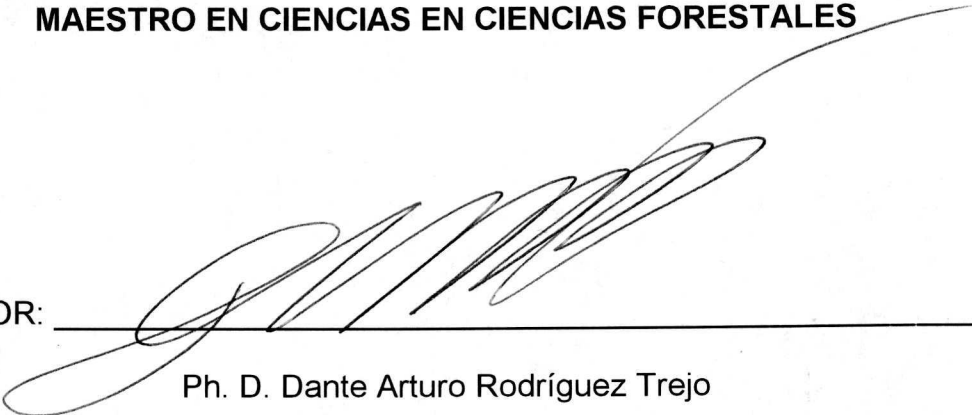
Bib. 97388

El humo de los incendios forestales en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl.

Tesis realizada por **Javier Contreras Moctezuma** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____


Ph. D. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ASESOR: _____


Ph. D. Cuauhtemoc T. Cervantes Martínez

ASESOR: _____

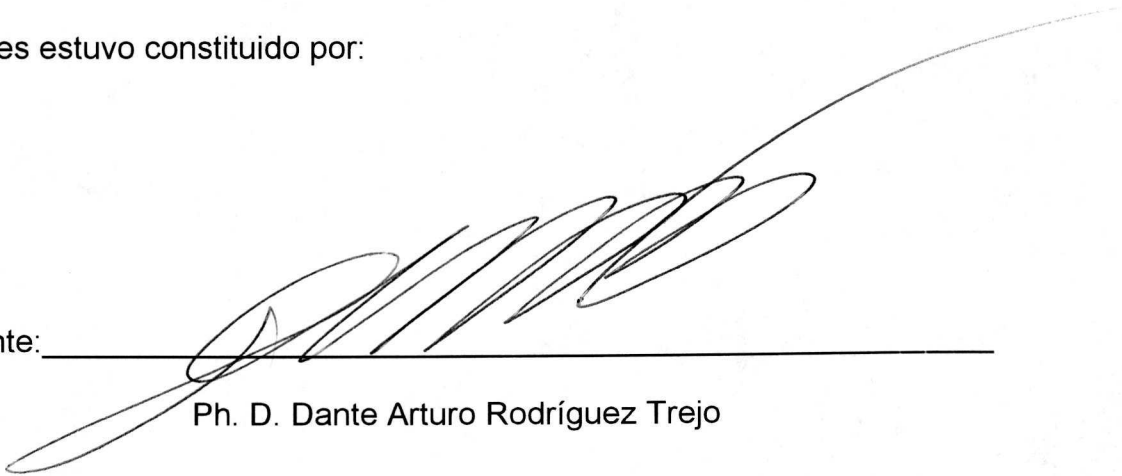

M. C. Javier Santillán Pérez

A - 39465

El humo de los incendios forestales en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Javier Contreras Moctezuma** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

Presidente: _____


Ph. D. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ASESOR: _____


Ph. D. Cuauhtemoc T. Cervantes Martínez

ASESOR: _____


M. C. Javier Santillán Pérez

DEDICATORIAS

Agradezco a **Dios**, por haberme permitido ver un día más, la luz que ha iluminado mi camino, gracias.

Agradezco a mi esposa **Maria de los Ángeles Rueda Ramírez** por brindarme su apoyo moral en todo momento, por ser tan paciente y sostenerme en los momentos más difíciles, te quiero mucho, gracias Amor.

A mis padres **Gonzalo Nicanor Contreras Contreras** y **María Estela Natalia Moctezuma**, por darme la vida y guiarme en esto que se llama vida.

A mis hermanos **Juan Carlos, Blanca Estela, Fernando, Esteban, Araceli y Erika** por confiar en mi en todo momento, los quiero.

Con mucho cariño para, **Jorge Rueda Camacho** y **Petra Ramírez Rosales**.

A mis amigos, **Marisol, Graciela, Juan Carlos, Verónica**, por brindarme su amistad y confianza en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme su apoyo económico, para superarme personalmente y profesionalmente.

A mi alma mater, Universidad Autónoma Chapingo y División de Ciencias Forestales por acogerme en su seno y darme la oportunidad de ser cada día mejor.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por confiar en mi, darme el apoyo y su tiempo para realizar este trabajo, por su amistad como persona y académico.

Al Dr. Cuauhtemoc T. Cervantes Martínez, por la revisión final y las sugerencias realizadas.

M. C. Javier Santillán Pérez, por su tiempo que dedico para la revisión final del presente trabajo.trabajo

A la Secretaria del Medio Ambiente atreves de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire y en especial, Armando Retama Hernández Suddirector de Monitoreo Ambiental, J. J. Miguel Sánchez Rodríguez Jefe de la Red Manual y equipo de colaboradores.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, Al Dr. Leonardo Sánchez Rojas, Al, M. C. Mario Fuentes Salinas a Gerardo Mendoza A. Por su apoyo incondicional.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació 11 de abril de 1970 en la Ciudad de México, Distrito Federal: su formación académica se inicio en el año de 1976 a 1984 en la escuela primaria "Francisco I. Madero". De 1984 a 1987 estudió la secundaria en la escuela "Valentín Gomes Farias", el nivel medio superior lo cursó de 1987 a 1991 en la escuela Vocacional "Miguel Otón de Mendizábal" del Instituto Politécnico Nacional. Cursó la Licenciatura en Ingeniería Forestal con orientación en Industrias Forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo de 1991 a 1996; cursó un diplomado en Sexualidad humana en el Instituto Mexicano del Seguro Social de Febrero a Noviembre del 2000. Cursó la Maestría en Ciencias en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo del 2000 al 2001, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales.

Su experiencia profesional inicia con una pequeña pero sustantiva participación con investigadores del INIFAP, aplicando un muestreo a las plantaciones de *Tamarix sp.* en ex-Lago de Texcoco, de agosto a diciembre de 1996, de enero a agosto de 1997 se desempeñó como ascensor técnico en la empresa de consultoría Retelco S.A.; de septiembre a diciembre de 1997 realizó los tramites correspondientes para titularse, de enero de 1998 a diciembre del 2000, se desempeñó como Jefe de la Oficina Forestal y Director de Ecología del Municipio de Juchitepec, Estado de México.

RESUMEN

“El humo de los incendios forestales en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl.”

Javier Contreras Moctezuma Maestro en Ciencias Forestales

Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales

(Bajo la dirección de Ph. D. Dante Arturo Rodríguez Trejo).

Se midieron en laboratorio las emisiones de NO, NO₂ (con un analizador quimiluminiscente), NO_x = (NO+NO₂), CO (analizador por correlación de filtro de gas) y SO₂ (analizador fluorescente) en los principales combustibles forestales del bosque de *Pinus hartwegii* (zacate *Muhlenbergia macroura*, leña y acículas de *Pinus hartwegii*, arbustos *Lupinus montanus* y *Senecio cinerarioides*). Estos datos y el uso de inventarios de combustibles, permitieron estimar emisiones de 4.062 kg NO ha⁻¹, 3.692 kg NO₂ ha⁻¹, 9.372 kg NO_x ha⁻¹, 198.685 kg CO ha⁻¹ y 2.838 kg SO₂ ha⁻¹.

Palabras clave: Dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno.

ABSTRACT

Javier Contreras Moctezuma

“The smoke of forest fires in *Pinus hartwegii* Lindl. forest”

15 de marzo del 2002

(Under the direction of Ph. D. Dante Arturo Rodriguez-Trejo).

Emissions of NO, NO₂ (with a chemiluminiscent analyzer), NO_x = (NO+NO₂), CO (gas filter correlation analyzer), and SO₂ (fluorescent analyzer) from the main fuels of the *Pinus hartwegii* forest (*Muhlenbergia macroura* grass, wood and needles of *Pinus hartwegii*, and the shrubs *Lupinus montanus* and *Senecio cinerarioides*) were measured in laboratory. This data plus the use of forest fuel inventories determined emissions of 4.062 kg NO ha⁻¹, 3.692 kg NO₂ ha⁻¹, 9.372 kg NO_x ha⁻¹, 198.685 kg CO ha⁻¹ y 2.838 kg SO₂ ha⁻¹.

KEY WORDS: Carbon monoxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide.

ÍNDICE

APROBACIÓN DE TESIS	ii
APROBACIÓN DE EXAMEN DE GRADO	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE ANEXOS	xviii
1. INTRODUCCIÓN	1

2. OBJETIVOS	6
3. REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1. Qué es el humo	8
3.2. Qué contiene	8
3.3. Cómo se manifiestan los contaminantes contenidos en el humo	9
3.4. Combustión	13
3.4.1. Preignición	15
3.4.2. Fase con flama	17
3.4.3. Fase sin flama	18
3.4.4. Brillo sin flama	18
3.4.5. Extinción	18
3.5. Efectos del humo	19
3.5.1. Subproductos del humo	19
3.5.2. El humo como factor ecológico	20
3.5.3. Efecto invernadero	21
3.5.4. Efectos en la salud	23
3.5.5. Efectos en la calidad del aire	25
3.5.6. Efectos sobre la visibilidad	34
3.5.7. Otros efectos del humo	35
4. METODOLOGÍA	36
4.1. Área de estudio	37
4.1.1. Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	37

4.2. Fase de campo	38
4.3. Fase de laboratorio	39
4.4. Cálculo de las emisiones	48
4.5. Análisis estadístico	53
5. EQUIPO Y MATERIALES	55
5.1. Equipo	55
5.2. Material	55
6. RESULTADOS	57
6.1. Emisiones por tipo de combustible	57
6.1.1. NO ₂	57
6.1.2. NO	58
6.1.3. NO _x	60
6.1.4. CO	61
6.1.5. SO ₂	63
6.2. Curvas de emisiones por tipo de combustible	64
6.2.1. <i>Muhlenbergia macroura</i>	65
6.2.2. Acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	66
6.2.3. Madera de <i>Pinus hartwegii</i>	68
6.2.4. <i>Senecio cinerarioides</i>	69
6.2.5. <i>Lupinus montanus</i>	71
6.3. Estimaciones de las emisiones para el bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	73

7. DISCUSIÓN	78
7.1. NO ₂ , NO y NO _x	78
7.2. CO	79
7.3. SO ₂	80
8 CONCLUSIONES	81
9 RECOMENDACIONES	84
10 LITERATURA CITADA	88
11. ANEXOS	94

LISTA DE CUADROS

3.1	Efectos de la caboxihemoglobina	10
3.2	Factor promedio de emisión de humo Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀) para tipos forestales del Pacífico Noroeste de los Estados Unidos	11
3.3	Diferentes combustibles con valores de emisiones de algunos contaminantes	13
3.4	Algunos componentes del humo	20
3.5	Suma del promedio diario de Imecas por mes de los contaminantes SO ₂ , NO ₂ y CO de los años 1997 al 2001	27
3.6	Promedio diario de Imecas de cada mes de los contaminantes SO ₂ , NO ₂ y CO de los años 1997 al 2001	27
3.7	Interpretación del IMECA (SMA, 2002)	28
3.8	Valores normados para los contaminantes	30
3.9	Normas definidas para los contaminantes	30
4.1	Muestras utilizadas en la cámara de combustión	39

4.2	Principio de operación con que operan los equipos de medición de los contaminantes	42
4.3	Humedad relativa (%) al inicio de la combustión	47
4.4	Temperatura (° C) al inicio de la combustión	47
4.5	Factores de combustión usados	51
6.1	Comparación entre combustibles para NO ₂	57
6.2	Comparación entre combustibles para NO	59
6.3	Comparación entre combustibles para NO _x	60
6.4	Comparación entre combustibles para CO	62
6.5	Comparación entre combustibles para SO ₂	63
6.6	Medias para el tiempo en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en <i>Muhlenbergia macroura</i>	65
6.7	Medias para el tiempo en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	67
6.8	Medias para el tiempo en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en madera de <i>Pinus hartwegii</i>	68
6.9	Medias para el tiempo en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en <i>Senecio cinerarioides</i>	70

6.10	Medias para el tiempo en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión en <i>Lupinus montanus</i>	71
6.11	Resumen de los tiempos máximos alcanzados en que los contaminantes alcanzaron su máxima emisión	73
6.12	Factores para estimar la emisión de NO ₂	75
6.13	Carga de los diferentes combustibles de cada sitio	75
6.14	Carga de los diferentes combustibles en cada sitio	76
6.15	Emisiones de los contaminantes de cada uno de los sitios	76
7.1	Muestra factores de emisión importantes de algunos de los gases más representativos de un incendio forestal	79
8.1	Máximas emisiones por tipo de contaminante	81
8.2	Emisiones promedio por tipo de combustible	82
8.3	Estimación de las emisión de los contaminantes para los incendios de 1995 al 2001 en el Distrito Federal	83
8.4	Secuencia de cómo los contaminantes alcanzaron se máxima emisión	83

LISTA DE FIGURAS

3.1	Balance térmico de la tierra	23
3.2	Función lineal del IMECA de ozono	31
3.3	Curvas de emisión de SO ₂ del promedio diario Imecas de por mes durante los años de 1997 a 2001	32
3.4	Curvas de emisión de NO ₂ del promedio diario Imecas de por mes durante los años de 1997 a 2001	33
3.5	Curvas de emisión de SO ₂ del promedio diario Imecas de por mes durante los años de 1997 a 2001	33
4.1	Cámara de combustión	41
4.2	Quemador eléctrico	44
4.3	Quema de las muestras	46
6.1	Emisión de NO ₂ en kg ton ⁻¹ de combustible	58
6.2	Emisión de NO en kg ton ⁻¹ de combustible	59

6.3	Emisión de NO _x en kg ton ⁻¹ de combustible	61
6.4	Emisión de CO en kg ton ⁻¹ de combustible	62
6.5	Emisión de SO ₂ en kg ton ⁻¹ de combustible	64
6.6	Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible; <i>Muhlenbergia macroura</i>	66
6.7	Tiempos máximos en segundos alcanzados por los contaminantes para el combustible acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	67
6.8	Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible madera de <i>Pinus hartwegii</i>	69
6.9	Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible; <i>Senecio cinerarioides</i>	70
6.10	Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible <i>Lupinus montanus</i>	72

LISTA DE ANEXOS

1	Formato de la toma de lectura de las emisiones de los contaminantes usado para las 45 muestras.	94
2	Ficha del inventario de los combustibles.	95
3	Programa de SAS utilizado para el análisis de los datos	96
4	Formato del calculo de las emisiones de las contaminantes NO, NO ₂ , NO _x , CO y SO ₂ de los cinco combustibles.	97
5	Graficas de las emisiones de los contaminantes cinco de los 5 combustibles.	108

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son causados intencionalmente, accidentalmente o por negligencia del hombre, o bien se deben a causas naturales. El fuego se presenta en áreas cubiertas de vegetación: bosques, selvas, matorrales, pastizales, etc., en casi cualquiera de las asociaciones vegetales de los ecosistemas terrestres. Se conocen principalmente tres tipos de incendios forestales, determinados básicamente por el tipo de combustible que consumen: el primero y más severo, son los incendios de copa, corona o aéreos, y que pueden destruir a toda la vegetación. El segundo tipo son los incendios superficiales, que afectan a pastizales y combustibles leñosos, son los que se presentan con mayor frecuencia; por último están los incendios subterráneos, que afectan la materia orgánica acumulada en el suelo y las raíces de los árboles. Estos incendios se manifiestan en muy diferentes regímenes de fuego (Rodríguez, 1996).

En el año de 1998, se presentó en México y en otras partes del mundo una temporada histórica de incendios forestales. En nuestro país, las cifras que normalmente teníamos se vieron rebasadas. De un promedio de 7 000 incendios con un promedio de 250 000 ha afectadas anualmente, aumentaron a 14 445 y 850 000 ha. Los estados de Puebla, Chiapas, Estado de México,

Distrito Federal, Nuevo León, Michoacán, Oaxaca y Durango, fueron los más afectados (Rodríguez *et al.*, 2000).

De los efectos más severos que ocasionaron tales incendios, la mayor preocupación para los habitantes de las grandes ciudades son: amenaza a la integridad física de las personas, la pérdida de la masa arbolada, la erosión y las emisiones de humo. Estas últimas ocasionadas por los cientos de incendios que se presentaron en México, en la temporada de secas de los meses de diciembre a mayo, (temporada de incendios). Aunado a esto están las malas condiciones climáticas, no siempre favorables para la dispersión de los contaminantes. El humo de los incendios forestales puede ocasionar problemas de salud especialmente en niños y personas de la tercera edad, reducir la visibilidad en vías de comunicación, aeropuertos y carreteras principalmente, ausentismo en los lugares de trabajo ocasionadas por facilitación de infecciones de las vías respiratorias, entre otros impactos (Rodríguez *et al.*, 2000).

Los humos ocasionado por los incendios de vegetación, están constituidos principalmente de vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_2), partículas suspendidas menores a 10 micrones de diámetro (PM_{10}), además de cientos o miles de compuestos, incluyendo muchos que son aun no bien conocidos y que no han sido determinados ni estudiados sus efectos en la salud. En nuestro país, es muy poco o casi nula la información que se tiene

sobre los componentes químicos y las emisiones involucradas en el humos de los incendios forestales.

La tasa de emisión de humo en un incendio forestal se ve afectada por varios factores como: tipo y contenido de humedad del combustible (ramas, materia orgánica, material leñoso), carga, grosor, y por la fase de combustión que se esté llevando a cabo en ese momento (Reinhardt, 1997).

Así mismo, debe señalarse que para que un fuego se presente, se requiere de tres elementos: una fuente de calor, disponibilidad de oxígeno y el combustible. A estos tres factores, en conjunto, se les conoce como triángulo del fuego (Pyne *et al.*, 1996).

Para entender lo anterior debe puntualizarse que la combustión comprende cinco fases: preignición, fase con flama, fase sin flama, brillo sin flama y extinción. De las anteriores, las que liberan una mayor cantidad de contaminantes son: las fases con flama y sin flama (DeBano, 1998).

Los primeros estudios para cuantificar la contaminación atmosférica en México se hicieron en la década de los 70's por el Dr. Humberto Bravo, ya en 1992 con el propósito de analizar las concentraciones de ozono (O_3), ajustó un modelo de regresión lineal multiplicativo considerando las observaciones diarias de las variables meteorológicas por tres años.

En el mismo año, Bravo y Díaz usaron la técnica de regresión lineal múltiple con el logaritmo de las superficies de las concentraciones de ozono (O_3) como variable dependiente y la velocidad y dirección del viento, el flujo de la radiación solar total, la concentración de ozono (O_3) del día anterior y un conjunto de siete variables para considerar los días de la semana como variables independientes.

En el año 2000 el Dr. Bravo y colaboradores realizaron comparaciones de niveles de ozono (O_3) y partículas mayores a PM_{10} por efecto de los incendios forestales en el D.F., encontrando que los niveles de ozono y PM_{10} son completamente independientes.

Bloomfiel *et al.*, (1993), haciendo uso de mínimos cuadrados no lineales, modelaron la dependencia del ozono (O_3) de los factores climáticos y estimaron la tendencia.

Rao y Henry 1992 investigaron las concentraciones de ozono (O_3) de New York, New Jersey y Connecticut en el periodo 1980 a 1989. en su investigación abordaron estadísticos de valores extremos, pruebas no paramétricas (Mann-Kendall) y el método de re-muestreo conocido como "bootstrapping" para evaluar la tendencia en las concentraciones de ozono (O_3).

Shively en 1991 mediante el uso del proceso poisson no homogéneo estimó la tendencia a largo plazo de la frecuencia con la cual la concentraciones de ozono el Umbral de 12 ppb 16 ppb tomando en cuenta el efecto de variables meteorológicas en el período de 1981 a 1987.

Los incendios forestales son abundantes cada año, como lo son por ende sus humos. La investigación sobre estos últimos ha cobrado importancia en diversos países, más no así en el nuestro.

Dado los impactos potenciales de estos humos en la salud, entre otros efectos, es importante estudiar la emisión de humos producida por los combustibles forestales, en este caso un bosque de *Pinus hartwegii*. Al parecer, la presente investigación es la primera que mide emisiones de combustibles forestales y una de las pocas orientadas a este subproducto en México.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo cuenta con los siguientes objetivos:

- 2.1. Medir las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x) y óxidos de azufre (SO₂) de los cinco principales combustibles forestales de bosque de *Pinus hartwegii* Lindl: acículas y madera de *Pinus hartwegii*, pasto *Muhlenbergia macroura* (H.B.K.), y de dos arbustos *Senecio cinerarioides* (H.B.K.) y *Lupinus montanus* Gerbarulto.
- 2.2. Comparar las emisiones de NO, NO₂, NO_x, CO y SO₂ entre diferentes tipos de combustibles.
- 2.3. Analizar la tasa de emisión en diferentes fases de la combustión, en diferentes combustibles.
- 2.4. Realizar estimaciones de emisiones en incendios forestales en pinares de *Pinus hartwegii*.
- 2.5. Hacer una revisión sobre los impactos del humo.

2.6. Dar una serie de recomendaciones para los combatientes de incendios forestales, con el fin de mitigar los efectos potenciales adversos al exponerse al humo.

2.7. Referir recomendaciones sobre manejo del humo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. QUÉ ES EL HUMO

Las llamas son la parte espectacular de un incendio, pero el humo es el símbolo universal del fuego, es uno de los subproductos de la combustión exotérmica y además está constituido por cientos de compuestos. Muchos de éstos tienen temperaturas muy altas y como consecuencia algunos se oxidan y se condensan en la atmósfera (en hollín, gotas de alquitrán y otros productos), y son liberados más allá del incendio, arrastrados por el viento (DeBano, 1998).

3.2. QUÉ CONTIENE

Las emisiones de los incendios se dividen en dos grupos, uno de ellos corresponde a los productos químicos primarios, que incluyen productos volátiles, compuestos formados por oxidación parcial o total de combustibles orgánicos y compuestos pirosintetizados. Algunos productos, como el dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua (H_2O) son considerados constituyentes normales de la atmósfera, pero otros son frecuentemente contaminantes del aire. Entre los productos químicos primarios están, además de los ya mencionados, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de

azufre (SO_x), partículas suspendidas menores a 10 micrones (PM_{10}), hidrocarburos, radicales libres y una fracción inorgánica (Chandler *et al.*, 1993).

Las emisiones secundarias son contaminantes resultado de la transformación fotoquímica de las emisiones primarias o bien como químicos raros derivados de los combustibles durante la fase de preignición. Un ejemplo de lo anterior es el ozono (O_3). Los factores de emisión para las emisiones secundarias, pueden ser engañosos, presumiblemente puede tratarse de niveles bajos de emisión de contaminantes (DeBano, 1998).

3.3. CÓMO SE MANIFIESTAN LOS CONTAMINANTES CONTENIDOS EN EL HUMO

Después del vapor de agua (H_2O), el siguiente compuesto químico que es arrojado a la atmósfera durante un incendio forestal es el dióxido de carbono (CO_2), que constituye el 90 % de las emisiones de un incendio (exceptuando el vapor de agua que reduce la visibilidad); no es un gas que contamine la atmósfera, porque toda la materia orgánica se descompone por acción microbiana o se deposita en los horizontes en forma de turba que lentamente libera este gas, pero sí es un gas que influye en el cambio climático global (Chandler *et al.*, 1983).

El monóxido de carbono (CO), normalmente producido por la combustión incompleta de los combustibles con ciertos niveles de humedad, es un

contaminante crítico, la cantidad de CO emitida por un incendio está en función de la eficiencia de la combustión, así en un incendio de chaparral en el Estado de California, Estados Unidos, se arrojaron 60 kg ton^{-1} de CO en la fase con flama y 99 kg ton^{-1} en la fase sin flama, el efecto sobre la salud del hombre depende de la duración de la exposición, las concentraciones de CO y a los niveles de actividad física durante la exposición (Reinhardt, 1997).

