

Evaluación de las plumas de humo de los incendios forestales de 1998 en México y la utilidad de las imágenes NOAA-AVHRR

Evaluation of forest fires' smoke plumes in 1998 in Mexico and usefulness of NOAA-AVHRR images

María Inés ORTIZ ÁLVAREZ, Rosalía VIDAL ZEPEDA,
Gabriela GÓMEZ RODRÍGUEZ y Román ÁLVAREZ BÉJAR

Recibido: 10 de enero de 2003

Aceptado: 14 de mayo de 2003

RESUMEN

Los incendios de vegetación ocurren en México principalmente en los meses de enero a abril. En 1998, la sequía prolongada provocó que éstos adquirieran características catastróficas. El empleo de técnicas digitales y teledetección, coadyuvan en la evaluación de población afectada por plumas de humo en el centro de México.

ABSTRACT

Forests fires occur in Mexico mainly from January to April. In 1998, an extended drought produced catastrophic fires. In this paper digital techniques and teledetection methods combined with a SIG were used to help evaluate the population areas affected by smoke plumes in Central Mexico.

SUMARIO 1. Introducción. 2. Antecedentes. 3. Metodología y datos. 4. Incendios de los días 6, 8 y 9 de abril de 1998. 5. Resultados y conclusiones. 6. Referencias bibliográficas.

* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. mioa@servidor.unam.mx

1. Introducción

Las conflagraciones indican la poca factibilidad de conseguir un desarrollo sustentable, por los daños que infringen a las superficies forestales y de pastizales, así como a la calidad de vida de la población afectada, al encontrarse inmersa en humo y otros