El CO tiene una afinidad por la hemoglobina 200 veces mayor que el oxígeno, formando rápidamente carboxihemoglobina (COHb), lo que origina asfixia química con hipoxia que puede producir la muerte. En el Cuadro 3.1 se muestran las concentraciones CO en la sangre y el efecto que ocasionan en la salud humana.

Cuadro 3.1. Efectos de la carboxihemoglobina[†]

COHb (%)	Efectos
0 a 10 %	ausencia de síntomas
11 a 20 %	cefalea moderada
21 a 30 %	cefalea intensa
31 a 40 %	náuseas, vomito, debilidad, alteraciones visuales,
41 a 60 %	taquicardia, taquipnea, convulsiones, coma y midriasis
más de 60 %	depresión respiratoria y cardiovascular, muerte

[†] : Dreisbush y Roberson, 1998.

Las partículas suspendidas representan uno de los grupos más importantes de los productos químicos emitidos a la atmósfera por el fuego, debido a sus efectos en la salud humana y su impacto en la visibilidad. En el primer caso, agravando problemas respiratorios. Las partículas pequeñas se puede incrustar profundamente en el tejido pulmonar (Reinhardt, 1997). En el Cuadro 3.2 se presentan algunas emisiones de humo en PM_{10} de diferentes asociaciones forestales

Cuadro 3.2. Factor promedio de emisión de humo Partículas menores a 10 micras (PM_{10}) para diferentes asociaciones forestales del Pacífico Noroeste de los Estados Unidos[†].

Tipo Forestal^{††}	Factor de emisión de humo (g kg⁻¹ de combustible)
Abeto Douglas/Picea	11.5
Pino ponderosa/Pino contorta	12.5
Coníferas mezcladas	10.2
Latifoliadas	12.5
Arbustos de <i>Artemisia</i>	14.9
Chaparral	10.6
Pastos	10.0
<i>Juniperus</i>	10.2
apilado y quemado	
apilado con tractor	6.2
apilado con grúa	12.8
promedio de pilas	9.5
rodales cosechados	11.5
Incendios forestales	
promedio de todos los tipos	14.9

[†] : (Ottmar y Alvarado Próx. Pub. citados por Rodríguez, 1996).

^{††} : Quemadas prescritas en general

La emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), depende de los niveles de nitrógeno que contenga el combustible consumido por el incendio. La emisión de NO y NO_2 , sumados representan los valores de NO_x , aumentan sus niveles en la combustión sin flama y son clasificados como contaminantes críticos, además de ser precursores de la formación de ozono (O_3). Otros compuestos derivados del nitrógeno en la combustión son: amoníaco, nitratos de bajo peso molecular, cianuro de hidrógeno, acetonitrato, ácido nítrico, aminas y aminoácidos (DeBano, 1998).

El dióxido de azufre (SO_2) constituye la emisión primaria de azufre (S) en un incendio. Si bien este producto es considerado como un importante contaminante aéreo, normalmente constituye una fracción pequeña de los componentes del humo. Entre el 40 y 60 % del S de los combustibles se consume en el incendio (Pyne *et al.*, 1996).

En el cuadro 3.3 se presentan las emisiones de algunos contaminantes para diferentes tipos de combustibles.

Cuadro 3.3. Diferentes combustibles con valores de emisiones de algunos contaminantes[†].

Tipo de vegetación	Emisión de contaminantes (kg ton ⁻¹)			
	NO _x	CO ₂	H ₂ O	CO
Chaparral				60 a 99
Incendio forestal	0.45 a 4.0	907.2 a 1587.6	4.5 a 18.14	9.0 a 226.8

[†] : Fuente (NWCG, 1985)

Los hidrocarburos liberados por la combustión, son un grupo diverso de compuestos que difieren en su reactividad atmosférica dependiendo de su estructura química. En general no se considera que sean un grupo importante en la contaminación aérea; aunque algunos, como el metano (CH₄) que es el tercer gas de invernadero más abundante que contribuye al calentamiento global de la tierra, sí puedan cierto impacto (DeBano, 1998).

3.4. COMBUSTIÓN

Hasta este momento hemos hablado del humo, cómo se forma y cómo se constituye en general, pero para que se presente el humo se requiere de un incendio y para ello tiene que haber combustión. ¿Qué es la combustión? Se trata de un proceso físico químico rápido, inverso de la fotosíntesis. La fotosíntesis guarda energía en forma de moléculas orgánicas y compuestos en la planta. La combustión libera la energía solar almacenada químicamente en

varios combustibles en forma de luz y calor y una variedad de gases. Aunque las llamas son la fase más reconocible e impactante del proceso de combustión, la fase de flama, fase sin flama y brillo sin flama, de este proceso pueden tener un mayor impacto, para el ser humano y los ecosistemas naturales (Pyne *et al.*, 1996).

Tres componentes son necesarios para que el fuego se presente y la combustión inicie. Primero debe de haber combustible disponible, segundo una fuente de calor que se aplique al combustible para elevar su temperatura al punto de ignición, y finalmente el oxígeno (O_2) proporcionando por el aire. Estos tres componentes: combustible, fuente de calor, y oxígeno, forman el triángulo del fuego. Si alguno de los tres no está presente, no habrá fuego.

La fuente de calor puede provenir de rayos que son la causa principal de los incendios naturales en un bosque o a través del hombre, por cerillos, chimeneas, fogatas, cigarrillos, entre muchos otros.

En el proceso de combustión se presentan cinco fases. La primera es la preignición (1), que produce deshidratación y pirólisis del combustible (Ryan y McMahon, 1976; Sandberg *et al.*, 1979), la pirólisis continua en la fase con flama (2) y comienza a disminuir en las fases sin flama (3) y brillo sin flama (4). Por último está la fase de extinción (5) (DeBano, 1998).

3.4.1. PREIGNICIÓN

Un proceso importante en esta fase es la pirólisis, que es una reacción endotérmica en la que por radiación térmica o convección el combustible absorbe calor del frente del fuego, elevando la temperatura del combustible, empezando a descomponer las cadenas largas de moléculas orgánicas en las células (Shafizadch, 1984)

Estructuralmente, la célula está compuesta de pared primaria, pared secundaria y la lámela media. El componente principal de la pared primaria y la lámela media es la lignina, un polímero (compuesto orgánico de estructuras de azúcares simples) constituido por unidades fenólicas de bajo peso molecular. Es un componente del tejido leñoso que proporciona la dureza y rigidez de la madera, comprende 18 a 35 % de la madera sana y el 65% de la madera podrida (Pettersen, 1984), contribuye con grandes cantidades de calor en las fases con flama, sin flama y brillo sin flama (DeBano, 1998).

La pared secundaria está hecha de celulosa y hemicelulosa, que son polisacáridos de cadena larga (glucosa, manosa, galactosa, xilosa) con niveles de oxidación altos. La celulosa constituye un grupo grande de hidratos de carbono en la madera (40 a 50 %), junto con la hemicelulosa (25 al 35 %) (Pettersen, 1984). Cuando la pirólisis empieza, la celulosa y la hemicelulosa son los primeros compuestos que se empiezan a descomponer térmicamente en

alquitranes y polímeros, y proporcionan los gases inflamables que hacen aparecer las llamas (fase con flama) (Chandler *et al.*, 1983).

Los combustibles se convierten en gases a través de la pirólisis, por el proceso de descomposición química, provocando calentamiento por medio de la reacción endotérmica de los combustión y progresando la reacción exotérmica. La pirólisis es la fase donde comienza la descomposición química de compuestos orgánicos. La deshidratación, destilación y pirólisis son los procesos predominantes de esta fase, en la que se llevan a cabo tres procesos físicos importantes. conducción, convección y radiación (DeBano, 1998).

La conducción es la propagación del calor a través de los sólidos. La convección es el traslado de calor de un punto a otro en un fluido. Hay dos tipos de convección: la libre y la forzada. La primera, es el proceso en el que el movimiento del fluido es completamente el resultado de la diferencia de densidades, a su vez resultado de la diferencia de temperaturas. Un ejemplo es un incendio superficial que se propaga a un árbol ocasionando un incendio de corona, debido a las elevadas temperaturas, sin que el fuego inicie las llamas en la corona directamente. En la convección forzada, fuerzas mecánicas externas alteran el flujo natural libre, dirección y velocidad. Un ejemplo es la propagación de un incendio por la inclinación de las llamas y columna convectiva ocasionada por el viento (Chandler *et al.*, 1983).

La radiación es el traslado de calor por ondas electromagnéticas, que viajan a la velocidad de la luz ($300,000 \text{ km s}^{-1}$). Por consiguiente, la radiación se define como el traslado de calor de un cuerpo a otro que no se encuentran en contacto directo, por movimiento de ondas electromagnéticas, no requiere de un objeto intermedio entre la fuente de calor y la sustancia receptora, la intensidad de la radiación depende de la distancia de la fuente de calor y del ángulo con el que la radiación, incide sobre el objeto, es el mecanismo de traslado de calor primario durante las fases incipientes de los incendios forestales (Johansen *et al.*, 1985).

3.4.2. FASE CON FLAMA

Ocurren reacciones exotérmicas a altas temperaturas. La pirólisis se incrementa y la oxidación de los vapores y gases combustibles es predominante. El fuego se comporta un tanto explosivo y puede moverse literalmente con el viento, como una masa de gases ardiendo. Si es muy eficiente, en esta fase los gases volátiles aumentan, hay una reducción en la formación de carbón en la superficie de los combustibles, y el flujo de calor al centro de la madera disminuye. Aquí se producen gases como: vapor de agua (H_2O), CO_2 , SO_2 , N_2 , NO_2 , CO , algunos hidrocarburos parcialmente oxidados como: metano, etano, acetileno y propano por mencionar algunos. La condensación de hollín y gotas de alquitrán menores de $1 \text{ }\mu\text{m}$ en diámetro es uno de los procesos más importantes de esta fase (DeBano, 1998).

3.4.3. FASE SIN FLAMA

Esta fase se caracteriza por ser lenta, se puede presentar en camas de combustibles finamente acumulados, como por ejemplo materia orgánica, tierras orgánicas y mantillo. El flujo de oxígeno es limitado, la característica principal de esta fase es que se duplican o triplican los niveles de las emisiones de la fase anterior, se forma carbón de madera en la superficie de los combustibles. Los gases y vapores volátiles característicos de la pirólisis en las fases anteriores (preignición y fase con flama) dejan de producirse en esta fase (Johansen *et al.*, 1985).

3.4.4. BRILLO SIN FLAMA

La mayoría de los gases se han emitido, se produce poco o nada de humo. Los productos principales de esta fase son CO y CO₂. Esta fase es probablemente la más eficiente para la combustión debido a su lenta combustión, al mejor suministro de oxígeno y volúmenes más bajos de gases volátiles inflamables. La oxidación sólida es la parte más característica de esta fase (Chandler *et al.*, 1983).

3.4.5. EXTINCIÓN

Se caracteriza porque todo el combustible es consumido, el calor producido por la oxidación de las fases sin flama y brillo sin flama es insuficiente

para vaporizar el agua que contienen los combustibles, además del calor que es absorbido por el aire circundante o los materiales inorgánicos que se encuentran a su alrededor, reducen la cantidad de calor disponible para la combustión, acelerando el proceso de extinción del fuego (DeBano , 1998).

3.5.EFECTOS DEL HUMO

3.5.1. SUBPRODUCTOS DEL HUMO

El humo de los incendios forestales contiene muy diversos subproductos de la combustión. Unos pocos son responsables del papel ecológico del fuego, varios más afectan adversamente la salud de las personas, influyen en el cambio climático global o reducen la visibilidad entre otros varios aspectos que son detallados en los siguientes subtítulos. En el Cuadro 3.4 se refieren algunos de estos subproductos.

Cuadro 3.4. Algunos componentes del humo[†].

Acetileno	dióxido de carbono
acetonitrilo	etano
ácido acético	etileno
ácido fórmico	hierro
ácido nítrico	carbón
ácidos orgánicos	formaldehído
aerosoles	fósforo
aldehídos aromáticos	fracción inorgánica de partículas
alquitrán	gas de hidrogeno
aluminio	gas de nitrógeno
aminas	hidrocarburos de bajo peso molecular
aminoácidos	hidrocarburos de polinucleares aromáticos
amoniaco	hollín
amonio	magnesio
azufre	metano
benceno	monóxido de carbono
benceno(a)pireno	óxido de azufre
boro	óxido nítrico
calcio	óxido nitroso
carbonil sulfuro	ozono
cianógeno	partículas suspendidas
cianuro de hidrogeno	potasio
cloro	propano
cloro metil	radicales libres
cloruro de metilo	sílice
cobre	sodio
compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles	sulfuro de hidrogeno
cristales de sílice	vapor de agua
dimetil sulfuro	zinc
dióxido de azufre	

[†] : Fuente: DeBano, 1998; Chandler *et al*, 1983, Congressional comite, 1989.

3.5.2. EL HUMO COMO FACTOR ECOLÓGICO

El fuego es reconocido ampliamente como un factor ecológico. No así el humo, a pesar de que lo es por derecho propio; por ejemplo, es el humo el que es detectado por la fauna silvestre y la alerta para alejarse del fuego que la puede matar.

Así mismo, el humo estimula la germinación de algunas semillas. La germinación es inducida por los óxidos de nitrógeno. Los mecanismos fisiológicos de cómo los óxidos de nitrógeno en el humo disparan la germinación en *Emmenanthe peduliflora* (Hydrophyllaceae) en un chaparral anual del sur de California en los Estados Unidos se desconocen. Los cambios sustanciales ocurren debajo de la cáscara de la testa de la semilla durante los tratamientos con humo; se cree que la cutícula subdermal se hace más permeable a la humedad (Keeley *et al.*, 1997, Malakoff, 1997).

También el humo atrae algunas aves a las zonas con incendios, en búsqueda de insectos que escapan de las llamas. Tal es el caso de *Tachycineta* sp. e *Himundo rustica* en el Valle de México. (Acosta y Rodríguez, 1998. Com, Pers.),

3.5.3.EFECTO INVERNADERO

Un impacto muy importante del humo es el calentamiento global de la tierra. Durante los últimos 150 años han aumentado los gases que producen el efecto de invernadero (metano, CO, CO₂ y NO, por mencionar solo algunos). Estos se producen en grandes cantidades por quema de combustibles fósiles, deforestación, incendios y quemas agrícolas en general. Estos gases funcionan atrapando las longitudes de onda del espectro visible de entre 12 500 y 17 000 nm, que entran a la atmósfera terrestre y, por lo tanto, menores radiaciones

alcanzan el espacio y la atmósfera sufre un calentamiento (UNEP/GEMS; 1992).

El principal responsable del efecto invernadero (un 50 % aproximadamente) es el CO₂. Se ha estimado que a nivel global un 25 % de las emisiones de este gas se debe a incendios forestales y quemas agropecuarias (PNUMA, 1988)

El balance térmico de la tierra se mantiene a través de complejas interacciones con la atmósfera. La radiación que es absorbida por la superficie terrestre es reemitida como radiación infrarroja en una amplia longitud de onda. Mucha de ella es absorbida por la atmósfera que a su vez emite radiación infrarroja al espacio (Figura 3.1) (UNEP/GEMS; 1992).

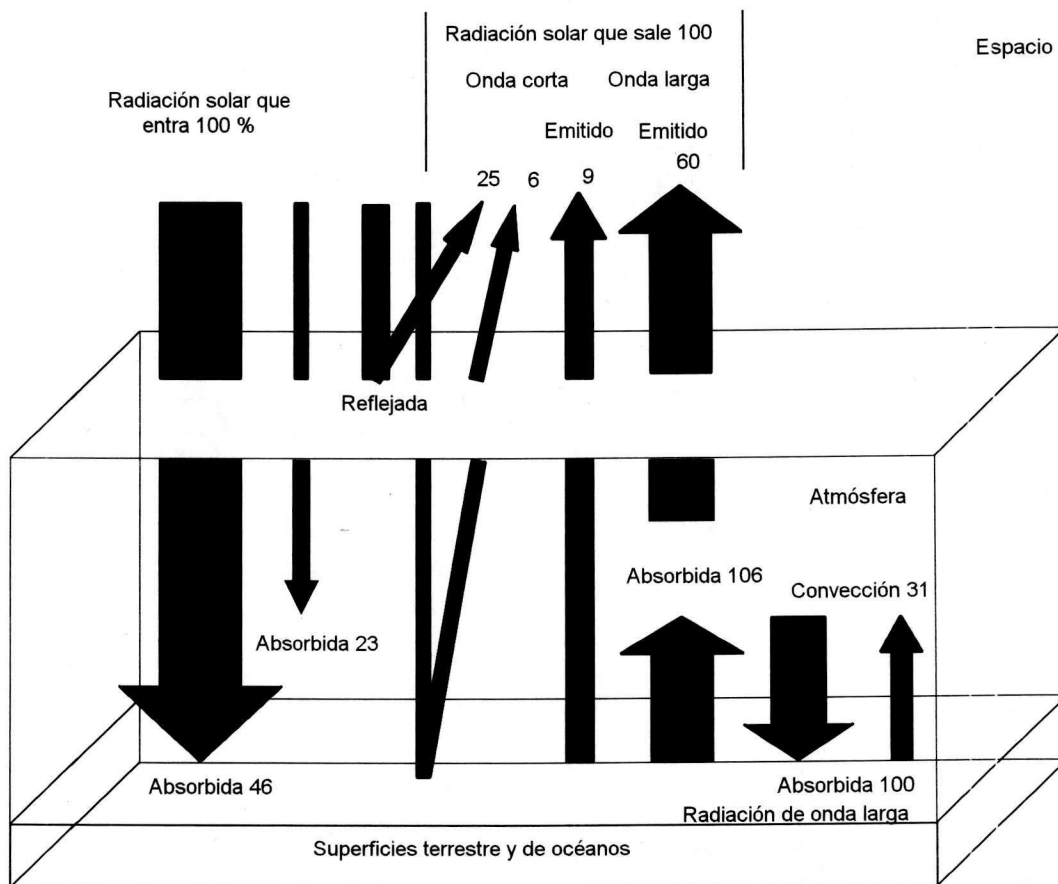


Figura 3.1. Balance térmico de la tierra, (UNEP/GEMS, 1992).

3.5.4. EFECTOS EN LA SALUD

A continuación se describirán algunos de los efectos potenciales de algunos compuestos del humo: El monóxido de carbono (CO), es el producto de la combustión incompleta y sus efectos son: vértigo, cansancio, y pérdida de la concentración y orientación. Esto depende principalmente de las concentraciones de CO, duración de la exposición y de los niveles de actividad física, además de aumentar los niveles de carboxihemoglobina incapaz de

transportar el oxígeno, y que en concentraciones mayores al 60% puede ocasionar la muerte (Contryman, 1971, Reinhardt *et al.*, 1997)

El NO_x , en niveles que van de 5 a 25 ppm provoca efectos adversos retardados, tos, edema pulmonar hasta 72 horas después de su exposición, asfixia simple (Dreisbach y Roberson, 1998).

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), son el resultado de la suma de óxido nítrico (NO) y óxido nitroso (NO_2), siendo el segundo cuatro veces más tóxico que el primero, aunque es producido en bajas cantidades (McMahon, 1976)

El amoníaco es muy irritante a 400 ppm; en altas concentraciones (5 000 a 10 000 ppm) ocasiona la muerte (Dreisbach y Roberson, 1998).

El sulfuro, es en gas con olor muy irritante, y es tóxico, provocando neuomonitis y edema pulmonar, entre otras complicaciones (Montoya, S. F.).

Las partículas suspendidas PM_{10} (menores de 10 μm) se incrustan profundamente en los tejidos pulmonares y son consideradas cancerígenas (DeBano, 1998).

El metano (CH_4), es un gas incoloro que, dependiendo de la concentración, actúa como asfixiante simple hasta irritante y en grandes

concentraciones puede actuar como un anestésico (Dreisbach y Roberson, 1998).

Los efectos a largo plazo de las exposiciones al humo en la salud y el sistema respiratorio no son bien conocidos, se requiere de formar un equipo interdisciplinario de médicos, que evalúen a los combatiente de incendios forestales (Reinhardt, *et al.*, 1997).

3.5.5. EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE

Los humos de los incendios forestales afectan la calidad del aire, contribuyen a la contaminación atmosférica. Entre los compuestos contaminantes que contiene el humo que se emite por tonelada de combustible consumido, están: bióxido de carbono (CO_2), de 825 a 1 450 kg; monóxido de carbono (CO), de 15 a 330 kg; una cantidad mínima pero significativa de: hidrocarburos, oxidantes, óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_2) y de 2 a 90 kg de partículas (Barney, *et al.*, 1984). El humo de los incendios forestales y quemas prescritas contribuyó al 8 % de la contaminación atmosférica en los Estados Unidos (Pritchett, 1986).

En el año de 1998 se presentó en México y en otras partes del mundo una temporada inusual de incendios forestales. En México las cifras promedio eran del orden de 7 000 incendios, con un promedio de 250 000 ha. afectadas anualmente. En dicho año aumentaron a 14 445 incendios y más de 850 000 ha

afectadas. Los estados de Puebla, Chiapas, Estado de México, Distrito Federal, Nuevo León, Michoacán, Oaxaca y Durango, fueron los más afectados. Debido a estas conflagraciones mucha gente estuvo respirando humo durante varios días, se recomendaba al público que se abstuvieran de hacer ejercicio al aire libre y a niños y ancianos se recomendó no salir de sus casas. Las enfermedades de vías respiratorias se vieron incrementadas. En la ciudad de México y en otras, los humos de los incendios forestales empeoraron la calidad del aire (Rodríguez, *et al.*, 2000).

El Distrito Federal, la Secretaría del Medio Ambiente, mediante el Programa de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (RAMA), monitorea la calidad del aire.

La RAMA está integrada por 32 estaciones remotas de monitoreo, 21 en el Distrito Federal y 11 en el Estado de México. Cada sitio de monitoreo cuenta con el equipamiento necesario para efectuar las mediciones de los contaminantes derivados de la actividad y uso del suelo más representativo de la región. Esta red opera continuamente durante las 24 horas del día, todos los días del año.

La información histórica que ha proporcionado esta red es un elemento valioso para evaluar de manera indirecta, el impacto de las acciones de prevención y control que se han instrumentado para controlar fuentes específicas de contaminación y con ello mejorar la calidad del aire de la Zona

Metropolitana del Valle de México (ZMVM). (Cuadros 3.5 y 3.6). Estos reportes son presentados en unidades de índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECAS) (SMA, 2002).

Cuadro 3.5. Suma del promedios diarios de Imecas por mes de los contaminantes[†] de los años 1997 al 2001.

Contaminante		SO ₂					NO ₂					CO				
Mes	Año	1997	1998	1999	2000	2001	1997	1998	1999	2000	2001	1997	1998	1999	2000	2001
Enero		612	660	714	890	1295	1750	1604	1352	1841	1447	1509	1424	1472	1453	1479
Febrero		559	429	648	749	877	1384	1664	1199	1704	1112	1204	1468	1215	1206	1240
Marzo		536	715	460	712	730	1477	1578	1229	1687	1090	1224	1534	1212	1298	1325
Abril		508	719	472	678	627	1389	1510	1086	1324	972	1342	1275	1168	1251	1063
Mayo		527	569	403	618	850	1556	1725	988	1184	1041	1360	1448	1134	1210	1188
Junio		430	462	485	694	745	1255	1073	747	827	837	1201	1022	953	1149	1064
Julio		466	416	474	737	679	1087	784	1054	786	846	1078	1085	1100	1097	1078
Agosto		494	473	547	534	432	965	781	935	749	876	1003	1115	1003	1141	1029
Septiembre		497	433	470	556	283	1055	802	899	820	749	1113	1421	1002	1032	1043
Octubre		561	488	632	835	461	1426	843	1139	1248	995	1203	1420	1085	1257	1030
Noviembre		559	624	743	867	548	1437	951	1259	1291	1077	1202	1054	1117	1352	1089
Diciembre		609	835	788	1118	943	1478	1406	1613	1452	1276	1359	1670	1427	1398	1282

[†] SO₂, NO₂ y CO

Cuadro 3.6. Promedio diario de Imecas de cada mes de los contaminantes[†] de los años 1997 al 2001.

Contaminante		SO ₂					NO ₂					CO				
Mes	Año	1997	1998	1999	2000	2001	1997	1998	1999	2000	2001	1997	1998	1999	2000	2001
Enero		20	21	23	29	42	56	52	44	59	47	49	46	47	47	48
Febrero		20	15	23	26	31	49	59	43	59	40	43	52	43	42	44
Marzo		17	23	15	23	24	48	51	40	54	35	39	49	39	42	43
Abril		17	24	16	23	21	46	50	36	44	32	45	42	39	42	35
Mayo		17	18	13	20	27	50	56	32	38	34	44	47	37	39	38
Junio		14	15	16	23	25	42	36	25	28	28	40	34	32	38	35
Julio		15	13	15	24	22	35	25	34	25	27	35	35	35	35	35
Agosto		16	15	18	17	14	31	25	30	24	28	32	36	32	37	33
Septiembre		17	14	16	19	9	35	27	30	27	25	37	47	33	34	35
Octubre		18	16	20	27	15	46	27	37	40	32	39	46	35	41	33
Noviembre		19	21	25	29	18	48	32	42	43	36	40	35	37	45	36
Diciembre		20	27	25	36	30	48	45	52	47	41	44	54	46	45	41

[†] : SO₂, NO₂ y CO

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) es un valor de referencia para que la población conozca los niveles de contaminación prevalecientes en su zona de residencia, de manera precisa y oportuna, para que tome las medidas pertinentes de protección y se genera para los contaminantes críticos, como: O₂, NO₂, SO₂, CO y PM₁₀. (SMA, 2002).

Cuando el IMECA de cualquier contaminante rebasa los 100 puntos, significa que sus niveles son perjudiciales para salud y en la medida en que aumenta el valor del IMECA se agudizan los síntomas (Cuadro. 3.7).

Cuadro 3.7. Interpretación del IMECA[†].

IMECA	Condición	Efectos a la Salud
0 – 100	Condición dentro de la norma	Ninguno
101 – 200	Condición no satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles
201 – 300	Condición mala	Evitar actividades al aire libre Posibles problemas respiratorios
301 – 500	Condición muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas

[†] : Fuente SMA, 2002.

El índice Mexicano de la Calidad del Aire (IMEXCA) se comenzó a publicar desde el 6 de diciembre de 1977. La estructura técnica del IMEXCA se basó en el Pollutant Standard Index (PSI) utilizado en los Estados Unidos, es

decir, funciones lineales segmentadas donde los puntos de quiebre correspondían a las normas primarias de calidad del aire de los Estados Unidos, debido a que en México no existían normas oficiales de calidad del aire, ni criterios de episodios, ni niveles a daño significativo.

Dependiendo del contaminante, en la zona metropolitana del valle de México (ZMVM) se instrumentan dos algoritmos para el cálculo del IMECA, el primero para O_3 , NO_2 , SO_2 , CO es el algoritmo simplificado y el segundo para PM_{10} toma la estructura del Pollutant Standard Index (PSI). La diferencia fundamental es que el PSI define más de un punto de quiebre mientras que el método simplificado actual utiliza solo uno, que es el valor de la norma oficial mexicana para cada contaminante. El algoritmo simplificado se utiliza desde el 23 de diciembre de 1994 en la ZMVM.

Los valores que aparecen en el primer intervalo que indica el Cuadro 3.8, se refieren al límite que señala la Norma Oficial Mexicana (NOM) de cada contaminante. Estas normas están definidas como se muestra en el Cuadro 3.9.

Cuadro 3.8. Valores normados para los contaminantes[†].

Contaminante	Intervalo	Ecuación	Algoritmo
O ₃	0.00 – 0.11 ppm	$I_{O_3} = 909.090909 * C_{O_3}$	Simplificado
	0.11 – 0.60 ppm	$I_{O_3} = 818.326630 * C_{O_3} + 10.20409$	
NO ₂	0.00 – 0.21 ppm	$I_{NO_2} = 476.19047 * C_{NO_2}$	Simplificado
	0.21 – 2.00 ppm	$I_{NO_2} = 223.463687 * C_{NO_2} + 53.07264$	
SO ₂	0.00 – 0.13 ppm	$I_{SO_2} = 769.230769 * C_{SO_2}$	Simplificado
	0.13 – 1.00 ppm	$I_{SO_2} = 459.7701147 * C_{SO_2} + 40.22969$	
CO	0.00 – 11.0 ppm	$I_{CO} = 9.090909 * C_{CO}$	Simplificado
	11.0 – 50.0 ppm	$I_{CO} = 10.255410 * C_{CO} - 12820512$	
PST	0 - 260 µg m ⁻³	$I_{PST} = 0.384615 * C_{PST}$	Simplificado
	260 – 1000 µg m ⁻³	$I_{PST} = 0.540540 * C_{PST} - 40.540541$	
	0 - 50 µg m ⁻³	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}}$	
PM ₁₀	51 - 350 µg m ⁻³	$I_{PM_{10}} = (1/2) * C_{PM_{10}} + 25$	Tipo PSI
	351 - 420 µg m ⁻³	$I_{PM_{10}} = (107) * C_{PM_{10}} - 300$	
	421 - 500 µg m ⁻³	$I_{PM_{10}} = (108) * C_{PM_{10}} - 225$	
	501 - 600 µg/m ⁻³	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} - 100$	

[†] : Fuente SMA, 2002.Cuadro 3.9. Normas definidas para los contaminantes[†].

Contaminante	Valores Limite		
	Exposición Aguda	Exposición crítica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Para protección de la salud de la población
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora)	1 cada 3 años	_____
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)
Bióxido de Nitrógeno (NO _x)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	_____
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	_____
Partículas Suspendidas Totales (PST)	260 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg m ⁻³ (media aritmética anual)
Partículas suspendidas Fracción respirable (PM ₁₀)	150 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg m ⁻³ (media aritmética anual)
Plomo (Pb)	_____	_____	15 µg m ⁻³ (media aritmética en 3 meses)

[†] : Fuente SMA, 2002.

La Figura 3.2 muestra la función lineal del IMECA de ozono, el primer punto de quiebre corresponde al valor de la norma mexicana de calidad del aire de 0.11 ppm como promedio horario, homologado con un valor de 100 puntos. El segundo punto en 0.600 ppm corresponde a 500 puntos del IMECA.

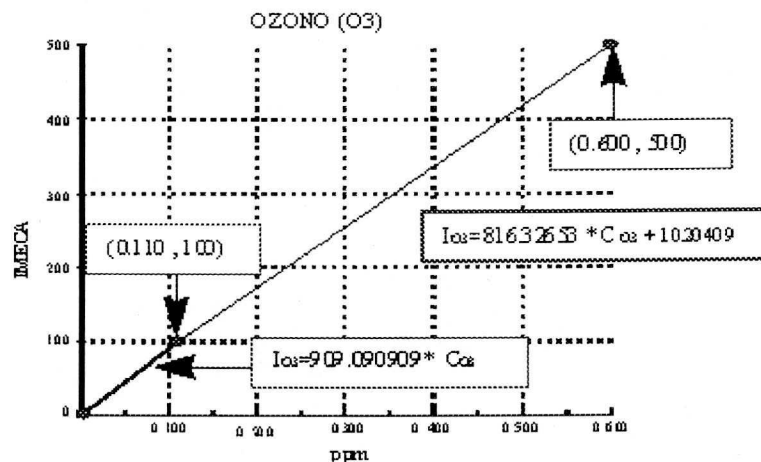


Figura 3.2. Función lineal del IMECA de ozono (SMA 2002).

En las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5, derivada de los datos anteriores, se observa cómo la temporada de incendios forestales (enero a junio) de 1998, probablemente afectó los niveles de las emisiones de los contaminantes SO₂, NO₂ y CO.

La curva de SO_2 , por ejemplo, no indica mayores emisiones en 1998 que en los otros años. Sin embargo, muestra la mayoría de sus valores más altos entre febrero y abril, dentro de la temporada de incendios. En el caso del NO_2 , los más altos niveles tienden a presentarse entre enero a mayo (temporada de incendios) y entre octubre y diciembre. El año de 1998 correspondió a las mayores emisiones de este contaminante durante los meses correspondientes a la temporada de incendios.

Por último, el CO durante la temporada de incendios de 1998 fue mayor que el resto de los años, si bien exhibió otro pico significativo en septiembre y octubre del mismo año.

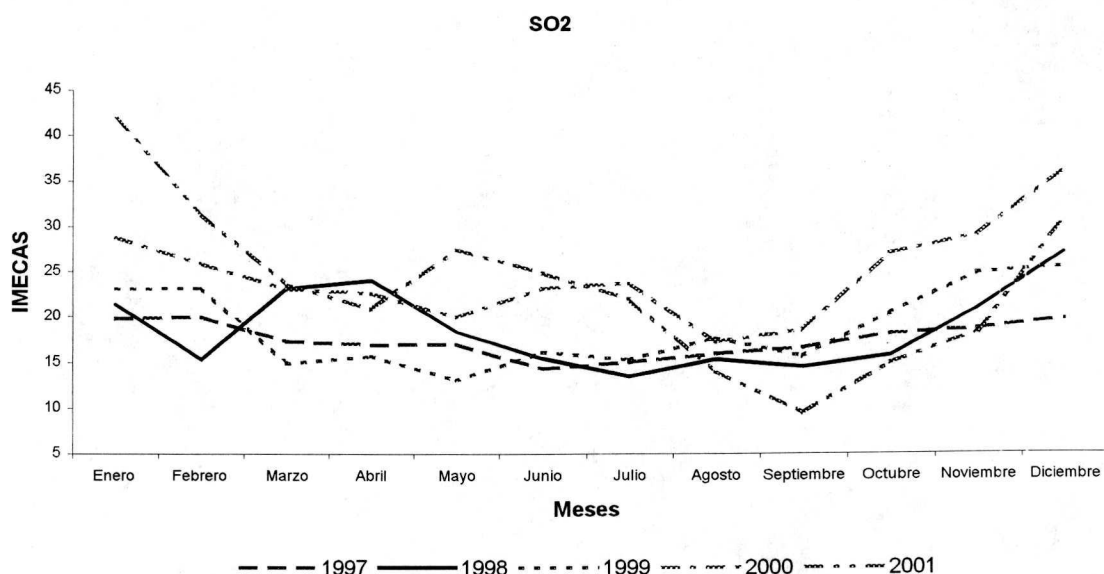


Figura 3.3. Curvas de emisión de SO_2 del promedio diario IMECAS de por mes durante los años de 1997 a 2001.

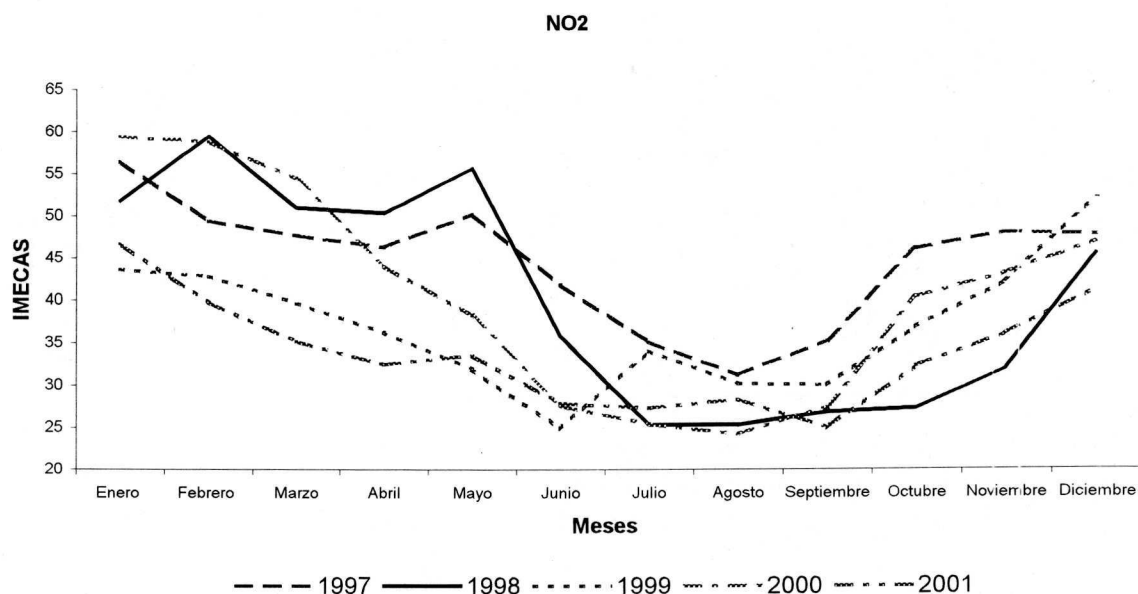


Figura 3.4. Curvas de emisión de NO₂ del promedio diario Imecas de por mes durante los años de 1997 a 2001.

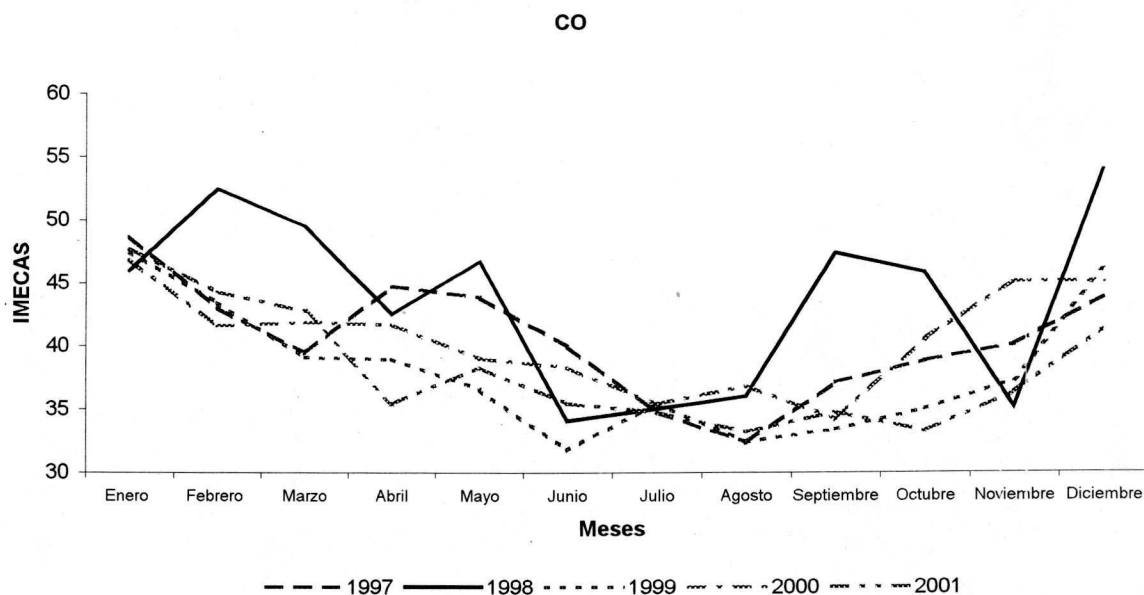


Figura 3.5. Curvas de emisión de CO del promedio diario Imecas de por mes durante los años de 1997 a 2001.

3.5.6. EFECTOS SOBRE LA VISIBILIDAD

Si la visibilidad se ve afectada por el humo puede afectar la seguridad de las personas, puesto que el humo puede afectar las vías de comunicación como carreteras, pistas de aterrizaje de los aeropuertos, caminos y brechas en un bosque cuando se esté combatiendo un incendio. Incluso en Indonesia algunos buques han encallado en las costas por la reducción de la visibilidad producida por los humos de estos incendios. Así mismo, el aeropuerto internacional de la ciudad de Oaxaca y en otros se mantuvieron cerrados por varios días a la navegación aérea debido a la falta de visibilidad durante la extrema temporada de incendios de 1998.

Esto es debido a que muchos compuestos se liberan de las reacciones exotérmicas de la combustión; compuestos que se oxidan y son liberados a la atmósfera más allá del fuego. Muchos de estos compuestos tienen temperaturas a punto de ebullición, condensan en varias compuestos y uno de ellos son gotas de agua que forma columnas que refrescan el aire del incendio, produciendo nubes o gran parte de la masa a lo que llamamos humo (DeBano, 1998).

3.5.7. OTROS EFECTOS DEL HUMO

Otro efecto que no deja de ser menos importante es la calidad estética del paisaje de los bosques que son utilizados con fines de recreación, que se ven afectados por el número reducidos de personas que asiste con regularidad ya que el humo es molesto para los visitantes, dándoles una mala imagen o afectando la belleza del paisaje, además del potencial peligro que representa el fuego.

Las pérdidas económicas en accidentes debidos al humo de incendios, así como los gastos por atenciones medicas, enfermedades y ausentismo en el trabajo a lo que contribuye aquellos, difíciles de valorar, representan otros impactos.

Pero pese a todo y siendo tan inevitable como el fuego, el humo permite también una más pronta detección de los incendios forestales.

4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la presente investigación, se tomaron muestras de los combustibles forestales dominantes en las zonas altas del ecosistema de *Pinus hartwegii*. Tales muestras fueron deshidratadas y quemadas en una cámara de combustión, donde se midieron los niveles de los contaminantes de interés. Finalmente aprovechando datos de inventarios de combustibles existentes, se hicieron estimaciones de tales productos durante incendios forestales.

Se utilizaron cinco tipos diferentes de combustibles estos a su vez se dividieron en tres diferentes pesos con tres repeticiones cada uno, que se fueron quemando progresivamente.

Conforme avanzaba el experimento se determinó quemar menos combustible de 4 especies, debido a que los sensores de los equipos de medición se saturaban,

A los datos que se obtuvieron se les restaron las mediciones que tenían antes de cada quema y fueron analizados con el paquete estadístico SAS mediante el modelo mixto jerarquizado.

4.1. AREA DE ESTUDIO

La colecta de los materiales combustibles utilizados para desarrollar el presente trabajo, se realizó en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), ubicada en los límites del Estado de México y Puebla, entre los paralelos 19°13'10" y 19°18'45" latitud norte, y entre los meridianos 98°37'39" y 98°51'58", latitud oeste, a una altitud de 2 600 m.s.n.m. Tiene un clima C (w'2) (w) (b) ig, templado subhúmedo, con lluvias en verano, con temperaturas de -3°C a 22°C, y la precipitación anual es de 1 169 mm (estación meteorológica de Río Frío, García, 1981). La vegetación presente es: bosque de *Abies religiosa*, asociaciones de *Alnus firmifolia*, bosque de *Pinus montezumae*, bosque de *Pinus hartwegii*, y asociaciones de *Pinus hartwegii*-*Alnus firmifolia*, *Pinus montezumae*-*Alnus firmifolia* (Zavala, 1984).

4.1.1. BOSQUE DE *Pinus hartwegii*

Ocupa el 60 % del área de estudio y se encuentra en un rango de altitud de 3 060 a 3 700 m.s.n.m., principalmente en terreno expuestos poco inclinados o casi planos con suelos sobre mesetas volcánicas cordadas, meseta volcánica y circo glacial en embudo.

Generalmente esta delimitada por asociaciones de *Pinus hartwegii*-*Alnus* y *Pinus hartwegii*-*Abies religiosa*, muestra una pobreza en tanto en el estrato arbóreo como en el arbustivo; en el estrato arbóreo está constituido

principalmente por *Pinus hartwegii*, y de forma separada e individualmente individuos de *Arbutus xalapensis* y *Alnus firmifolia*. Forman un bosque abierto (Zavala, 1984).

Aunque el estrato arbustivo es relativamente rico en especies, pero en muchas localidades domina el zacatón *Muhlenbergia macroura* (Rodríguez y Sierra, 1995). Entre otras especies presentes están: *Geranium potentillaefolium*, *Alchemilla procumbens*, *Viola painteri*, *Oxylobus adscendens*, *Trifolium*, *Salvia*, *Eupatorium*, *Gnaphalium*, *Festuca* y *Lupinus* (Zavala, 1984).

4.2. FASE DE CAMPO

El número de muestras fue seleccionado bajo el criterio del tiempo y disposición de los equipos de medición. Las muestras se tomaron al azar de los combustibles dominantes en partes elevadas en este tipo de ecosistema ya que el material combustible no se encontraba disponible en un solo sitio (Rodríguez y Sierra, 1995). El material utilizado fue: zacatón *Muhlenbergia macroura*, madera y acículas de *Pinus hartwegii*, ramas y hojas de *Senecio cinerarioides* y de *Lupinus montanus*. El material fue trasladado al patio de torcería del aserradero de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo para secarlos en un horno solar de secado de madera rústico, el volumen de las muestras antes y después de secado no fue considerado en el presente trabajo.

Del material que fue secado en la estufa solar rustica se obtuvieron muestras que se metieron a una estufa de secado a 75 °C para ser deshidratadas. Luego fueron metidas en bolsas de plástico selladas para ser trasladadas y posteriormente quemadas en el Laboratorio de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente del Departamento del Distrito Federal, donde se llevó a cabo el experimento.

4.3. FASE DE LABORATORIO

El número de muestras que se utilizó fue 45 (5 tipos de combustibles, 3 pesos y 3 repeticiones) (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Muestras utilizadas en la cámara de combustión.

Tipo de combustible	Peso seco (gr)	Repeticiones
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.10	3
	0.20	3
	0.30	3
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	0.03	3
	0.06	3
	0.10	3
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	0.03	3
	0.06	3
	0.10	3
<i>Senecio cinerarioides.</i>	0.03	3
	0.06	3
	0.03	3
<i>Lupinus montanus</i>	0.10	3
	0.06	3
	0.10	3

Las muestras fueron quemadas en una cámara de combustión, la cual tenía conectada tres mangueras, una dirigida a cada censor que medía las emisiones de los contaminantes CO, SO₂, y NO_x (NO, NO₂), la medición de los gases se registró cada 15 segundos por un periodo de 10 minutos.

La cámara de combustión, con forma de pirámide rectangular fue hecha de vidrio de 6 mm de espesor, con 60 cm de alto, 30 cm de ancho y 40 cm de largo (medidas exteriores). En la parte inferior tiene dos orificios, uno en el centro de la cámara, por donde pasa el cable para el quemador eléctrico; en el segundo se introduce una manguera por donde entra aire limpio a una velocidad constante de 12 cm³ min⁻¹. En una de las paredes laterales tiene tres orificios de un cuarto de pulgada (¼") localizados a una altura de 50 cm, en los que se empataron mangueras que fueron conectadas con los diferentes analizadores para medir directamente la emisión de los contaminantes ocasionados por la combustión del material, como lo muestra la Figura 4.1.

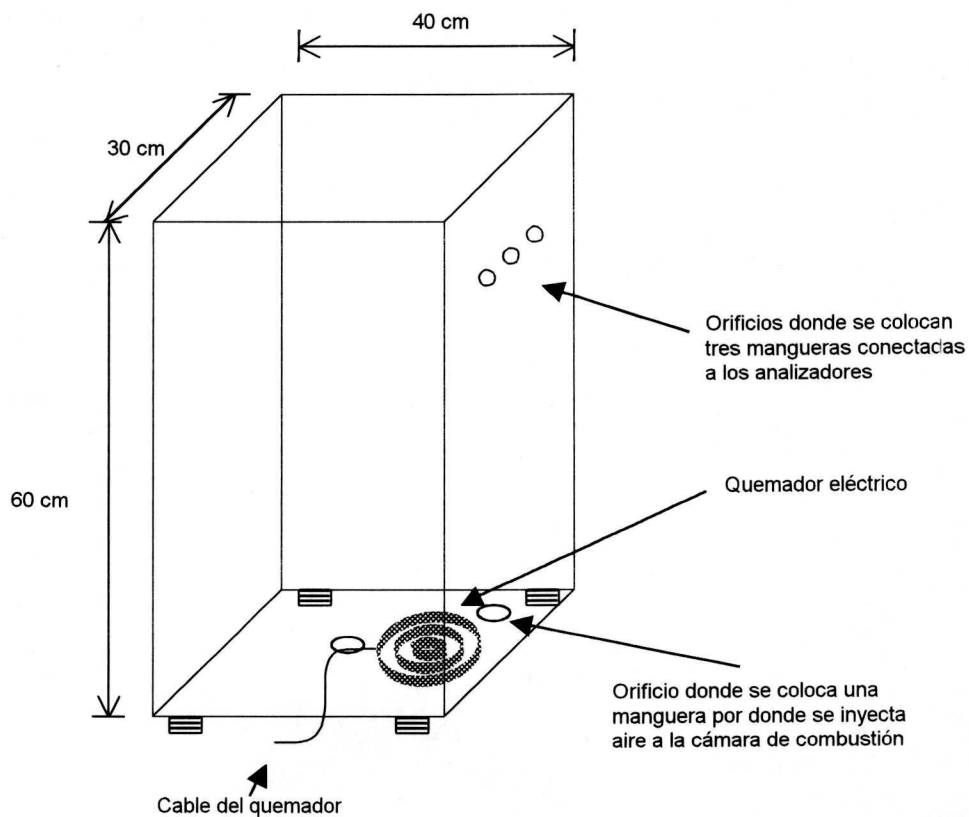


Figura 4.1. Cámara de combustión.

El equipo de medición que se utilizó se localiza en el Laboratorio de Monitoreo de la Subdirección de Monitoreo Atmosférico, perteneciente a la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), adjunta a la Dirección General de Gestión Ambiental de Aire, de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.

El equipo de medición se compone de un calibrador dinámico DYNAMIC DILUTION CALIBRATOR modelo 700 No. de serie 237 ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION INC. (API); un sistema de aire cero ZERO AIR MODULE Modelo 701, No. de serie 273, ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION INC. (API); y tres analizadores para cada uno de los contaminantes (CO, NO_x y SO₂). Para los óxidos de azufre (SO₂), se utilizó el FLOURESCENT SO₂ ANALIZER, modelo 100, No. de serie 495, ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION INC. (API); Para medir los óxidos de nitrógeno (NO_x = NO₂ + NO), se utilizó el CHEMILUMINESCENT NO_x ANALIZER, modelo 200, No. de serie 577, ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION INC. (API). Para el monóxido de carbono (CO) el GAS FILTER CORRELATION CO ANALIZER, modelo 300, No. de serie 488, ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION INC. (API) (Cuadro 4.2).

Los equipos de medición con que cuenta esta red son analizadores de gases específicos para ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico y partículas suspendidas fracción respirable (PM₁₀).

Cuadro 4.2. Principio de operación con que operan los equipos de medición de los contaminantes.

Contaminante	Principio de operación
Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	Quimiluminiscencia
Bióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia pulsante
Monóxido de carbono (CO)	Espectroscopía no dispersiva por correlación de filtro gaseoso

Las unidades en que los analizadores reportan sus lecturas son: microgramos (μg), partes por millón (ppm) y partes por miles de millones (ppmm); aproximadamente el costo de cada aparato es aproximadamente de 13 a 14 mil dólares.

El equipo necesitó ser calibrado con frecuencia. El calibrador es un equipo capaz de generar diferentes concentraciones estándares con el uso de un gas de concentración conocida, a efecto de calibrar los analizadores y comprobar que las mediciones que están realizando sean correctas. El equipo se conecta a una corriente eléctrica de 220 volts y se deja que alcance una temperatura de 300 °C, los sensores se conectan por medio de mangueras al sistema de aire cero y al calibrador para que el equipo quede calibrado en cualquiera de las tres unidades (ppm, ppmm y μg). Después de esto los analizadores están listo para medir las emisiones de contaminantes. En nuestro caso las concentraciones a las cuales el equipo fue calibrado para cada uno de los contaminantes fueron las siguientes: para monóxido de carbono (CO), 500 ppm; óxidos de nitrógeno (NO_x) 1000 ppmm; y los óxidos de azufre (SO_2) 1 000 ppmm; y las lecturas se reportaban en formatos como se muestra en el Anexo 1.

La medición de los gases se realizó colocando la muestra del combustible en una charolita de aluminio para evitar que el material se dispersara en el quemador. Ambos se colocaban en el quemador eléctrico dentro de la cámara de combustión. La charolita de aluminio tenía en medio una

orificio de aproximadamente 1 cm de diámetro por donde entraba una parte de la resistencia, para que ésta tuviera un mayor contacto con el combustible. La combustión se produjo por medio del calor que ocasionaba la resistencia como muestra la Figura 4.2. Esta se mantenía encendida el menor tiempo posible, 6 segundos en promedio, hasta ver que la ignición del combustible se presentaba. A continuación se apagaba el quemador y se dejaba que el combustible ardiera por si mismo.

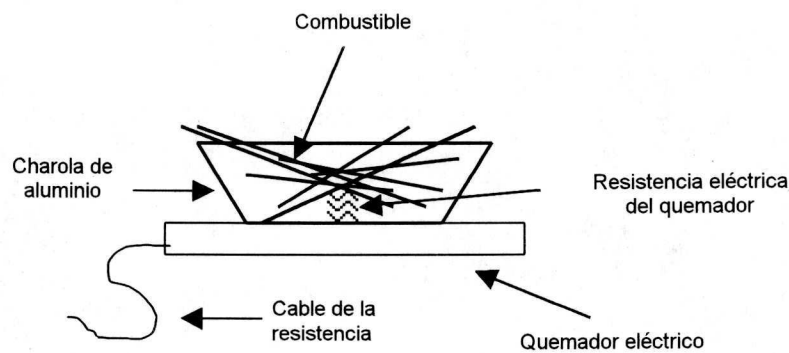


Figura 4.2. Quemador eléctrico.

El combustible se colocó en medio del resorte de la resistencia, de tal forma que la mayor parte del combustible quedara en contacto directo con ésta. Lo anterior para que se presentara una buena ignición, los fragmentos de pastos se cortaron a una medida de 5 cm. Esto mismo se realizó con las

acículas de pino. En el caso de la madera de pino, se cortaron hojuelas de varios tamaños; en algunos casos dependiendo, del peso de la muestra, se necesitó solo una hojuela. Con los arbustos *Senecio cinerarioides* y *Lupinus montanus*, se quemaron partes de hojas, tallos y pecíolos.

La medición de la columna de humo se hizo cada 15 segundos, comenzando desde el momento en que la parrilla se encendía, se tomó la lectura de la pantalla del analizador cada 15 segundos, durante 10 minutos, tiempo en que los sensores regresaban a los niveles que tenían al momento de iniciar la quema, con base en pruebas preliminares.

El solo encendido de la resistencia, sin combustibles, aumentó ligeramente la concentración de SO_2 , por lo que se hicieron observaciones previas para descontar el valor promedio a todas las lecturas.

Cada vez que se iniciaba la quema de una muestra, la cámara era cerrada en parte, dejando una ranura de aproximadamente 2.5 cm, con el fin de evitar que la cámara se saturara. En la parte inferior se colocaba una manguera que introducía aire limpio para mezclar los gases de la combustión y evitar que se apagara la flama por falta de oxígeno, como lo muestra la Figura 4.3.

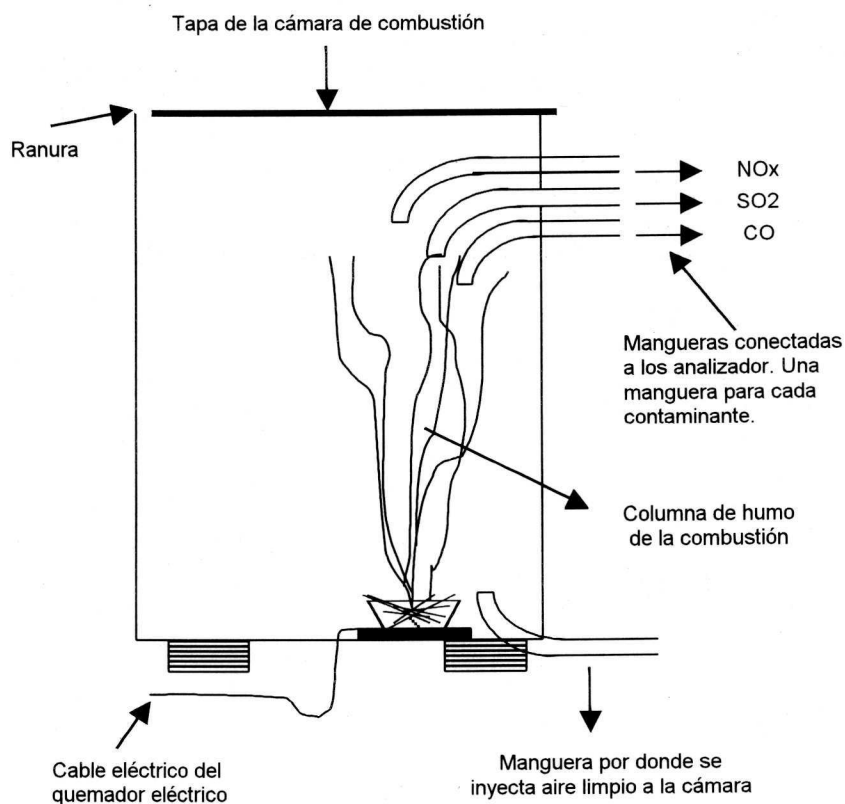


Figura 4.3. Quema de las muestras.

Al terminar de quemar una muestra, se dejaba que el analizador extrajese la mayor cantidad de contaminantes y se evitaran posibles acumulaciones de gases en la misma. Además de la toma directa de las lecturas en la pantalla de los sensores, con un cronómetro se tomaron los tiempos de inicio y término de las fases humeante y fase de flama. El tiempo se registró en segundos. Además se tomaron datos de las condiciones de

humedad relativa y temperatura que se presentaban en el momento de hacer la quema en la cámara (Cuadros 4.3 y 4.4).

Cuadro 4.3. Humedad relativa[†] al inicio de la combustión.

Tipo de muestra		<i>Muhlenbergia macroura</i>	<i>Senecio cinerarioides</i>	<i>Lupinus montanus</i>	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	madera de <i>Pinus hartwegii</i>
M1	R1	46	46	39	60	46
M1	R2	44	51	41	54	47
M1	R3	48	50	47	50	48
M2	R1	50	46	47	47	49
M2	R2	48	48	48	47	50
M2	R3	53	47	46	45	49
M3	R1	51	48	46	48	58
M3	R2	43	46	45	49	53
M3	R3	47	47	44	46	51

[†] : Unidades en porcentaje (%)

Cuadro 4.4. Temperatura[†] al inicio de la combustión.

Tipo de muestra		<i>Muhlenbergia macroura</i>	<i>Senecio cinerarioides</i>	<i>Lupinus montanus</i>	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	madera de <i>Pinus hartwegii</i>
M1	R1	22	22	22	25	25
M1	R2	22	22	22	25	25
M1	R3	22	22	24	26	24
M2	R1	22	22	22	26	25
M2	R2	22	23	24	26	25
M2	R3	22	23	24	22	25
M3	R1	22	23	24	27	22
M3	R2	22	24	24	26	22
M3	R3	22	24	25	25	22

[†] : Unidades en grados centígrados (°C)

El registro de los datos se realizaba tomando la primera lectura antes de que se prendiera la parrilla, al momento en que se prendía y después cada 15 segundos, durante 10 minutos. Para registrar la lectura en los formatos, se requirió de tres personas, una para cada analizador. La toma de los datos se realizó durante los meses de septiembre y octubre del año 2001. Se registraron un total de 9 450 datos, los cuales para su análisis se vertieron en bases de datos programas estadísticos (Excel y SAS).

4.4. CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Para poder analizar los datos, se restaron las ppm que fueron detectadas por los equipos de medición antes de que se empezaran a quemar las muestras, y entre cada muestra, además de que se eliminaron las emisiones del contaminante que alcanzara un máximo prolongado, siendo relativamente pocas.

Para convertir ppm y ppmm a kilogramos de contaminante por tonelada de combustible (kg ton^{-1}), se siguió el siguiente procedimiento; primero se tomó la lectura en ppm o ppmm del contaminante deseado, éste se multiplicó por una constante (0.0409 para el caso de ppmm y de 40.9 para ppm Formula [1] FINLANYSON-PITTS, 1986.); posteriormente se multiplica por el peso molecular del contaminante ($\text{O} = 16$, $\text{N} = 14$, $\text{S} = 32$, $\text{C} = 12$) se vuelve a multiplicar por el volumen en m^3 de la cámara de combustión y se obtiene microgramos sobre metro cúbico ($\mu\text{g m}^{-3}$). Todo esto se divide entre 0.03 para

pasar de microgramos sobre metros a microgramos sobre gramo ($\mu\text{g g}^{-1}$); posteriormente se multiplica por 0.001 para obtener kilogramos de contaminante por tonelada de combustible (kg ton^{-1}).

(1)

$$1 \text{ ppm} = 2.46 \times 10^{13} \text{ moléculas cm}^{-3} = 40.9 \times (\text{MW})^b \mu\text{g m}^{-3}$$

$$1 \text{ ppmm} = 2.46 \times 10^{10} \text{ moléculas cm}^{-3} = 0.0409 \times (\text{MW})^b \mu\text{g m}^{-3}$$

Nota:

ppmm = partes por miles de millones = 1000 millones = ppb como se usa en los EE. UU., en México, ppb = un millón de millones.

A continuación presenta un ejemplo de dicho calculo: tomando los datos registrados para la muestra del combustible de acículas de *Pinus hartwegii* para el peso 0.06 g y la repetición R3 del contaminante monóxido de carbono (CO), que está expresado en unidades de ppm, de la lectura tomada a los 45 segundos (máximo) (Anexo 1) Formula [2].

(2)

$$g = [[(a) \times (b) \times (c) \times (d)] / (e)] \times [(f)] = (\text{kg ton}^{-1})$$

$$g = [[(11.1) \times (40.9) \times (28) \times (0.068)] / (0.03)] \times [(0.001)] = 28.813 \text{ kg ton}^{-1}$$

donde:

a = (11.1) es la lectura tomada a los 45 segundos del contaminante CO expresada ppm de la muestra de acículas de *Pinus hartwegii* para el peso 0.06 y la repetición R3.

b = (40.9) es la constante de ppm.

c = (28) es el peso molecular del contaminante monóxido de carbono (CO).

d = (0.068) es el volumen en m³ de la cámara de combustión donde se realizó la quema. Hasta este punto de la formula se han obtenido microgramos sobre metro cúbico (μg m⁻³).

e = (0.03) constante para convertir microgramos sobre metro cúbico (μg m⁻³) a microgramos sobre gramos (μg g⁻¹).

f = (0.001) constante para convertir de microgramos sobre gramos (μg g⁻¹) a kilogramos de contaminante por tonelada de combustible (kg ton⁻¹).

g = (28.813) son los kilogramos del contaminante monóxido de carbono por tonelada de combustible y sus unidades son (CO- kg ton⁻¹).

Para calcular las emisiones de los contaminantes a escala de incendios, se implementó el siguiente procedimiento. Primero, del inventario de combustibles de Rodríguez y Sierra (1995) y COCODER (1988), que incluye datos para bosque de *Pinus hartwegii*, en el Distrito Federal, se tomó la información de proporción y carga de cada uno de los diferentes tipos combustibles superficiales existentes, en toneladas por hectárea (ton ha^{-1}), que pueden ser afectadas por un incendio. Enseguida, éste se multiplica por el factor de combustión (que es la parte proporcional del combustible que se puede quemar, como lo muestra el Cuadro 4.5). A continuación, el resultado de la primera operación se multiplica por el factor medio de emisión, y por último el resultado es la emisión, que se expresa en toneladas de contaminante por hectárea (ton ha^{-1}). Por ejemplo, para calcular la emisión de NO_2 del follaje del renuevo de pino del sitio con coordenadas 107–22, del estudio de COCODER (1998) (Anexo 3) Formula [3].

Cuadro 4.5. Factores de combustión usados.

Combustible	Factor de Combustión [†]
Renuevo Pino	
Follaje	1.0
Madera	0.3
Arbustos = 0.013	
Senecio (50%) = 0.007	
Follaje (46%) = 0.003	0.9
Madera (54%) = 0.004	0.3
Lupinus (50%) = 0.006	0.7
Zacates	0.9
Hojarasca de pino	1.0
Leñas	
1 h	0.9
10 h	0.5
100 h	0.3
1000 h	0.2

[†] : % del combustible consumido en un incendio, se calculo empíricamente

$$d = (a) \times (b) \times (c) = (\text{kg ha}^{-1})$$

$$d = (0.037) \times (1.0) \times (0.550) = 0.020 (\text{kg ha}^{-1})$$

donde:

$a = (0.037)$ es el peso en toneladas por hectárea (ton ha^{-1}) del combustible de las acículas de pino del renuevo.

$b = (1.0)$ es el factor de combustión, en este caso es 1 por que se estima que en un incendio se consume totalmente el combustible (100% del follaje).

$c = (0.550)$ es la media estadística de las estimaciones de las emisiones del contaminante NO_2 para el combustible de acículas de pino en kg ton^{-1} .

$d = (0.020)$ es el resultado de multiplicar ($a \times b \times c$) y sus unidades son kilogramos de contaminante por hectárea (kg ha^{-1}).

Estos cálculos se realizaron para cada uno de los diferentes combustibles que se pueden encontrar en el sitio, para los diferentes sitios con *Pinus hartwegii* referido en el estudio de COCODER, (1998), en el Desierto de los Leones y el Ajusco, D.F. (fueron 8) y para cada uno de los cinco contaminantes; la síntesis de los cálculos de todos los sitios se encuentra en el Anexo 4.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se usó un modelo mixto, que es el que contiene en su estructura variables con efectos fijos y variables con efectos aleatorios. El factor de efecto fijo en la presente investigación fue el combustible (el efecto factor de emisión de diferentes contaminantes, por tipo de combustible); los efectos aleatorios son tomados de un universo más grande de niveles posibles (Littell, *et al.*, 1999).

El modelos lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu_i + a_i + p_{j(i)} + \epsilon_{ijk}, \text{ para } i = 1,2,3,4,5; j = 1,2,3; k = 1,2,3$$

donde:

Y_{ijk} = es la emisión del i -ésimo combustible, con el j -ésimo peso y de la k -ésima repetición.

μ = media general.

a = es el efecto fijo del i -ésimo combustible.

$p_{j(i)}$ = es el efecto aleatorio del j -ésimo peso del i -ésimo combustible.

ϵ_{ijk} = error aleatorio

Bajo el supuesto que

$$p_{j(i)} \sim \text{iid } N(0, \sigma_{p/a}^2) \text{ y}$$

$$\varepsilon_{jik} \sim \text{iid } N(0, \sigma_{\varepsilon}^2)$$

para $i = 1, 2, 3, 4, 5$, $j = 1, 2, 3$, $k = 1, 2, 3$

Basado en el modelo lineal mostrado, se efectuó un análisis de varianza y prueba de F para cada variable con el método con el procedimiento PROC MIXED de SAS (Littell, *et al.*, 1999). Para determinar las diferencias en las emisiones entre los diferentes contaminantes, se realizaron comparaciones de medias de combustibles con la prueba de la diferencia mínima significativa protegida (Gómez y Gómez, 1984).

-

5. EQUIPO Y MATERIALES

5.1. EQUIPO

- Dynamic Dilution Calibrator Modelo 700 No. de serie 237. Advanced Pollution Instrumentation Inc.
- Zero Air Module Modelo 701 No. de serie 273. Advanced Pollution Instrumentation Inc.
- Fluorescent SO₂ Analyzer Modelo 100 No. de serie 495. Advanced Pollution Instrumentation Inc.
- Chemiluminescent NO_x Analyzer Modelo 200 No. de serie 577. Advanced Pollution Instrumentation Inc.
- Gas Filter Correlation CO Analyzer Modelo 300 No. de serie 488. Advanced Pollution Instrumentation Inc.
- Estufa de secado
- Balanza electrónica
- Psicrómetro
- Termómetro
- Dos ventiladores eléctricos

5.2. MATERIALES

- una parrilla eléctrica con resistencia
- 50 charolas de aluminio de 5 cm de diámetro con un orificio de 1 cm de diámetro
- un "cutter"
- 50 bolsas de plástico sellables
- 50 bolsas de papel
- 50 etiquetas
- una cámara de vidrio (cámara de combustión) de 6 mm de grosor, 60 cm de alto, 40 cm de largo y 30 cm de ancho
- tijeras
- maskin tape

- 150 formatos de registro
- 4 lápices
- un cronómetro
- manguera
- dos mesas
- cable del N0 10
- un apagador
- una clavija
- desarmadores
- pinzas
- 20 m² de pasto *Muhlenbergia macroura*.
- 500 g de acículas de *Pinus hartwegii*.
- 500g de madera de *Pinus hartwegii*.
- 10 m² de follaje de *Senecio cinerarioides*
- 10 m² de follaje de *Lupinus montanus*
- 3 Tablas de apoyo
- 50 m² de hule para invernadero
- 2 kilo de clavos de 2 ½ "
- 2 kilo de clavos de 3 "
- ½ kilo de chinches
- 2 martillos
- 7 láminas de metal de 3.5 m de largo x 1 m de ancho
- 4 litros de pintura negra mate
- polines de madera de 4"x 4" de lado y 2.5m de largo
- 30 pies derechos de madera de 2"X4" de lado y 2.5 m de largo
- 30 metros lineales de listones de madera diferentes medidas
- 2 palas rectas
- una barreta
- un serrote
- un kit meteorológico portátil
- 10 bolsas de plástico de un kilo

6. RESULTADOS

6.1. EMISIONES POR TIPO DE COMBUSTIBLE

6.1. 1. NO₂

Los combustibles no exhibieron diferencias estadísticamente significativas para la variable emisión de NO₂ ($p = 0.4111$) como lo muestra la Figura 6.1 y En el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Comparación de medias entre combustibles para NO₂.

Combustible	NO ₂ [†]
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	0.99 a
<i>Senecio cinerarioides</i>	0.62 a
<i>Lupinus montanus</i>	0.58 a
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	0.54 a
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.25 a
DMS ^{††}	0.80

[†] : medias con la misma letra son iguales al 0.05 de probabilidad.

^{††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$

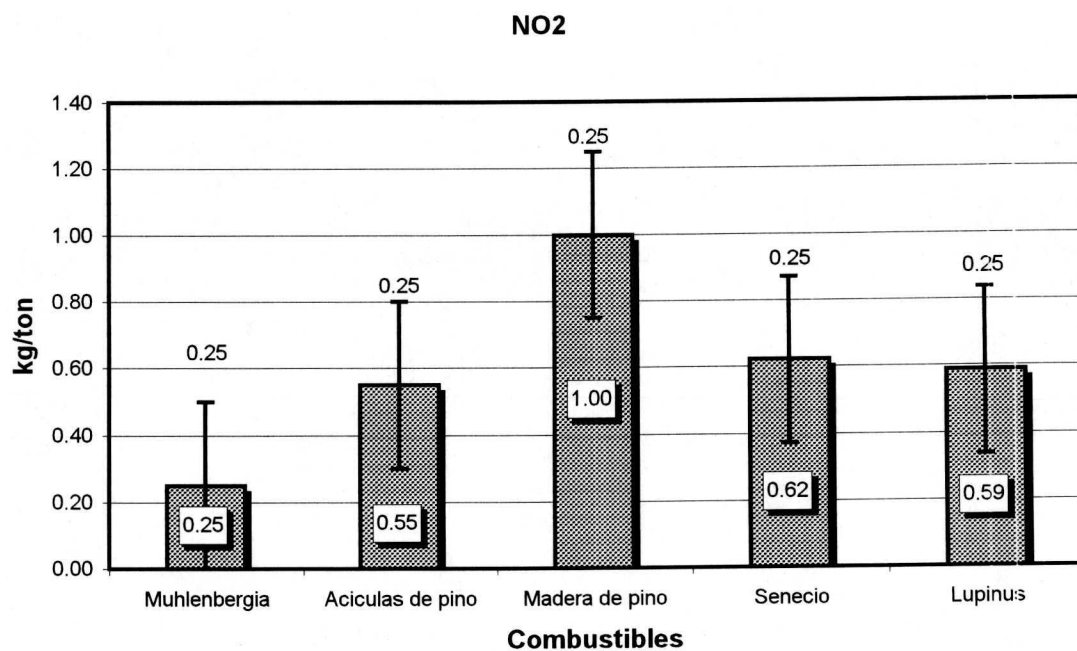


Figura 6.1. Emisión de NO₂ en kg ton⁻¹ de combustible y su intervalo de confianza al 95 % de probabilidad.

6.1.2. NO

Con respecto a la variable emisión de NO, no se encuentran diferencias significativas entre los diferentes combustibles ($p = 0.6461$), como lo muestra la Figura 6.2 y el Cuadro 6.2.

Cuadro 6.2. Comparación entre combustibles para NO.

Combustible	NO [†]
<i>Lupinus montanus</i>	1.74 a
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	1.54 a
<i>Senecio cinerarioides</i>	1.36 a
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	0.73 a
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.33 a
DMS ^{††}	2.33

[†] : medias con la misma letra son iguales al 0.05 de probabilidad.

^{††} :DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$

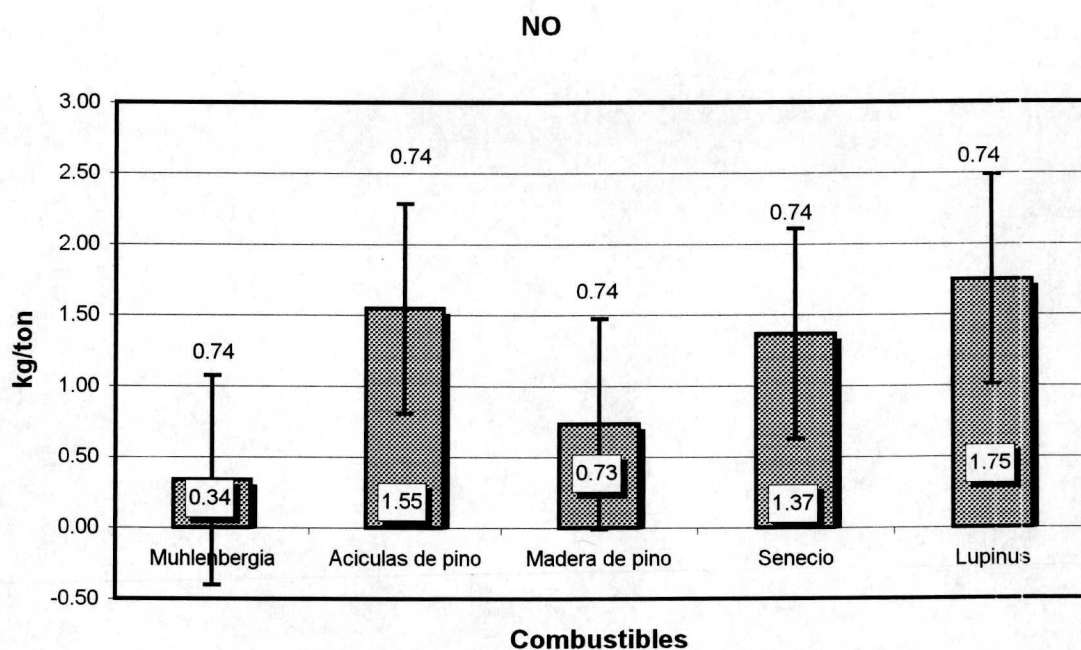


Figura 6.2. Emisión de NO en kg ton⁻¹ de combustible y su intervalo de confianza al 95 % de probabilidad.

6.1.3. NO_x

El *Senecio cinerarioides* fue estadísticamente diferente para la variable de emisión NO_x ($p = 0.0087$), con respecto de los demás combustibles. Se identifican tres grupos de combustibles diferentes estadísticamente, el primer grupo lo compone el pasto *Muhlenbergia macroura* y madera de *Pinus hartwegii* que tienen la menor emisión de NO_x (0.80 y 1.73 kg ton⁻¹ respectivamente); el segundo grupo formado por *Lupinus montanus* y acículas de *Pinus hartwegii* con un nivel intermedio de emisión (3.62 y 2.83 kg ton⁻¹) respectivamente; y el último, que está formado por un solo combustible, *Senecio cinerarioides* (0.93 kg ton⁻¹), como lo muestra la Cuadro 6.3, y la Figura 6.3.

Cuadro 6.3. Comparación de medias entre combustibles para NO_x.

Combustible	NO _x [†]
<i>Senecio cinerarioides</i>	7.05 a
<i>Lupinus montanus</i>	3.62 a
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	2.83 b c
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	1.73 c d
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.80 d
DMS ^{††}	2.71

[†] : media con la misma letra son iguales al 0.05 de probabilidad.

^{††} : DMS =diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

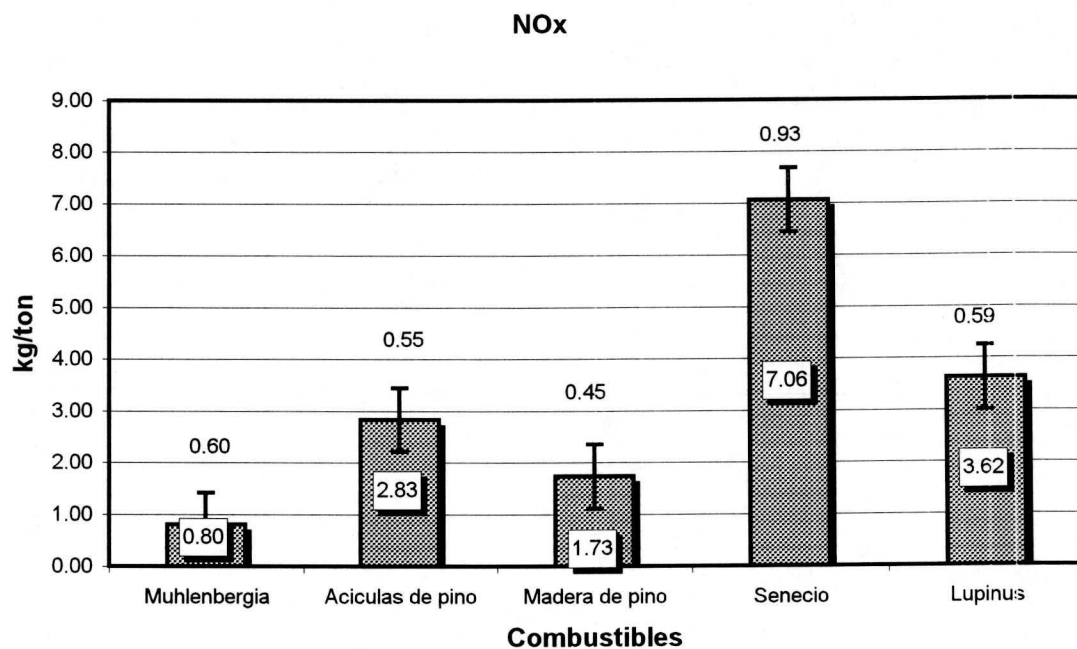


Figura 6.3. Emisión de NO_x en kg ton⁻¹ de combustible y su intervalo de confianza al 95 % de probabilidad.

6.1.4. CO

Se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tipos de combustibles para la emisión de CO ($p = 0.0157$). Las mayores emisiones corresponden a los arbustos *Senecio cinerarioides* y *Lupinus montanus*, con 76.71 y 74.07 kg ton⁻¹.

La menor emisión corresponde a *M. macroura* (14.66 kg ton⁻¹), el nivel intermedio correspondió a la madera y las acículas de *Pinus hartwegii*, con 46.62 y 51.39 kg ton⁻¹; como lo muestra el Cuadro 6.4, y Figura 6.4.

Cuadro 6.4. Comparación de medias entre combustibles para CO.

Combustible	CO [†]
<i>Senecio cinerarioides</i>	76.71 a
<i>Lupinus montanus</i>	74.06 a
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	51.38 a
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	46.62 a b
<i>Muhlenbergia macroura</i>	14.65 b
DMS ^{††}	34.68

[†] : medias con la misma letra son iguales al 0.05 de probabilidad.

^{††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

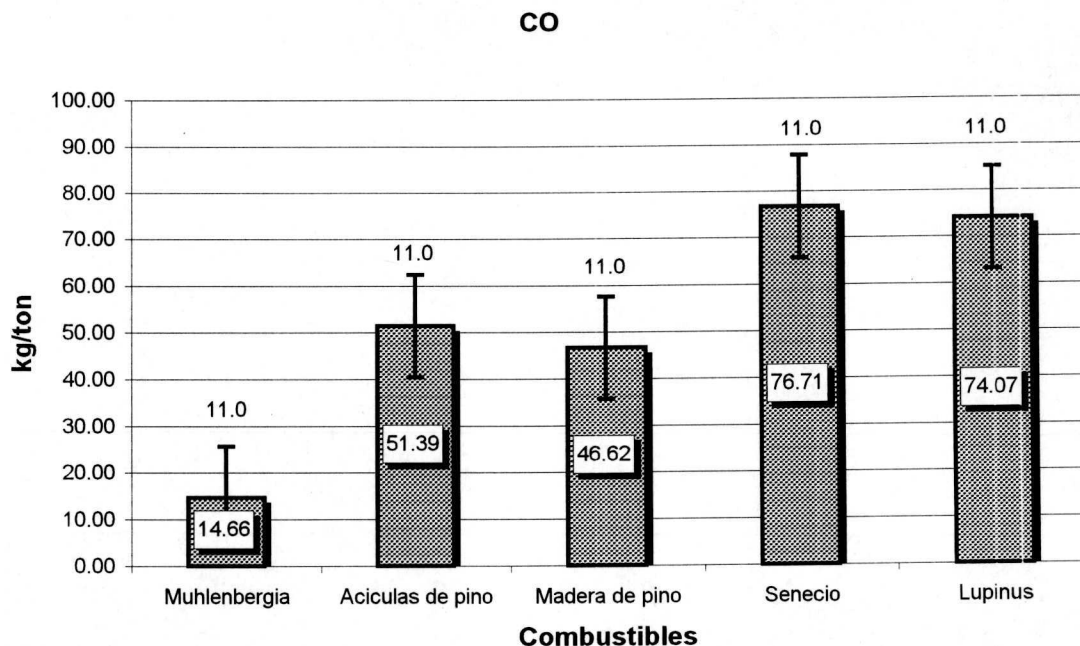


Figura 6.4. Emisión de CO en kg ton⁻¹ de combustible y su intervalo de confianza al 95 % de probabilidad.

6.1.5. SO₂

Se hallaron diferencias estadísticamente significativas para la variable emisión de SO₂ ($p = 0.0002$) entre los combustibles. Los cuales se agruparon en dos grupos.

El primero grupo es *Senecio cinerarioides*, que obtuvo una emisión de (1.98 kg ton⁻¹); y el segundo conformado por: *Muhlenbergia macroura*, acículas de *Pinus hartwegii*, *Lupinus montanus* y la madera de *Pinus hartwegii*, con una emisión de 0.46, 0.58, 0.49 y 0.14 kg ton⁻¹), respectivamente, (Cuadro 6.5, y Figura 6.5).

Cuadro 6.5. Comparación de medias entre combustibles para SO₂.

Combustible	SO ₂ [†]	
<i>Senecio cinerarioides</i>	1.9806	a
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	0.5775	b
<i>Lupinus montanus</i>	0.4905	b
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.4567	b
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	0.1434	b
DMS ^{††}	0.56	

[†] : medias con la misma letra son iguales al 0.05 de probabilidad.

^{††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

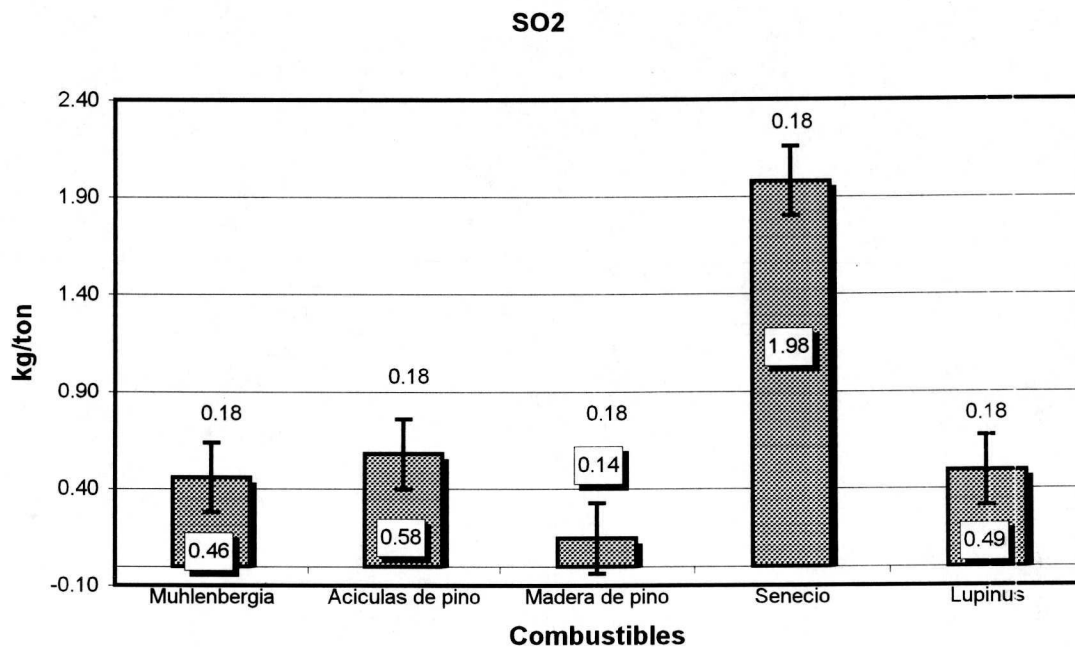


Figura 6.5. Emisión de SO₂ en kg ton⁻¹ de combustible y su intervalo de confianza al 95 % de probabilidad.

6.2. CURVAS DE EMISIONES POR TIPO DE COMBUSTIBLE

En esta sección se comparó el tiempo de cada contaminante para alcanzar la máxima emisión por tipo de combustible, para determinar si se emiten en diferentes etapas de la combustión.

6.2.1. *Muhlenbergia macroura*

En primer término, debe señalarse que hubo diferencias estadísticamente significativas para el tiempo de máxima emisión de los contaminantes considerados ($p = 0.0403$) como lo muestra el Cuadro 6.6.

Cuadro 6.6. Medias[†] para el tiempo^{††} en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en *Muhlenbergia macroura*.

Contaminante	<i>Muhlenbergia macroura</i>	
NO ₂	225.00	a
SO ₂	108.33	b
CO	101.66	b
NO _x	96.66	b
NO	70.00	b
DMS ^{†††}	97.9	

[†] :media de mínimos cuadrados

^{††} : segundos.

^{†††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

El tiempo mínimo para alcanzar la máxima concentración, lo exhibió el NO (70 segundos), que se anticipó bastante al tiempo requerido para alcanzar el pico por el NO₂ (225 segundos) (Cuadro 6.6). Lo anterior puede deberse, al menos en parte, a la oxidación del NO (Figura 6.6).

Muhlenbergia macroura No. 0.10 R1

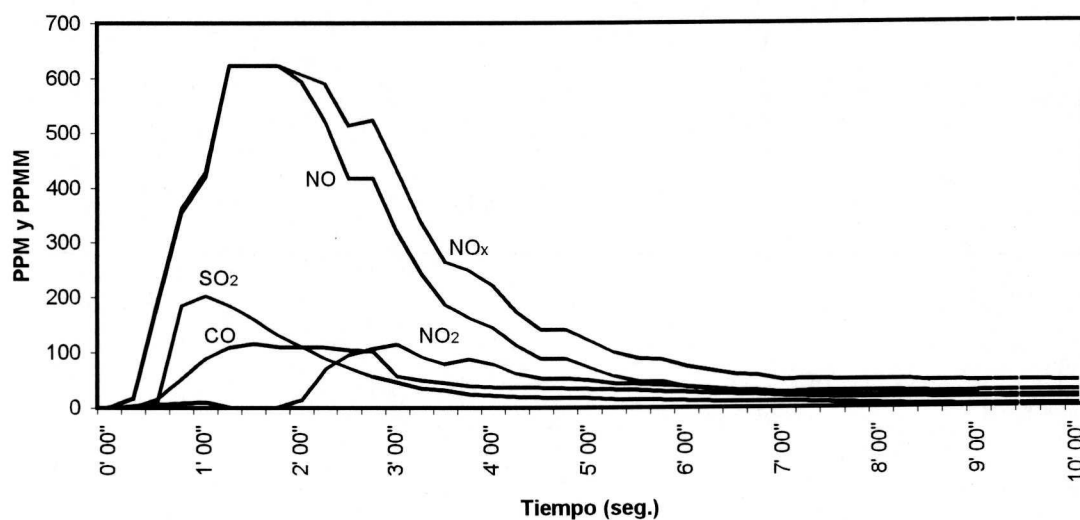


Figura 6.6. Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible; *Muhlenbergia macroura*.

6.2.2. Acículas de *Pinus hartwegii*

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en los tiempos de máxima emisión de los contaminantes para el combustible acículas de *P. hartwegii*. ($p = 0.2629$) (Cuadros 6.7 y Figura 6.7).

Cuadro 6.7. Medias[†] para el tiempo^{††} en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en acículas de *Pinus hartwegii*.

Contaminante	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	
NO ₂	193.33	a
SO ₂	170.00	a
CO	120.00	a
NO _x	111.66	a
NO	80.00	a
DMS ^{†††}	116.50	

[†] : media de mínimos cuadrados.

^{††} : segundos.

^{†††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

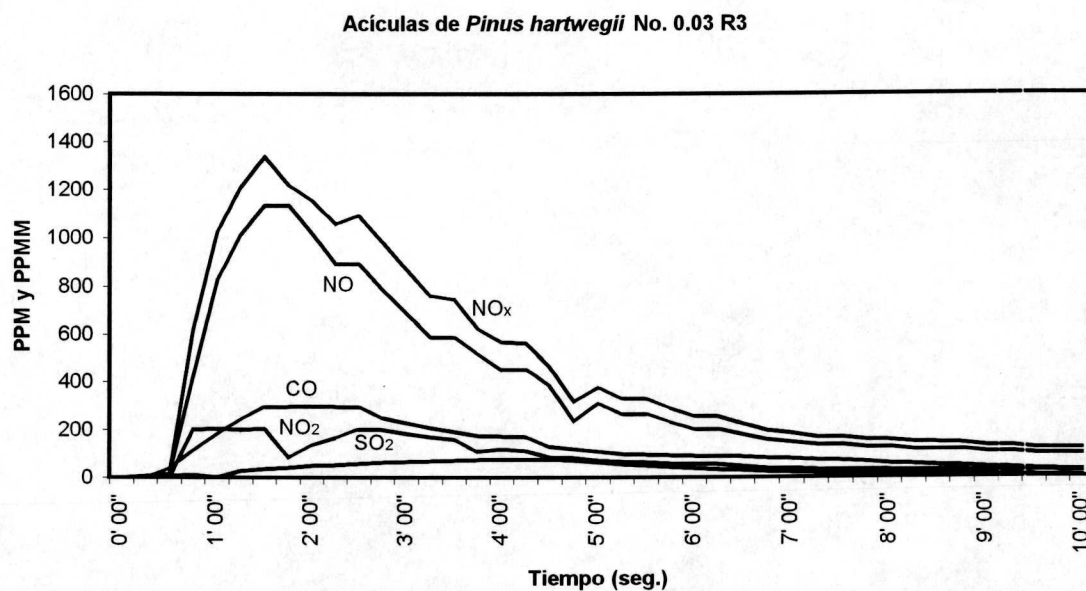


Figura 6.7. Tiempos máximos en segundos alcanzados por los contaminantes para el combustible acículas de *Pinus hartwegii*.

6.2.3. Madera de *Pinus hartwegii*

Se encontraron diferencias estadísticamente significativa ($p = 0.0004$) entre los tiempos de las emisiones de los contaminantes para la madera de *Pinus hartwegii*, (Cuadro 6.8).

El contaminante NO, sigue obteniendo los valores de tiempo mínimos (72 segundos), al momento de alcanzar la máxima emisión, mientras que el SO₂ obtiene el máximo con 250 segundos (Figura 6.8).

Cuadro 6.8. Medias[†] para el tiempo^{††} en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en madera de *Pinus hartwegii*.

Contaminante	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	
SO ₂	250.00	a
CO	134.44	b
NO ₂	108.33	b c
NO _x	95.00	b c
NO	71.66	c
DMS ^{†††}	58.86	

[†] : media de mínimos cuadrados.

^{††} : segundos.

^{†††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

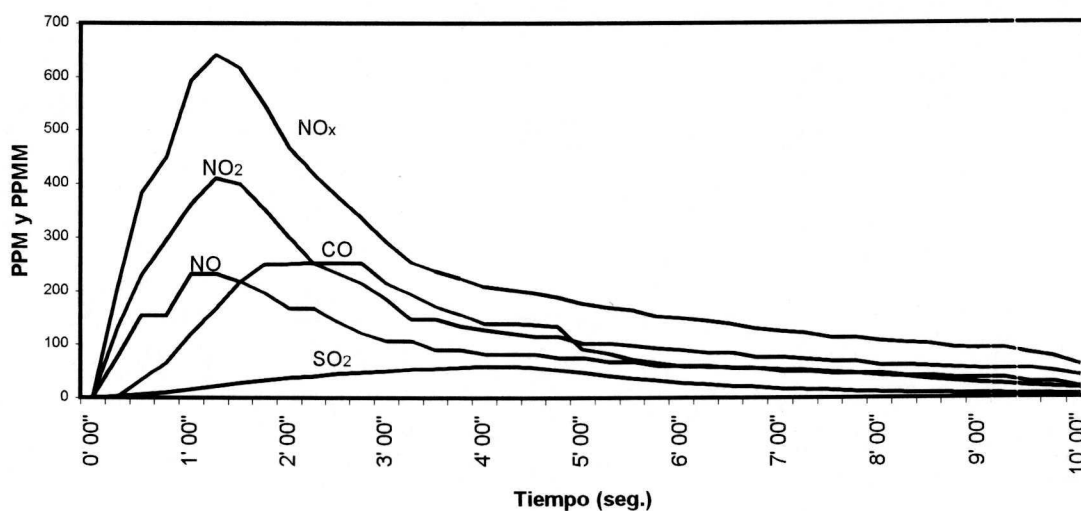


Figura 6.8. Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible madera de *Pinus hartwegii*.

6.2.4. *Senecio cinerarioides*

Se encontró diferencia estadísticamente significativa, para el tiempo en el cual alcanzaron su máxima emisión los diferentes contaminantes ($p = 0.0063$), (Cuadro 6.9).

Para este combustible, el NO sigue presentando el menor valor en cuanto al tiempo que tarda en alcanzar su máxima emisión (73 segundos); el mayor es nuevamente el NO₂ (295 segundos) y los contaminantes NO_x, CO y SO₂ muestran una media similar (Figura 6.9).

Cuadro 6.9. Medias[†] para el tiempo^{††} en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en *Senecio cinerarioides*.

Contaminante	<i>Senecio cinerarioides</i>
NO ₂	295.00 a
CO	113.33 b
NO _x	108.33 b
SO ₂	101.66 b
NO	73.33 b
DMS ^{†††}	106.90

[†] : media de mínimos cuadrados.

^{††} : segundos.

^{†††} : DMS = diferencia mínima significativa protegida con $\alpha = 0.05$.

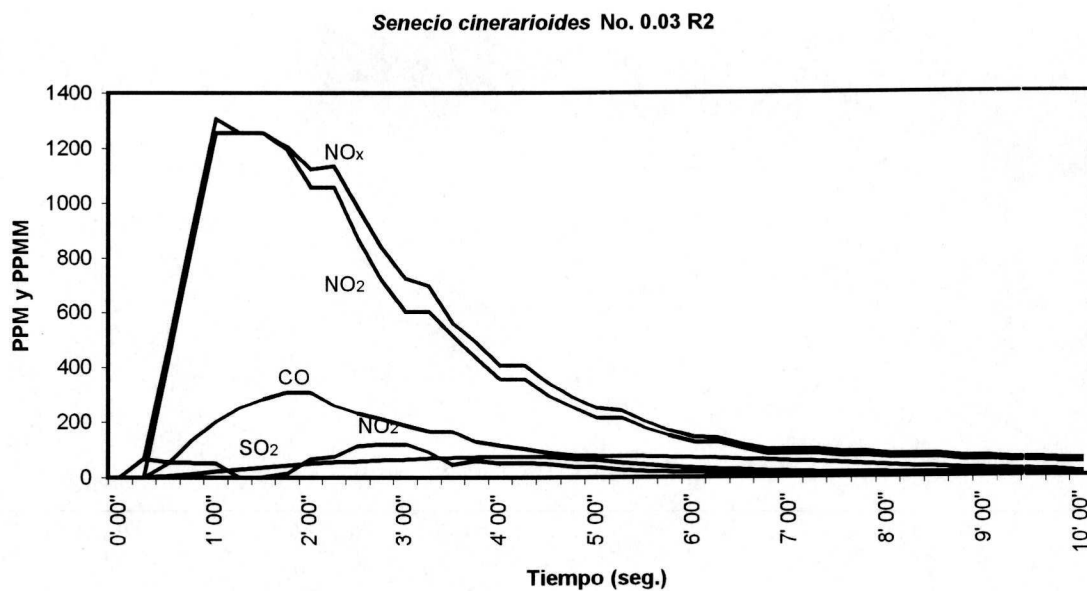


Figura 6.9. Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible *Senecio cinerarioides*.

6.2.5. *Lupinus montanus*

Se halló diferencia estadísticamente significativa para el tiempo que tardaron los contaminantes en alcanzar su máxima emisión ($p = 0.0184$). (Cuadro 6.10) (Figura 6.10).

El contaminante que tardó más tiempo en alcanzar su máxima emisión fue el SO_2 (213 segundos) antecedido del NO_2 con 183 segundos. El que siempre se mantuvo como el contaminante que alcanzaba en el menor tiempo su máxima emisión fue el NO (71 segundos) (Cuadro 6.10).

Cuadro 6.10. Medias[†] para el tiempo^{††} en que los contaminantes alcanzaron la máxima emisión, en *Lupinus montanus*.

Contaminante	<i>Lupinus montanus</i>	
SO_2	212.22	a
NO_2	183.11	a
CO	118.33	b
NO_x	115.00	b
NO	71.66	c
DMS ^{†††}	80.32	

[†] : media de mínimos cuadrados.

^{††} : segundos.

^{†††} : DMS = diferencia mínima significativa con $\alpha = 0.05$.

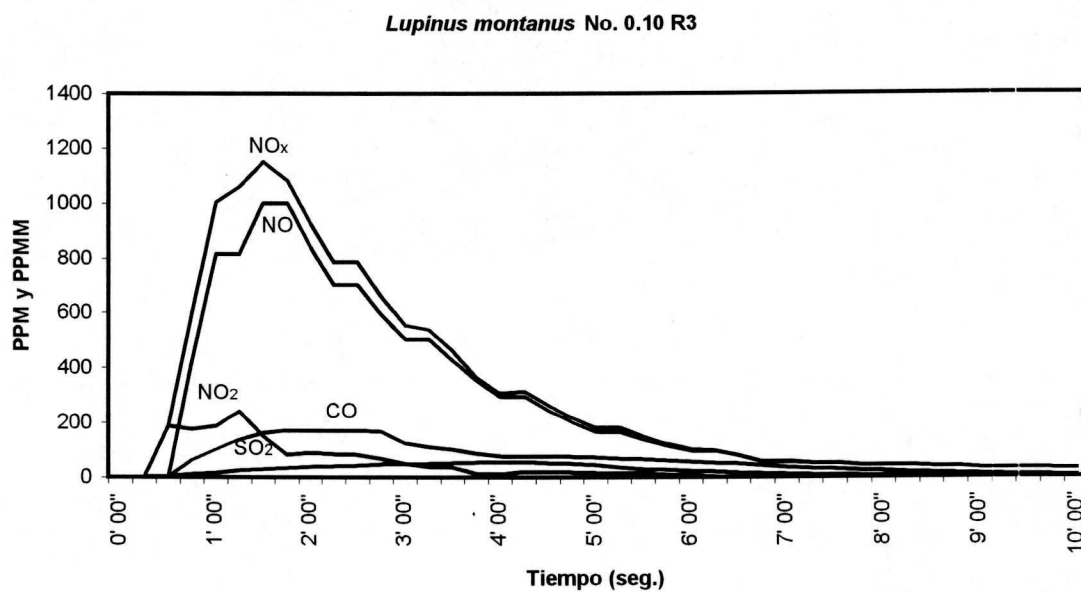


Figura 6.10. Tiempos máximos (segundos) alcanzados por los contaminantes para el combustible *Lupinus montanus*.

En el Cuadro 6.11 se presenta un resumen, por tipo de combustible, de los tiempos en que cada contaminantes alcanzó su máximo.

Cuadro 6.11. Resumen de los tiempos[†] máximos alcanzados en que los contaminantes alcanzaron su máxima emisión.

Contaminante	Combustible	Media ^{††}	Error estándar
NO	<i>Muhlenbergia macroura</i>	70.00	31.03
	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	80.00	36.93
	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	71.66	18.66
	<i>Senecio cinerarioides</i>	73.33	33.89
	<i>Lupinus montanus</i>	71.66	25.46
NO ₂	<i>Muhlenbergia macroura</i>	225.00	31.03
	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	193.33	36.93
	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	108.33	18.66
	<i>Senecio cinerarioides</i>	295.00	33.89
	<i>Lupinus montanus</i>	183.11	25.46
NO _x	<i>Muhlenbergia macroura</i>	96.66	31.03
	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	111.66	36.93
	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	95.00	18.66
	<i>Senecio cinerarioides</i>	108.33	33.89
	<i>Lupinus montanus</i>	115.00	25.46
CO	<i>Muhlenbergia macroura</i>	101.66	31.03
	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	120.00	36.93
	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	134.44	18.66
	<i>Senecio cinerarioides</i>	113.33	33.89
	<i>Lupinus montanus</i>	118.33	25.46
SO ₂	<i>Muhlenbergia macroura</i>	108.33	31.03
	acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	170.00	36.93
	madera de <i>Pinus hartwegii</i>	250.00	18.66
	<i>Senecio cinerarioides</i>	101.66	33.89
	<i>Lupinus montanus</i>	212.22	25.46

[†] : Segundos

^{††} : Media de mínimos cuadrados.

6.3. ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES PARA EL BOSQUE DE *Pinus hartwegii*

Las estimaciones de las emisiones de los contaminantes (NO, NO₂, NO_x, CO y SO₂) expresadas en kilos de contaminante emitidos por hectárea de combustible consumido (kg ha⁻¹), se realizaron usando los datos de las emisiones medias por tipo de combustible referidas en la sección 6.1 del presente trabajo de investigación.

Los combustibles estudiados representan aproximadamente al 100% del combustible total del bosque de *Pinus hartwegii* en diversas localidades, como la referida, el Parque Desierto de los Leones o el Ajusco (Rodríguez y Sierra 1995; COCODER, 1988).

Se plantearon varios escenarios para los incendios, por cuanto toca a lo carga de combustibles, para ello se tomaron datos de inventarios de combustibles de 8 sitios de diferentes bosques de *Pinus hartwegii* del Distrito Federal, realizado por Rodríguez y Sierra (1995); COCODER, (1988) que presentaban las características en cuanto a combustibles de un bosque de *Pinus hartwegii* (Anexo 2). En estos sitios ya tienen estimada la carga de combustible forestales.

En el Cuadro 6.12 se presenta un formato de como se calcularon los emisiones de cada uno de los cinco contaminantes para los 8 sitios (Anexo 3), y en el Cuadro 6.13 se presenta un resumen de los cálculos de los 8 sitios y de los 5 contaminantes.

Cuadro 6.12. Factores para estimar la emisión de NO₂.**Emisiones de NO₂ coordinadas[†] 107 – 22**

Combustible	Carga ton ha ⁻¹	Factor de Combustión	Carga consumida	Factor de Emisión	Emisión ^{††} ton ha ⁻¹
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	0.550	0.020
Madera	0.338	0.3	0.101	1.000	0.101
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	0.620	0.006
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	1.000	0.006
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	0.590	0.003
Zacates	2.000	0.9	1.700	0.250	0.425
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	0.550	0.609
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	1.000	0.173
10 h	0.616	0.5	0.308	1.000	0.308
100 h	6.170	0.3	1.543	1.000	1.543
1000 h	9.086	0.2	1.363	1.000	1.363
			Suma ton ha ⁻¹		4.557

[†] : las coordenadas son cuadrantes de coordenadas reales.

^{††} : Emisión (carga ton ha⁻¹) x (factor de combustión) x (carga consumida) x
(factor de combustión) = ton ha⁻¹.

Cuadro 6.13. Carga[†] de los diferentes combustibles de cada sitio^{††}.

Combustible	Coordenadas							
	107 – 22	107 – 23	107 – 25	108 – 24	108 – 25	109 – 27	113-18-C-7	113-18-C-8
Renuevo Pino								
hojas	0.037	0.057	0.113	0.020	0.000	0.000	0.099	0.027
Madera	0.338	1.702	1.780	0.572	0.000	0.000	1.363	0.464
Arbustos								
Senecio								
Follaje	0.010	0.000	0.000	0.035	0.056	0.384	0.003	0.003
Madera	0.020	0.000	0.000	0.017	0.072	0.939	0.004	0.004
Lupinus	0.008	0.000	0.000	0.022	0.014	0.147	0.006	0.006
Zacates	2.000	2.896	4.045	4.298	7.515	11.606	4.504	6.297
Hojas de pino	1.107	0.738	1.476	0.369	0.000	0.184	0.000	0.000
Leñas	16.064	0.251	3.128	5.156	14.335	3.889	6.473	15.804
Total ton ha ⁻¹	19.584	5.644	10.542	10.489	21.992	17.149	12.452	22.605

[†] : ton ha⁻¹

^{††} : (Rodríguez y Sierra 1995, COCODER, 1988).

En el Cuadro 6.14 se presenta un resumen de los porcentajes de los combustibles que afectan directamente en la emisión de los contaminante de cada uno de los ocho sitios.

Cuadro 6.14. Carga[†] de los diferentes combustibles en cada sitio^{††}.

Sitio	107 - 22	107 - 23	107 - 25	108 - 24	108 - 25	109 - 27	113-18-C-7	113-18-C-8
Combustible								
Renuevo Pino								
Follaje	0.189	1.010	1.072	0.191	0.000	0.000	0.795	0.119
Madera	1.726	30.156	16.885	5.453	0.000	0.000	10.946	2.053
Arbustos								
Senecio								
Follaje	0.051	0.000	0.000	0.334	0.255	2.239	0.024	0.013
Madera	0.102	0.000	0.000	0.162	0.327	5.476	0.032	0.018
Lupinus	0.041	0.000	0.000	0.210	0.064	0.857	0.048	0.027
Zacates	10.212	51.311	38.370	40.976	34.172	67.677	36.171	27.857
Hojarasca de pino	5.653	13.076	14.001	3.518	0.000	1.073	0.000	0.000
Leñas	82.026	4.447	29.672	49.156	65.183	22.678	51.984	69.914
Total (%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

[†] : En por ciento %

^{††} : Fuente (Rodríguez y Sierra, 1995, COCODER 1988).

Cuadro 6.15. Emisiones de los contaminantes de cada uno de los sitios.

Sitio	Contaminante				
	NO ₂ (kg ha ⁻¹)	NO (kg ha ⁻¹)	NO _x (kg ha ⁻¹)	CO (kg ha ⁻¹)	SO ₂ (kg ha ⁻¹)
107-22	4.557	4.924	10.725	246.821	1.955
107-23	1.695	2.538	5.330	105.646	1.683
107-25	3.427	4.868	10.178	209.309	2.740
108-24	2.436	2.850	6.516	134.901	2.155
108-25	4.242	4.162	10.014	216.531	3.408
109-27	4.219	5.298	13.607	246.764	5.572
113-18-C-7	2.803	2.771	6.468	143.114	2.076
113-18-C-8	5.834	5.141	12.137	286.397	3.112
Promedio	3.652	4.069	9.372	198.685	2.838

Con base en el Cuadro 6.15, para la estimación de las emisiones de NO_2 se tiene que el nivel máximo es de $5.834 \text{ ton ha}^{-1}$ para el sitio 113-18-C-8, y el menor 1.695 kg ha^{-1} para el sitio 107-23, siendo el promedio igual a $3.653 \text{ ton ha}^{-1}$.

Para el NO , se tiene que el nivel máximo es de $5.298 \text{ ton ha}^{-1}$ para el sitio 109-27, y el menor 2.538 kg ha^{-1} para el sitio 107-23 y el promedio $4.069 \text{ ton ha}^{-1}$.

Respecto a las emisiones de NO_x , se tiene que el nivel máximo es de $13.607 \text{ kg ha}^{-1}$ para el sitio 109-27, y el menor 5.330 kg ha^{-1} para el sitio 107-23 y el promedio 9.372 kg ha^{-1} .

Por cuanto toca al CO , se tienen el nivel máximo es de $286.397 \text{ kg ha}^{-1}$ para el sitio 113-18-C-8, y el menor $105.646 \text{ kg ha}^{-1}$ para el sitio 107-23 con un promedio igual a $198.685 \text{ kg ha}^{-1}$.

Las emisiones de SO_2 , se tienen un nivel máximo de 5.572 kg ha^{-1} para el sitio 109-27, y el menor valor de 1.683 kg ha^{-1} para el sitio 107-23, con un promedio de 2.838 kg ha^{-1} .

7. DISCUSIÓN

7.1. NO₂, NO y NO_x

La producción de NO_x durante un incendio, es dependiente del contenido de nitrógeno (N) del combustible consumido. Ambos, el NO₂ y el NO son gases reactivos que se emiten durante la combustión (Labart y Warnatz, 1993), el NO es un producto estable de la combustión. Aunque el NO₂ es menos estable que el NO, y se incrementa su emisión en la fase sin flama. La conversión del N del combustible a NO_x puede variar aproximadamente de un 5 % de la madera a un 40 % en la tierra orgánica. Existe una relación lineal entre el N de los combustibles y la emisión de NO_x en las plumas de humo (DeBano, 1996).

En la presente investigación, los combustible que tuvieron una mayor emisión de NO_x (NO_x = NO + NO₂) fueron: *Senecio cinerarioides* (9.05 kg ton⁻¹), *Lupinus montanus* (5.96 kg ton⁻¹) y las acículas de *P. hartwegii* (4.93 kg ton⁻¹). Para la madera de *Pinus hartwegii* la emisión corresponde a 3.46 kg ton⁻¹ y la menor en *Muhlenbergia macroura* de 1.39 kg ton⁻¹, que corresponden con las emisiones que otros investigadores han encontrado (Cuadro 7.1); la NWCG, (1985) no menciona el tipo de combustible del cual se obtuvieron los datos.

Cuadro 7.1. Muestra factores de emisión importantes de algunos de los gases más representativos de un incendio forestal[†].

Producto	Factor de emisión (kg ton ⁻¹)
CO ₂	907.2000 - 1587.6000
CO	9.0720 - 226.8000
H ₂ O	4.5360 - 18.1440
NO _x	0.4536 - 4.0824

[†] : Fuente (NWCG, 1985).

7.2. CO

Las emisiones de CO encontradas en el presente trabajo, exhiben valores parecidos a los reportados para investigaciones en otras partes del mundo. Para diferentes tipos de combustibles, el intervalo de valores medios fue 14.66 kg ton⁻¹ (*Muhlenbergia macroura*) a 76.07 kg ton⁻¹ (*Senecio cinerarioides*), mientras que Hardy *et al.* (1996), encontraron que dichas emisiones fueron de 60 a 99 kg ton⁻¹ en un chaparral de California, Estados Unidos, en fuegos de baja intensidad. Sandberg *et al.* (1975) refiere emisiones de 400 kg ton⁻¹ en desechos de aprovechamientos.

En los resultados del presente trabajo, destaca que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los arbustos, seguidos por leñas y acículas y por último los pastos. Es decir, los diferentes tipos de combustibles, emiten distintas cantidades de este contaminante.

En el caso del CO, está ampliamente reportado en la literatura (por ejemplo, DeBano 1998), que las máximas emisiones se alcanzan en la fase de

combustión sin llama, en combustibles leñosos, por ejemplo, lo puede ayudar a que explica el rezago indicado (Figura 6.8).

Cabe señalar, que en diversas localidades que sufrieron los embates de los históricos incendios de 1998, como la EFEZ en los Estados de: México y Puebla, y el Parque Desierto de los Leones en el Distrito Federal, un arbusto que se ha hecho dominante es *Senecio cinerarioides* (com. Pers. Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, 2001). Lo anterior implica que cuando estas áreas se quemen nuevamente, de continuar dominando este *Senecio cinerarioides*, las emisiones de CO serán más elevadas, en comparación con la sola presencia de pastos y algunos combustibles leñosos.

7.3. SO₂

El dióxido de azufre, SO₂, es la primera forma en que se emite el azufre (S) en un incendio, constituye una porción pequeña de los componentes del humo. Entre el 40 y 60% del azufre de los combustibles es el que se emite a la atmósfera, el resto depositado en el suelo como mineral (DeBano, 1998).

Los valores encontrados para los combustibles de la presente investigación, fueron: *Senecio cinerarioides* (1.98 kg ton⁻¹), acículas de *Pinus hartwegii* (0.58 kg ton⁻¹), *Lupinus montanus* (0.49 kg ton⁻¹), *Muhlenbergia macroura* (0.46 kg ton⁻¹) y la madera de *Pinus hartwegii* (0.14 kg ton⁻¹).

8 CONCLUSIONES

Los combustibles que emitieron una mayor cantidad de cada contaminante en la presente investigación se muestran en el Cuadro 8.1.

Cuadro 8.1. Máximas emisiones[†] por tipo de contaminante.

Combustible	kg ton ⁻¹	Tipo de contaminante
Madera de <i>Pinus hartwegii</i>	1.00	NO ₂
<i>Senecio cinerarioides</i>	7.06	NO _x
<i>Lupinus montanus</i>	1.75	NO
<i>Senecio cinerarioides</i>	76.71	CO
<i>Senecio cinerarioides</i>	1.98	SO ₂

[†] : Unidades en kg ton⁻¹.

El combustible que arrojó una mayor tasa de emisión total para los cinco contaminantes estudiados fue el arbusto *Senecio cinerarioides* con 87.74 kg ton⁻¹. Este y los promedios se muestran en el Cuadro 8.2.

Cuadro 8.2. Emisiones promedio por tipo de combustible.

Combustible	NO ₂ (kg ton ⁻¹)	NO _x (kg ton ⁻¹)	NO (kg ton ⁻¹)	CO (kg ton ⁻¹)	SO ₂ (kg ton ⁻¹)	Total (kg ton ⁻¹)
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.25	0.80	0.34	14.66	0.46	16.51
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	0.55	2.83	1.55	51.39	0.58	56.89
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	1.00	1.73	0.73	46.62	0.14	50.23
<i>Senecio cinerarioides</i>	0.62	7.06	1.37	76.71	1.98	87.74
<i>Lupinus montanus</i>	0.59	3.62	1.75	74.07	0.49	80.52

El contaminante que puede ser más crítico para la salud pública es el monóxido de carbono (CO) por su abundante emisión

Para el bosque de *Pinus hartwegii*, se estima que se emiten a la atmósfera: 3.65 ton ha⁻¹ de NO₂; 4.07 ton ha⁻¹ de NO; 7.72 ton ha⁻¹ de NO_x; 198.68 ton ha⁻¹ de CO y 2.84 ton ha⁻¹ de SO₂.

La emisión estimada de contaminante según el tipo de combustible (pastos, arbolado y follaje de las copas de los árboles) se estima que fue para el periodo de 1995 al 2000 en el Distrito Federal como lo muestra el Cuadro 8.3 calculado a partir de estadísticas de SEMARNAT (2000), los niveles de combustible señalados anteriormente y los resultados de la presente investigación. Se asume que la mayoría de los incendios ocurrieron en pinar (la vegetación dominante en la entidad) o en zacatonales.

Cuadro 8.3. Estimación de las emisión de los contaminantes para los incendios de 1995 al 2000 en el Distrito Federal.

Contaminante	ton ha ⁻¹	1995	1996	1997	1998	1999	2000	media
NO ₂	3.65	9362.2	11555.9	5584.5	20932.7	3241.2	4788.8	9244.2
NO	4.07	10439.5	12885.6	6227.1	23341.4	3614.1	5339.8	10307.9
NO _x	7.72	19801.8	24441.5	11811.6	44274.2	6855.3	10128.6	19552.1
CO	198.69	509639.8	629052.5	303995.7	1139487.1	176436.7	260681.2	503215.5
SO ₂	2.84	7284.6	8991.4	4345.2	16287.4	2521.9	3726.0	7192.7

En el Cuadro 8,4, se muestra se muestra la secuencia de la emisión por contaminante y tipo de combustible.

Cuadro 8.4 Secuencia de cómo los contaminantes alcanzaron se máxima emisión[†].

Combustibles	NO	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂
<i>Muhlenbergia macroura</i>	70.0	225.0	96.7	101.7	108.3
acículas de <i>Pinus hartwegii</i>	80.0	193.3	111.7	120.0	170.0
madera de <i>Pinus hartwegii</i>	71.7	108.3	95.0	134.4	250.0
<i>Senecio cinerarioides</i>	73.3	295.0	108.3	113.3	101.7
<i>Lupinus montanus</i>	71.7	183.1	115.0	118.3	212.2

9 RECOMENDACIONES

Utilizar los datos de la presente investigación para estimar la emisiones de los contaminantes estudiados en áreas incendiadas de *Pinus hartwegii* o pinares similares y pastizales.

En la medida de lo posible, exponer al mínimo posible al humo a los combatientes (dotar de mascarillas con filtro para capturar partículas menores a 2.5 micrones $PM_{2.5}$, más turnos, implementar tácticas para abatir la exposición a las emisiones)

Realizar el mismo estudio para otros contaminantes como partículas suspendidas, y en otros tipos de vegetación.

Investigar los efectos del humo en la salud, así como los impactos económicos de los humos de los incendios forestales.

Quemar cuando las condiciones atmosféricas sean propicias para la dispersión rápida de los contaminantes y bajo condiciones de humedad favorables (DeBano, 1998).

Quemar a favor del viento para aumentar la eficiencia de la combustión de los combustibles, quemar por la noche o por la mañana (DeBano, 1998).

Reducción de los combustibles leñosos forestales para evitar que se acumulen en grandes cantidades o montones. Proponer un mejor aprovechamiento de las áreas de corta para la madera que no tiene diámetros comerciales (Chandler *et al.*, 1983).

No quemar cuando las condiciones atmosféricas sea adversas y los niveles de contaminantes en las zonas urbanas sean altas o la humedad relativa sea muy baja, evitar quemar en días cuando los humos puedan afectar zonas sensibles al humo, como son días de fiesta y áreas de recreación (Mahaffey, 1994).

Quemar cuando los contenidos de humedad de los combustibles finos sean bajos, los combustibles gruesos y grandes con contenidos de humedad

altos y el suelo del bosque tenga un contenido de humedad alto (Mahaffey, 1994).

Rotación de los combatientes de incendios forestales en las diferentes áreas de un incendio (Reinhardt, 1997).

Evitar la exposición cuando los vientos sean erráticos o muy fuertes en los frentes de los incendios (McMahon, 1999).

Evitar realizar trabajos que requieran de un esfuerzo mayúsculo por parte de los combatientes de incendios.

Otros aspectos que tienen importancia son la condición física de los combatiente, si es fumador o no, edad, tiempo que llevan prestando el servicio, la altitud a nivel del mar en la que se estén combatiendo incendios (Reinhardt, 1997).

Evitar en lo posible el ataque directo y el la línea de combate (Jackson y Tietz, 1979).

Evitar en lo posible la fase ardiendo sin flama, que en esta, es donde se producen las mayores emisiones de los contaminantes (Reinhardt, 1997).

Evitar en lo posible la acumulación de los combustibles pesados y ligeros y evitar exposiciones prolongadas en lugares donde el movimiento del aire se muy lento (Reinhardt, 1997).

10 LITERATURA CITADA

- ARTAXO, P. YAMASOE, M. A., MARTINS, J. V., KOCINAS, S., CARVALHO, S. and MAENHAUT, W. Fire in the Environment The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires, CRUTZEN, P.J. and GOLDAMMER, J. G. Eds. John Wiley & Sons Inc. United States of America. pp. 139-158.
- BARNEY, R.H., G. R. FAHNESTOCK, W. G. HERBOLSHEIMAR, R. K. MILLER, C. B. and J. PIEROVICH. 1984. Fire management. In. WENGER, K. F. (ed.). Forestry handbook. John Wiley and Sons. New York. pp. 189-252.
- BIBLIOTECA ESPECIALIZADA DEL ESTADO DE MÉXICO. 1979. Flora del Estado de México. Edición Facsimilar de los Fascículos Publicados en los años 1953 a 1979. Tomo II.
- BOOZE, T. F., REINHARD, T. E. and OTTMAR R. D. Assessment of the health Risks of Chronic Smoke Exposure for Wildland Firefighters. 31 p. Mecanografiado.
- CARVALHO, Jr. J. A. 2000. combustion efficiency in tropical biomass in the "terra firme" forest of the Brazil Amazonia. Fire Conference 2000. November 27-Dicember 1, 200. San Diego, California, California Association for Fire Ecology, The Nature Conservancy Tall Timber Research station Joint Fire Science Program International Association of Wildland fire. 5 p.
- COCODER. 1988. Evaluación de Combustibles Forestales en las Zonas de Protección Extensiva a Cargo de COCOCER. Unidad Departamental de Áreas de Conservación Ecológica. México D. F. Noviembre 7 de 1998. 241 p.
- CONGRESSIONAL COMITÉ ON APPROPRIATION FOR TITLES II-RELATED AGENCIES, DASF National Wildfire Coordinating Group USDA Forest Service. The Johns Hopkins University. 1989. The Effects of Forest Fire Smoke on Firefighters a comprehensive study plan. 32 p.

- CHANDLER, C., CHENEY P., THOMAS P., TRABAUD, L. y WILLIAMS, D. 1993. Fire in Forestry Forest Fire Behavior and effects. Volume 1. John Wiley & Sons Inc. United States of America. 450 p.
- COUNTRYMAN, C. C. 1971. Carbon Monoxide: a Fire Fighting Harvard. USDA. FS. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Berkeley California. 11 p.
- CRUTZEN, P. J. and CARMICHAEL G. R. Modeling the Influence of Fires on Atmospheric Chemistry. Fire in the Environment The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires, CRUTZEN, P.J. and GOLDAMMER, J. G. (Eds). John Wiley & Sons Inc. United States of America. pp 89-105.
- DEBANO, L. F., NEARY, D. G. FOLLIOTT, P. F. 1998. Fire's Effects on Ecosystems. Publication John Wiley & Sons. United States of America. 333 p.
- DREISBACH, R., ROBERSON, W.O. 1998. Manual de Toxicología Clínica; Prevención Diagnóstico y Tratamiento. 6ta ed. Edit. Manual Moderno S.A. de C.V. 299 p.
- FINLANSKY-PITTS, B. J. y PITT JR., J. 1986. Atmospheric Chemistry Fundamentals and Experimental Techniques. Wiley-Interscience. Publication John Wiley & Sons. United States of America. 1098 p.
- GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México. 252 p.
- GOMEZ, KWANCHAIN A. AND GOMEZ, ARTURO A., 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research, Publication John Wiley & Sons. United States of America. 680 p.
- HUFF, M. H., OTTMAR R. D., ALVARADO, E., VIHNANEK, R. E., LEHMKUHL, J. F., HESSBURG, P. F. AND EVERETT, R. L. 1995. Historical and Current Forest Landscapes in Eastern Oregon and Washington. Part II Linking vegetation Characteristic to Potential Fire Behavior and Related Smoke Production. General Technical Report PNW-GTR-355 October 1995. USDA. 43 p.
- JOHANSEN, R., J. DEEMING, M. LONG, and D. WARD. 1985. Chapter II. Smoke production characteristics and effects. In: Gardner, F., F. Abieta. L. Bancroft, W. L. McCleese, H. N. Miller, R. Mutch, H. Ryan, J. W. van Wagendonk, R. Wilson, and F. Zontek, coordinators. Prescribed Fire Smoke Management Guide. United States Department of Agriculture, United States Of Interior, and National Association of State Foresters, NFES Publication No. 1279, pp. 5-10.

- KEELEY, J. E. and FOTHERINGHAM, C. J. 1997. Trace Gas and Smoke-Induced Seed Germination. *Science* 276:1248-1259.
- KEELEY, J. E. and FOTHERINGHAM, C. J. 1998. Mechanism of Smoke-Induced Seed Germination in a Post-Fire Chaparral Annual. *Journal of Ecology* 86:27-36.
- KOLLMANN, F. 1959. *Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Tomo I.* Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. pp 137-140 .
- LEENHOUTS, B. 2000. A Comparison of historic and contemporary Wildland fire and anthropogenic emissions. Fire Conference 2000. November 27-Dicember 1, 200. San Diego, California, California Association for Fire Ecology, The Nature Conservancy Tall Timber Research station Joint Fire Science Program International Association of Wildland fire. pp 8.
- LITTELL, R. C., MILLIKEN, G. A., STROUP, W. W. and WOLFINGER, R. D. 1999. SAS System for Mixed models. SAS Institute Inc., NC. USA.633 p.
- LOBERT, J .M. and WARNATZ, J. 1993. Emission from the Combustion Process in Vegetation. *Fire in the Environment The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*, CRUTZEN, P.J. and GOLDAMMER, J. G. Eds. John Wiley & Sons Inc. United States of America. pp. 15-37.
- LOGAN, J., ARTAXO, P. E., CACHIER, H., CARMICHAEL, G. R., DICKINSON, R., FOSBERG, M. A., HELAS, G., KANAKIDOU, M., LACAUX, J. P. and ROHRER, F. Group Report: What is the impact of Fires on Atmospheric Chemistry, Climate, and Biogeochemical Cycles? *Fire in the Environment The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*, CRUTZEN, P.J. and GOLDAMMER, J. G. Eds. John Wiley & Sons Inc. Unite State of America. pp. 345-356.
- MALAKOFF, D. A. 1997. nitrogen oxide Pollution May Spark Seeds growth. *Science* 276:1199 p.
- MASS, J. , PATRON, S. R., SUAREZ, G. A., BLANCO, Z. S., CABALLERO, G. G. PESCADOR, A. y SLINDE, C. 1981. *Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan. Serie Académica No. 2.* Universidad Autónoma Chapingo. Edición Cuádreros Universitarios.
- MCMAHON, C. K. 1976. Effects of Forest fire Emissions on Air Quality. *Proccedims Fire By Prescription. Symposium. Atlanta Georgia, oct.13-15, 1976* USDA. FS. pp 75-82.

- MCMAHON, C. K. 1999. Forest Fires and Smoke Impacts on Air Quality and Human health in the USA. International Environment Conference, 1999.
- MONTOYA, C. M. A. S. F. Toxicología Clínica. Edita. Francisco Méndez. 100 p.
- PETTERSON, R. C. 1984. The Chemical composition of wood. In: Roswell R., editor. The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society. Washington ,DC; pp. 57-126.
- PNUMA. 1998. Los Incendios Forestales Aceleran los Cambios Climáticos. Nashibi. 1h.
- PNUMA. 1992. Los Gases que Producen el Efecto Invernadero (cambio climático global). Libros del Medio ambiente No. 1. primera edición en Español. Universidad Autónoma Chapingo. México. 41 p.
- PRITCHETT, W. L. 1986. Suelos Forestales. Limusa. México D. F. 634 p.
- PYNE, S. J., ANDREWS, P. L. y LAVEN R.D. 1996. Introduction to Wildland Fire. Second Edition. John Wiley & Sons Inc. United States of America. 769 p.
- RIEBAU, A. R. 2000, pagina en Internet: <http://www.publish.csiro.au/journals/ijwf/issue.cfm?J=WF&V=10&I=4>
- RODRÍGUEZ, T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Mundi-Prensa. México Universidad Autónoma Chapingo, D. F. 630 p.
- RODRÍGUEZ, T., D. A., RODRÍGUEZ, A., M., Fernández, S., F. y Pine, S. J. 2000. Educación e Incendios Forestales. Mundi-Prensa. 201 p.
- RODRÍGUEZ, T., D. A., SIERRA, P. A. 1995 Evaluación de los Combustibles Forestales en los Bosque del Distrito Federal. Ciencia Forestal en México 20 (77):197-218.
- REINHARDT, T. E. and OTTMAR, R. D. 1997. Smoke Exposure Among Wildland Firefighters: A Review and Literature. General Technical Report PNW-GTR-373 February 1997. USDA. 61 p.
- REINHARDT, T. E. and OTTMAR, R. D. 2000. Smoke Exposure at Western. Research Paper PNW-RP-525 July 2000. USDA. 72 p.
- REINHARDT, T. E., OTTMAR, R. D. and HALLETT, M. J. 1999. Guide to Monitoring Smoke Exposure Wildland Firefighters. General Technical Report PNW-GTR-448 March 1999. USDA. 15 p.

- REINHARDT, T. E., OTTMAR, R. D. and HANNEMAN, J. S. 2000. Smoke Exposure Among Firefighters at prescribed Burns in the Pacific Northwest. Research Paper PNW-PR-526 2000. USDA. 15 p.
- REINHARDT, T. E., OTTMAR, R. D. and CASTILLA, C. 2001. Smoke impacts from Agricultural Burning in Rural Brazilian Town. Journal of the Air & Waste Management Association 51: pp 443 - 450.
- SAID, INFANTE. GIL y ZARATE DE LARA P. 1998. Métodos estadísticos. Edit. Trillas. Tercera reimpresión. México D.F. 643 p.
- SANDBERG, D. V., J. M. PIEROVICH, D., G. FOX, and E. W. ROSS. 1979. Effects of fire on Air: A State of knowledge Review USDA: FS. General Technical Report WO - 9.
- SHAFIZADEH, F. 1984. The chemistry of pyrolysis and combustion In: Rowell, R. editor. The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society. Washunton ,DC; pp. 489-529.
- SEMARNAT, Página en Internet: http://www.semarnat.gob.mx/incendios/estadisticas_incendios/mapa_incendios.shtml
- SEMARNAP/INEGI, Estadísticas del Medio Ambiente, 1999 / Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1997-1998, INEGI, México, 2000. 2) Semarnat, Dirección General Forestal, México, 2001. 540 p.
- SEMARNAT. 2000. Resultados, Incendios forestales.
- SMA. 2002. Página en Internet: <http://www.sma.df.gob.mx>
- WALSTAD, J. D., RADOSEVICH, S. R. y SANDBERG, D.V. 1990. Natural And Prescribed Fire in Pacific Northwest Forest. Oregon State University Press. United States of American. 317 p.
- WARD, D. E. Factors Influencing the Emissions of Gases and particulate matter From Biomass Burning. Intermountain Research station. U.S. Department of Agriculture, Missoula, Montana. United State Of America.
- WARD, D. E. 1992. Factors Influence the Emissions of Gases and Particulate Matter from Biomass Burning. Tropical Forests in Transition. GOLDAMMER, J. G. Ed. University of Freiburg. Germany. pp 418-435.

WEI MIN HAO, MEI HUEY LIU and CRUTZEN, P. J. Estimates of Annual and Regional Releases of CO₂ and Other Trace gases to the Atmospheric from Fires in the Tropics, Based on the FAO Statistic for the Period 1975-1980. Tropical Forests in Transition. GOLDAMMER, J. G. Ed. University of Freiburg. Germany. pp. 440-461.

ZAVALA, C., F. 1984. Sinecología de la Vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, Estado de México y Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán México. 164 p.

Anexo 1. Formato para la toma de lectura de las emisiones de los contaminantes
usado para las 45 muestras.

PROYECTO UACH-SMA

Fecha	04 / 10 / 2001	Peso muestra no quemada (Pmnq)	0.01 gr.		
Especie	Lupinus sp.	Peso muestra quemada (Pmq)	0.02 gr.		
Muestra	0.03	Peso cenizas (Pc)	0.0 gr.		
Repetición	R 3	Humedad relativa (HR)	44 %		
Tiempo inicio humo (Tih)	4 "	Temperatura (T°C)	24 °C		
Tiempo inicio flama (Tif)	7 "	Contaminante	Unidades		
Tiempo termino flama (Ttf)	9 "	NO _x	500 ppb		
Tiempo termino humo (Tth)	30 "	CO	500 ppm		
Peso muestra (Pm)	0.03 gr.	SO ₂	1000 ppt		
Tiempo seg.	NO	NO ₂	Σ NO _x	CO	SO ₂
sin fuego	22.9	23.8	46.7	1.0	17.0
0' 00"	15.3	23.0	38.3	1.0	16.0
0' 15"	15.3	11.2	26.5	1.0	16.0
0' 30"	380.5	11.2	391.7	1.1	18.0
0' 45"	380.5	14.9	395.4	8.0	20.0
1' 00"	715.2	14.9	730.1	14.1	23.0
1' 15"	1034.0	50.0	1084.0	19.3	27.0
1' 30"	957.6	68.3	1025.9	23.7	29.0
1' 45"	957.6	191.0	1148.6	25.6	33.0
2' 00"	878.7	210.4	1089.1	25.9	36.0
2' 15"	774.6	179.2	953.8	26.0	38.0
2' 30"	673.5	172.9	846.4	26.1	40.0
2' 45"	673.5	165.0	838.5	26.0	43.0
3' 00"	576.6	145.3	721.9	22.1	45.0
3' 15"	576.6	123.8	700.4	19.9	47.0
3' 30"	422.8	119.6	542.4	18.1	48.0
3' 45"	384.7	109.8	494.5	16.3	50.0
4' 00"	360.5	116.2	476.7	15.2	51.0
4' 15"	360.5	83.6	444.1	15.1	51.0
4' 30"	309.3	80.3	389.6	14.8	51.0
4' 45"	270.6	70.9	341.5	10.6	50.0
5' 00"	232.2	63.3	295.5	9.8	48.0
5' 15"	232.2	63.0	295.2	9.0	45.0
5' 30"	203.3	60.1	263.4	8.0	42.0
5' 45"	177.0	53.5	230.5	7.7	40.0
6' 00"	152.8	50.1	202.9	7.6	38.0
6' 15"	152.8	46.9	199.7	7.5	36.0
6' 30"	131.0	47.7	178.7	7.3	33.0
6' 45"	111.8	47.7	159.5	7.1	31.0
7' 00"	100.3	39.3	139.6	6.9	30.0
7' 15"	100.3	36.9	137.2	6.7	28.0
7' 30"	100.3	36.9	137.2	6.3	26.0
7' 45"	93.9	35.0	128.9	6.1	25.0
8' 00"	93.9	35.5	129.4	5.8	25.0
8' 15"	86.6	34.9	121.5	5.5	24.0
8' 30"	86.6	34.3	120.9	5.0	22.0
8' 45"	79.6	33.5	113.1	4.6	22.0
9' 00"	79.6	33.5	113.1	4.3	21.0
9' 15"	79.6	33.5	113.1	4.1	20.0
9' 30"	73.9	32.8	106.7	3.8	20.0
9' 45"	73.9	32.7	106.6	3.6	19.0
10' 00"	73.9	32.7	106.6	3.3	19.0

Anexo 2. Ficha del inventario de los combustibles (COCODER, 1988, Rodríguez y Sierra, 1995).

**COMISIÓN COORDINADORA PARA EL DESARROLLO RURAL
DIRECCIÓN TÉCNICA
INVANTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES**

CARGA TOTAL (ton./ha)

Frente: DESIERTO DE LOS LEONES
Coordenadas: 107 – 22
Estrato y espesura: PINO A.

Árboles y arbustos	Tallos		Ramas		Follaje		Suma
Renuevo	0.231		0.107		0.037		0.375
Reforestación	0.0		0.0		0.0		0.0
Suma	0.231	iii	0.107	ii	0.037	i	0.375
Arbustos	0.015	vi	0.011	v	0.012	iv	0.038
Subtotal	0.246		0.118		0.049		0.413 A
A = i + ii + iii + iv + v + vi.							

Herbáceos y Hojarascas							
Zacates					2.000		
Anuales					0.0		
Suma					2.000		vii
Hojarasca de coníferas					1.107		
Hojarasca de latifoliadas					0		
Suma					1.107		viii
Subtotal					3.107		B
B = vii + viii.							

Materiales leñosos en el suelo					
Tiempo de retardo (hr.)	Diámetro (cm.)	Carga (Ton./ha.)	Tiempo de retardo (hr.)	Diámetro (cm.)	Carga (Ton./ha.)
1	≤ 0.5	0.192	1 000 S	> 7.5 S	9.086
1 00	0.6 a 2.5	0.616	1 000 P	> 7.5 P	0.0
1 000	2.5 a 7.5	6.170	----- o -----	----- o -----	
Suma		6.978 ix	Suma		9.086 x
S = No podridos. P = Podridos.			Subtotal		16.064 C
C = ix + x.					

Total = A + B + C	19.584
--------------------------	---------------

Combustible total para incendios forestales de tipo superficial.

* Árboles con altura de pecho (D. P. A.) ≤ 5.4 cm.

Anexo 3. Programa en SAS utilizado para analizar los datos.

Programa en SAS

```
data javier;
input serie no2 nox no co so2;
if serie=1 or serie=2 or serie=3 then comb=1;
else if serie= 4 or serie= 5 or serie= 6 then comb=2;
else if serie= 7 or serie= 8 or serie= 9 then comb=3;
else if serie=10 or serie=11 or serie=12 then comb=4;
else if serie=13 or serie=14 or serie=15 then comb=5;
datalines;
:
datos
:
;
proc mixed;
class comb serie;
model co=comb/solution;
random serie(comb)/solution;
estimate 'serie 1' intercept 1 comb 1 0 0 0 0 | serie(comb) 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 2' intercept 1 comb 1 0 0 0 0 | serie(comb) 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 3' intercept 1 comb 1 0 0 0 0 | serie(comb) 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 4' intercept 1 comb 0 1 0 0 0 | serie(comb) 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 5' intercept 1 comb 0 1 0 0 0 | serie(comb) 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 6' intercept 1 comb 0 1 0 0 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 7' intercept 1 comb 0 0 1 0 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 8' intercept 1 comb 0 0 1 0 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 9' intercept 1 comb 0 0 1 0 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 10' intercept 1 comb 0 0 0 1 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 11' intercept 1 comb 0 0 0 1 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
estimate 'serie 12' intercept 1 comb 0 0 0 1 0 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
estimate 'serie 13' intercept 1 comb 0 0 0 0 1 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
estimate 'serie 14' intercept 1 comb 0 0 0 0 1 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
estimate 'serie 15' intercept 1 comb 0 0 0 0 1 | serie(comb) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1;
lsmeans comb/pdiff;
run;
```

Anexo 4. Formato para el calculo de las emisiones de las contaminantes en
bosques de *Pinus hartwegii*.

Las coordenadas que tienen los formatos son arbitrarias y corresponden a a
cuadrados de 100 ha de bosque de *Pinus hartwegii* en el Distrito federal.

Emisiones de NO₂ coordenadas 107 - 22

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	0.550	0.020
Madera	0.338	0.3	0.101	1.000	0.101
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	0.620	0.006
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	1.000	0.006
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	0.590	0.003
Zacates	2.000	0.9	1.700	0.250	0.425
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	0.550	0.609
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	1.000	0.173
10 h	0.616	0.5	0.308	1.000	0.308
100 h	6.170	0.3	1.543	1.000	1.543
1000 h	9.086	0.2	1.363	1.000	1.363
Suma ton/ha					4.557

Emisiones de NO coordinadas 107 - 22

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	1.550	0.057
Madera	0.338	0.3	0.101	0.730	0.074
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	1.370	0.012
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	0.730	0.004
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	1.750	0.010
Zacates	2.000	0.9	1.700	0.340	0.578
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	1.550	1.716
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	0.730	0.126
10 h	0.616	0.5	0.308	0.730	0.225
100 h	6.170	0.3	1.543	0.730	1.126
1000 h	9.086	0.2	1.363	0.730	0.995
Suma Kg/ha					4.924

Emisiones de NO_x coordinadas 107 - 22

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	2.830	0.105
Madera	0.338	0.3	0.101	1.730	0.175
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	7.060	0.064
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	1.730	0.010
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	3.620	0.020
Zacates	2.000	0.9	1.700	0.800	1.360
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	2.830	3.133
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	1.730	0.299
10 h	0.616	0.5	0.308	1.730	0.533
100 h	6.170	0.3	1.543	1.730	2.669
1000 h	9.086	0.2	1.363	1.730	2.358
Suma Kg/ha					10.725

Emisiones de NO_x coordinadas 107 - 23

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.057	1.0	0.057	0.550	0.031
Madera	1.702	0.3	0.511	1.000	0.511
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	0.620	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	0.590	0.000
Zacates	2.896	0.9	2.462	0.250	0.615
Hojarasca de pino	0.738	1.0	0.738	0.550	0.406
Leñas					
1 h	0.015	0.9	0.014	1.000	0.014
10 h	0.236	0.5	0.118	1.000	0.118
100 h	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
1000 h	0.000	0.2	0.000	1.000	0.000
Suma Kg/ha					1.695

Emisiones de NO coordinadas 107 - 23

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.057	1.0	0.057	1.550	0.088
Madera	1.702	0.3	0.511	0.730	0.373
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	1.370	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	1.750	0.000
Zacates	2.896	0.9	2.462	0.340	0.837
Hojarasca de pino	0.738	1.0	0.738	1.550	1.144
Leñas					
1 h	0.015	0.9	0.014	0.730	0.010
10 h	0.236	0.5	0.118	0.730	0.086
100 h	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
1000 h	0.000	0.2	0.000	0.730	0.000
Suma Kg/ha					2.538

Emisiones de CO coordinadas 107 - 22

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	51.390	1.901
Madera	0.338	0.3	0.101	46.620	4.727
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	74.710	0.672
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	46.620	0.280
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	74.070	0.415
Zacates	2.000	0.9	1.700	14.160	24.072
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	51.390	56.889
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	46.620	8.056
10 h	0.616	0.5	0.308	46.620	14.359
100 h	6.170	0.3	1.543	46.620	71.911
1000 h	9.086	0.2	1.363	46.620	63.538
Suma Kg/ha					246.821

Emisiones de SO₂ coordinadas 107 - 22

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.037	1.0	0.037	0.580	0.021
Madera	0.338	0.3	0.101	0.140	0.014
Arbustos = 0.038					
Senecio (80%) = 0.030					
Follaje (32%) = 0.010	0.010	0.9	0.009	1.980	0.018
Madera (68%) = 0.020	0.020	0.3	0.006	0.140	0.001
Lupinus (20%) = 0.008	0.008	0.7	0.006	0.490	0.003
Zacates	2.000	0.9	1.700	0.460	0.782
Hojarasca de pino	1.107	1.0	1.107	0.580	0.642
Leñas					
1 h	0.192	0.9	0.173	0.140	0.024
10 h	0.616	0.5	0.308	0.140	0.043
100 h	6.170	0.3	1.543	0.140	0.216
1000 h	9.086	0.2	1.363	0.140	0.191
Suma Kg/ha					1.955

Emisiones de NO_x coordinadas 107 - 23

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.057	1.0	0.057	2.830	0.161
Madera	1.702	0.3	0.511	1.730	0.883
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	7.060	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	3.620	0.000
Zacates	2.896	0.9	2.462	0.800	1.969
Hojarasca de pino	0.738	1.0	0.738	2.830	2.089
Leñas					
1 h	0.015	0.9	0.014	1.730	0.023
10 h	0.236	0.5	0.118	1.730	0.204
100 h	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
1000 h	0.000	0.2	0.000	1.730	0.000
Suma Kg/ha					5.330

Emisiones de CO coordinadas 107 - 23

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.057	1.0	0.057	51.390	2.929
Madera	1.702	0.3	0.511	46.620	23.804
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	74.710	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	74.070	0.000
Zacates	2.896	0.9	2.462	14.160	34.856
Hojarasca de pino	0.738	1.0	0.738	51.390	37.926
Leñas					
1 h	0.015	0.9	0.014	46.620	0.629
10 h	0.236	0.5	0.118	46.620	5.501
100 h	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
1000 h	0.000	0.2	0.000	46.620	0.000
Suma Kg/ha					105.646

Emisiones de SO₂ coordenadas 107 - 23

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.057	1.0	0.057	0.580	0.033
Madera	1.702	0.3	0.511	0.140	0.071
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	1.980	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	0.490	0.000
Zacates	2.896	0.9	2.462	0.460	1.132
Hojarasca de pino	0.738	1.0	0.738	0.580	0.428
Leñas					
1 h	0.015	0.9	0.014	0.140	0.002
10 h	0.236	0.5	0.118	0.140	0.017
100 h	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
1000 h	0.000	0.2	0.000	0.140	0.000
Suma Kg/ha					1.683

Emisiones de NO_x coordenadas 107 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.113	1.0	0.113	0.550	0.062
Madera	1.780	0.3	0.534	1.000	0.534
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	0.620	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	0.590	0.000
Zacates	4.045	0.9	3.438	0.250	0.860
Hojarasca de pino	1.476	1.0	1.476	0.550	0.812
Leñas					
1 h	0.340	0.9	0.306	1.000	0.306
10 h	0.924	0.5	0.462	1.000	0.462
100 h	1.122	0.3	0.281	1.000	0.281
1000 h	0.742	0.2	0.111	1.000	0.111
Suma Kg/ha					3.427

Emisiones de CO coordenadas 107 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.113	1.0	0.113	51.390	5.807
Madera	1.780	0.3	0.534	46.620	24.895
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	74.710	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	74.070	0.000
Zacates	4.045	0.9	3.438	14.160	48.686
Hojarasca de pino	1.476	1.0	1.476	51.390	75.852
Leñas					
1 h	0.340	0.9	0.306	46.620	14.266
10 h	0.924	0.5	0.462	46.620	21.538
100 h	1.122	0.3	0.281	46.620	13.077
1000 h	0.742	0.2	0.111	46.620	5.189
Suma Kg/ha					209.309

Emisiones de SO₂ coordenadas 107 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.113	1.0	0.113	0.580	0.066
Madera	1.780	0.3	0.534	0.140	0.075
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	1.980	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	0.490	0.000
Zacates	4.045	0.9	3.438	0.460	1.582
Hojarasca de pino	1.476	1.0	1.476	0.580	0.856
Leñas					
1 h	0.340	0.9	0.306	0.140	0.043
10 h	0.924	0.5	0.462	0.140	0.065
100 h	1.122	0.3	0.281	0.140	0.039
1000 h	0.742	0.2	0.111	0.140	0.016
Suma Kg/ha					2.740

Emisiones de NO coordenadas 107 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.113	1.0	0.113	1.550	0.175
Madera	1.780	0.3	0.534	0.730	0.390
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	1.370	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	1.750	0.000
Zacates	4.045	0.9	3.438	0.340	1.169
Hojarasca de pino	1.476	1.0	1.476	1.550	2.288
Leñas					
1 h	0.340	0.9	0.306	0.730	0.223
10 h	0.924	0.5	0.462	0.730	0.337
100 h	1.122	0.3	0.281	0.730	0.205
1000 h	0.742	0.2	0.111	0.730	0.081
Suma Kg/ha					4.868

Emisiones de NO_x coordenadas 107 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.113	1.0	0.113	2.830	0.320
Madera	1.780	0.3	0.534	1.730	0.924
Arbustos = 0.000					
Senecio (80%) = 0.000					
Follaje (32%) = 0.000	0.000	0.9	0.000	7.060	0.000
Madera (68%) = 0.000	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
Lupinus (20%) = 0.000	0.000	0.7	0.000	3.620	0.000
Zacates	4.045	0.9	3.438	0.800	2.751
Hojarasca de pino	1.476	1.0	1.476	2.830	4.177
Leñas					
1 h	0.340	0.9	0.306	1.730	0.529
10 h	0.924	0.5	0.462	1.730	0.799
100 h	1.122	0.3	0.281	1.730	0.485
1000 h	0.742	0.2	0.111	1.730	0.193
Suma Kg/ha					10.178

Emisiones de NO₂ coordenadas 108 - 24

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.020	1.0	0.020	0.550	0.011
Madera	0.572	0.3	0.172	1.000	0.172
Arbustos = 0.074					
Senecio (70%) = 0.052					
Follaje (68%) = 0.035	0.035	0.9	0.032	0.620	0.020
Madera (32%) = 0.017	0.017	0.3	0.005	1.000	0.005
Lupinus (30%) = 0.022	0.022	0.7	0.015	0.590	0.009
Zacates	4.298	0.9	3.653	0.250	0.913
Hojarasca de pino	0.369	1.0	0.369	0.550	0.203
Leñas					
1 h	0.107	0.9	0.096	1.000	0.096
10 h	0.214	0.5	0.107	1.000	0.107
100 h	1.750	0.3	0.438	1.000	0.438
1000 h	3.085	0.2	0.463	1.000	0.463
Suma Kg/ha					2.436

Emisiones de NO coordenadas 108 - 24

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.020	1.0	0.020	1.550	0.031
Madera	0.572	0.3	0.172	0.730	0.125
Arbustos = 0.074					
Senecio (70%) = 0.052					
Follaje (68%) = 0.035	0.035	0.9	0.032	1.370	0.043
Madera (32%) = 0.017	0.017	0.3	0.005	0.730	0.004
Lupinus (20%) = 0.008	0.022	0.7	0.015	1.750	0.027
Zacates	4.298	0.9	3.653	0.340	1.242
Hojarasca de pino	0.369	1.0	0.369	1.550	0.572
Leñas					
1 h	0.107	0.9	0.096	0.730	0.070
10 h	0.214	0.5	0.107	0.730	0.078
100 h	1.750	0.3	0.438	0.730	0.319
1000 h	3.085	0.2	0.463	0.730	0.338
Suma Kg/ha					2.850

Emisiones de NO_x coordenadas 108 - 24

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.020	1.0	0.020	2.830	0.057
Madera	0.572	0.3	0.172	1.730	0.297
Arbustos = 0.074					
Senecio (70%) = 0.052					
Follaje (68%) = 0.035	0.035	0.9	0.032	7.060	0.222
Madera (32%) = 0.017	0.017	0.3	0.005	1.730	0.009
Lupinus (20%) = 0.008	0.022	0.7	0.015	3.620	0.056
Zacates	4.298	0.9	3.653	0.800	2.923
Hojarasca de pino	0.369	1.0	0.369	2.830	1.044
Leñas					
1 h	0.107	0.9	0.096	1.730	0.167
10 h	0.214	0.5	0.107	1.730	0.185
100 h	1.750	0.3	0.438	1.730	0.757
1000 h	3.085	0.2	0.463	1.730	0.801
Suma Kg/ha					6.516

Emisiones de CO coordenadas 108 - 24

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.020	1.0	0.020	51.390	1.028
Madera	0.572	0.3	0.172	46.620	8.000
Arbustos = 0.074					
Senecio (70%) = 0.052					
Follaje (68%) = 0.035	0.035	0.9	0.032	74.710	2.353
Madera (32%) = 0.017	0.017	0.3	0.005	46.620	0.238
Lupinus (20%) = 0.008	0.022	0.7	0.015	74.070	1.141
Zacates	4.298	0.9	3.653	14.160	51.731
Hojarasca de pino	0.369	1.0	0.369	51.390	18.963
Leñas					
1 h	0.107	0.9	0.096	46.620	4.490
10 h	0.214	0.5	0.107	46.620	4.988
100 h	1.750	0.3	0.438	46.620	20.396
1000 h	3.085	0.2	0.463	46.620	21.573
Suma Kg/ha					134.901

Emisiones de NO coordenadas 108 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	1.550	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
Arbustos = 0.142					
Senecio (90%) = 0.128					
Follaje (44%) = 0.056	0.056	0.9	0.050	1.370	0.069
Madera (56%) = 0.072	0.072	0.3	0.022	0.730	0.016
Lupinus (10%) = 0.014	0.014	0.7	0.010	1.750	0.017
Zacates	7.515	0.9	6.388	0.340	2.172
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	1.550	0.000
Leñas					
1 h	0.077	0.9	0.069	0.730	0.051
10 h	0.748	0.5	0.374	0.730	0.273
100 h	1.167	0.3	0.292	0.730	0.213
1000 h	12.343	0.2	1.851	0.730	1.352
Suma Kg/ha					4.162

Emisiones de NO_x coordenadas 108 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	2.830	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
Arbustos = 0.142					
Senecio (90%) = 0.128					
Follaje (44%) = 0.056	0.056	0.9	0.050	7.060	0.356
Madera (56%) = 0.072	0.072	0.3	0.022	1.730	0.037
Lupinus (10%) = 0.014	0.014	0.7	0.010	3.620	0.035
Zacates	7.515	0.9	6.388	0.800	5.110
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	2.830	0.000
Leñas					
1 h	0.077	0.9	0.069	1.730	0.120
10 h	0.748	0.5	0.374	1.730	0.647
100 h	1.167	0.3	0.292	1.730	0.505
1000 h	12.343	0.2	1.851	1.730	3.203
Suma Kg/ha					10.014

Emisiones de SO₂ coordenadas 108 - 24

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.020	1.0	0.020	0.580	0.012
Madera	0.572	0.3	0.172	0.140	0.024
Arbustos = 0.074					
Senecio (70%) = 0.052					
Follaje (68%) = 0.035	0.035	0.9	0.032	1.980	0.062
Madera (32%) = 0.017	0.017	0.3	0.005	0.140	0.001
Lupinus (20%) = 0.008	0.022	0.7	0.015	0.490	0.008
Zacates	4.298	0.9	3.653	0.460	1.681
Hojarasca de pino	0.369	1.0	0.369	0.580	0.214
Leñas					
1 h	0.107	0.9	0.096	0.140	0.013
10 h	0.214	0.5	0.107	0.140	0.015
100 h	1.750	0.3	0.438	0.140	0.061
1000 h	3.085	0.2	0.463	0.140	0.065
Suma Kg/ha					2.155

Emisiones de NO_x coordenadas 108 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	0.550	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
Arbustos = 0.142					
Senecio (90%) = 0.128					
Follaje (44%) = 0.056	0.056	0.9	0.050	0.620	0.031
Madera (56%) = 0.072	0.072	0.3	0.022	1.000	0.022
Lupinus (10%) = 0.014	0.014	0.7	0.010	0.590	0.006
Zacates	7.515	0.9	6.388	0.250	1.597
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.550	0.000
Leñas					
1 h	0.077	0.9	0.069	1.000	0.069
10 h	0.748	0.5	0.374	1.000	0.374
100 h	1.167	0.3	0.292	1.000	0.292
1000 h	12.343	0.2	1.851	1.000	1.851
Suma Kg/ha					4.242

Emisiones de CO coordenadas 108 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	51.390	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
Arbustos = 0.142					
Senecio (90%) = 0.128					
Follaje (44%) = 0.056	0.056	0.9	0.050	74.710	3.765
Madera (56%) = 0.072	0.072	0.3	0.022	46.620	1.007
Lupinus (10%) = 0.014	0.014	0.7	0.010	74.070	0.726
Zacates	7.515	0.9	6.388	14.160	90.451
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	51.390	0.000
Leñas					
1 h	0.077	0.9	0.069	46.620	3.231
10 h	0.748	0.5	0.374	46.620	17.436
100 h	1.167	0.3	0.292	46.620	13.601
1000 h	12.343	0.2	1.851	46.620	86.315
Suma Kg/ha					216.531

Emisiones de SO₂ coordenadas 108 - 25

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	0.580	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
Arbustos = 0.142					
Senecio (90%) = 0.128					
Follaje (44%) = 0.056	0.056	0.9	0.050	1.980	0.100
Madera (56%) = 0.072	0.072	0.3	0.022	0.140	0.003
Lupinus (10%) = 0.014	0.014	0.7	0.010	0.490	0.005
Zacates	7.515	0.9	6.388	0.460	2.938
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.580	0.000
Leñas					
1 h	0.077	0.9	0.069	0.140	0.010
10 h	0.748	0.5	0.374	0.140	0.052
100 h	1.167	0.3	0.292	0.140	0.041
1000 h	12.343	0.2	1.851	0.140	0.259
Suma Kg/ha					3.408

Emisiones de NO_x coordenadas 109 - 27

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	0.550	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
Arbustos = 1.470					
Senecio (90%) = 1.323					
Follaje (29%) = 0.384	0.384	0.9	0.346	0.620	0.214
Madera (71%) = 0.939	0.939	0.3	0.282	1.000	0.282
Lupinus (10%) = 0.147	0.147	0.7	0.103	0.590	0.061
Zacates	11.606	0.9	9.865	0.250	2.466
Hojarasca de pino	0.184	1.0	0.184	0.550	0.101
Leñas					
1 h	0.634	0.9	0.571	1.000	0.571
10 h	0.103	0.5	0.052	1.000	0.052
100 h	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
1000 h	3.152	0.2	0.473	1.000	0.473
Suma Kg/ha					4.219

Emisiones de NO_x coordenadas 109 - 27

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	1.550	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
Arbustos = 1.470					
Senecio (90%) = 1.323					
Follaje (29%) = 0.384	0.384	0.9	0.346	1.370	0.473
Madera (71%) = 0.939	0.939	0.3	0.282	0.730	0.206
Lupinus (10%) = 0.147	0.147	0.7	0.103	1.750	0.180
Zacates	11.606	0.9	9.865	0.340	3.354
Hojarasca de pino	0.184	1.0	0.184	1.550	0.285
Leñas					
1 h	0.634	0.9	0.571	0.730	0.417
10 h	0.103	0.5	0.052	0.730	0.038
100 h	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
1000 h	3.152	0.2	0.473	0.730	0.345
Suma Kg/ha					5.298

Emisiones de SO₂ coordenadas 109 - 27

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	0.580	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
Arbustos = 1.470					
Senecio (90%) = 1.323					
Follaje (29%) = 0.384	0.384	0.9	0.346	1.980	0.684
Madera (71%) = 0.939	0.939	0.3	0.282	0.140	0.039
Lupinus (10%) = 0.147	0.147	0.7	0.103	0.490	0.050
Zacates	11.606	0.9	9.865	0.460	4.538
Hojarasca de pino	0.184	1.0	0.184	0.580	0.107
Leñas					
1 h	0.634	0.9	0.571	0.140	0.080
10 h	0.103	0.5	0.052	0.140	0.007
100 h	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
1000 h	3.152	0.2	0.473	0.140	0.066
Suma Kg/ha					5.572

Emisiones de NO_x coordenadas 113 - 18 - C-7

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.099	1.0	0.099	0.550	0.054
Madera	1.363	0.3	0.409	1.000	0.409
Arbustos = 0.013					
Senecio (50%) = 0.007					
Follaje (46%) = 0.003	0.003	0.9	0.003	0.620	0.002
Madera (54%) = 0.004	0.004	0.3	0.001	1.000	0.001
Lupinus (50%) = 0.006	0.006	0.7	0.004	0.590	0.002
Zacates	4.504	0.9	3.828	0.250	0.957
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.550	0.000
Leñas					
1 h	0.150	0.9	0.135	1.000	0.135
10 h	0.838	0.5	0.419	1.000	0.419
100 h	0.000	0.3	0.000	1.000	0.000
1000 h	5.485	0.2	0.823	1.000	0.823
Suma Kg/ha					2.803

Emisiones de NO_x coordenadas 109 - 27

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	2.830	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
Arbustos = 1.470					
Senecio (90%) = 1.323					
Follaje (29%) = 0.384	0.384	0.9	0.346	7.060	2.440
Madera (71%) = 0.939	0.939	0.3	0.282	1.730	0.487
Lupinus (10%) = 0.147	0.147	0.7	0.103	3.620	0.372
Zacates	11.606	0.9	9.865	0.800	7.892
Hojarasca de pino	0.184	1.0	0.184	2.830	0.521
Leñas					
1 h	0.634	0.9	0.571	1.730	0.987
10 h	0.103	0.5	0.052	1.730	0.089
100 h	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
1000 h	3.152	0.2	0.473	1.730	0.818
Suma Kg/ha					13.607

Emisiones de CO coordenadas 109 - 27

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.000	1.0	0.000	51.390	0.000
Madera	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
Arbustos = 1.470					
Senecio (90%) = 1.323					
Follaje (29%) = 0.384	0.384	0.9	0.346	74.710	25.820
Madera (71%) = 0.939	0.939	0.3	0.282	46.620	13.133
Lupinus (10%) = 0.147	0.147	0.7	0.103	74.070	7.622
Zacates	11.606	0.9	9.865	14.160	139.690
Hojarasca de pino	0.184	1.0	0.184	51.390	9.456
Leñas					
1 h	0.634	0.9	0.571	46.620	26.601
10 h	0.103	0.5	0.052	46.620	2.401
100 h	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
1000 h	3.152	0.2	0.473	46.620	22.042
Suma Kg/ha					246.764

Emisiones de NO_x coordenadas 113 - 18 - C-7

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.099	1.0	0.099	1.550	0.153
Madera	1.363	0.3	0.409	0.730	0.298
Arbustos = 0.013					
Senecio (50%) = 0.007					
Follaje (46%) = 0.003	0.003	0.9	0.003	1.370	0.004
Madera (54%) = 0.004	0.004	0.3	0.001	0.730	0.001
Lupinus (50%) = 0.006	0.006	0.7	0.004	1.750	0.007
Zacates	4.504	0.9	3.828	0.340	1.302
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	1.550	0.000
Leñas					
1 h	0.150	0.9	0.135	0.730	0.099
10 h	0.838	0.5	0.419	0.730	0.306
100 h	0.000	0.3	0.000	0.730	0.000
1000 h	5.485	0.2	0.823	0.730	0.601
Suma Kg/ha					2.771

Emisiones de NO_x coordenadas 113 - 18 - C-7

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.099	1.0	0.099	2.830	0.280
Madera	1.363	0.3	0.409	1.730	0.707
Arbustos = 0.013					
Senecio (50%) = 0.007					
Follaje (46%) = 0.003	0.003	0.9	0.003	7.060	0.019
Madera (54%) = 0.004	0.004	0.3	0.001	1.730	0.002
Lupinus (50%) = 0.006	0.006	0.7	0.004	3.620	0.015
Zacates	4.504	0.9	3.828	0.800	3.063
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	2.830	0.000
Leñas					
1 h	0.150	0.9	0.135	1.730	0.234
10 h	0.838	0.5	0.419	1.730	0.725
100 h	0.000	0.3	0.000	1.730	0.000
1000 h	5.485	0.2	0.823	1.730	1.423
Suma Kg/ha					6.468

Emisiones de CO coordinadas 113 - 18 - C-7

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.099	1.0	0.099	51.390	5.088
Madera	1.363	0.3	0.409	46.620	19.063
Arbustos = 0.013					
Senecio (50%) = 0.007					
Follaje (46%) = 0.003	0.003	0.9	0.003	74.710	0.202
Madera (54%) = 0.004	0.004	0.3	0.001	46.620	0.056
Lupinus (50%) = 0.006	0.006	0.7	0.004	74.070	0.311
Zacates	4.504	0.9	3.828	14.160	54.210
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	51.390	0.000
Leñas					
1 h	0.150	0.9	0.135	46.620	6.294
10 h	0.838	0.5	0.419	46.620	19.534
100 h	0.000	0.3	0.000	46.620	0.000
1000 h	5.485	0.2	0.823	46.620	38.357
Suma Kg/ha					143.114

Emisiones de SO₂ coordinadas 113 - 18 - C-7

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.099	1.0	0.099	0.580	0.057
Madera	1.363	0.3	0.409	0.140	0.057
Arbustos = 0.013					
Senecio (50%) = 0.007					
Follaje (46%) = 0.003	0.003	0.9	0.003	1.980	0.005
Madera (54%) = 0.004	0.004	0.3	0.001	0.140	0.000
Lupinus (50%) = 0.006	0.006	0.7	0.004	0.490	0.002
Zacates	4.504	0.9	3.828	0.460	1.761
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.580	0.000
Leñas					
1 h	0.150	0.9	0.135	0.140	0.019
10 h	0.838	0.5	0.419	0.140	0.059
100 h	0.000	0.3	0.000	0.140	0.000
1000 h	5.485	0.2	0.823	0.140	0.115
Suma Kg/ha					2.076

Emisiones de NO_x coordinadas 113 - 18 - C-8

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.027	1.0	0.027	2.830	0.076
Madera	0.464	0.3	0.139	1.730	0.241
Arbustos = 1.206					
Senecio (30%) = 0.362					
Follaje (46%) = 0.167	0.003	0.9	0.003	7.060	0.019
Madera (54%) = 0.195	0.004	0.3	0.001	1.730	0.002
Lupinus (70%) = 0.844	0.006	0.7	0.004	3.620	0.015
Zacates	6.297	0.9	5.352	0.800	4.282
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	2.830	0.000
Leñas					
1 h	0.516	0.9	0.464	1.730	0.803
10 h	3.389	0.5	1.695	1.730	2.931
100 h	3.926	0.3	0.982	1.730	1.698
1000 h	7.973	0.2	1.196	1.730	2.069
Suma Kg/ha					12.137

Emisiones de CO coordinadas 113 - 18 - C-8

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.027	1.0	0.027	51.390	1.388
Madera	0.464	0.3	0.139	46.620	6.490
Arbustos = 1.206					
Senecio (30%) = 0.362					
Follaje (46%) = 0.167	0.003	0.9	0.003	74.710	0.202
Madera (54%) = 0.195	0.004	0.3	0.001	46.620	0.056
Lupinus (70%) = 0.844	0.006	0.7	0.004	74.070	0.311
Zacates	6.297	0.9	5.352	14.160	75.791
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	51.390	0.000
Leñas					
1 h	0.516	0.9	0.464	46.620	21.650
10 h	3.389	0.5	1.695	46.620	78.998
100 h	3.926	0.3	0.982	46.620	45.758
1000 h	7.973	0.2	1.196	46.620	55.755
Suma Kg/ha					286.397

Emisiones de NO₂ coordinadas 113 - 18 - C-8

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.027	1.0	0.027	0.550	0.015
Madera	0.464	0.3	0.139	1.000	0.139
Arbustos = 1.206					
Senecio (30%) = 0.362					
Follaje (46%) = 0.167	0.003	0.9	0.003	0.620	0.002
Madera (54%) = 0.195	0.004	0.3	0.001	1.000	0.001
Lupinus (70%) = 0.844	0.006	0.7	0.004	0.590	0.002
Zacates	6.297	0.9	5.352	0.250	1.338
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.550	0.000
Leñas					
1 h	0.516	0.9	0.464	1.000	0.464
10 h	3.389	0.5	1.695	1.000	1.695
100 h	3.926	0.3	0.982	1.000	0.982
1000 h	7.973	0.2	1.196	1.000	1.196
Suma Kg/ha					5.834

Emisiones de NO coordinadas 113 - 18 - C-8

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.027	1.0	0.027	1.550	0.042
Madera	0.464	0.3	0.139	0.730	0.102
Arbustos = 1.206					
Senecio (30%) = 0.362					
Follaje (46%) = 0.167	0.003	0.9	0.003	1.370	0.004
Madera (54%) = 0.195	0.004	0.3	0.001	0.730	0.001
Lupinus (70%) = 0.844	0.006	0.7	0.004	1.750	0.007
Zacates	6.297	0.9	5.352	0.340	1.820
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	1.550	0.000
Leñas					
1 h	0.516	0.9	0.464	0.730	0.339
10 h	3.389	0.5	1.695	0.730	1.237
100 h	3.926	0.3	0.982	0.730	0.716
1000 h	7.973	0.2	1.196	0.730	0.873
Suma Kg/ha					5.141

Emisiones de SO₂ coordinadas 113 - 18 - C-8

Combustible	Carga del combustible ton/ha	Factor de Combustión	Carga Consumida ton/ha	Factor de Emisión	Emisión kg/ha
Renuevo Pino					
Follaje	0.027	1.0	0.027	0.580	0.016
Madera	0.464	0.3	0.139	0.140	0.019
Arbustos = 1.206					
Senecio (30%) = 0.362					
Follaje (46%) = 0.167	0.003	0.9	0.003	1.980	0.005
Madera (54%) = 0.195	0.004	0.3	0.001	0.140	0.000
Lupinus (70%) = 0.844	0.006	0.7	0.004	0.490	0.002
Zacates	6.297	0.9	5.352	0.460	2.462
Hojarasca de pino	0.000	1.0	0.000	0.580	0.000
Leñas					
1 h	0.516	0.9	0.464	0.140	0.065
10 h	3.389	0.5	1.695	0.140	0.237
100 h	3.926	0.3	0.982	0.140	0.137
1000 h	7.973	0.2	1.196	0.140	0.167
Suma Kg/ha					3.112

Anexo 5. Graficas de las emisiones de los contaminantes para los diferentes contaminantes y los 5 combustibles.

En el título de cada gráfica se escribió una notación, que a continuación se describe: en primer lugar tenemos el tipo de combustible que se está representado, el número No. 0.10, es el peso de la muestra en gramos y R es el número de la repetición que se esta representando.

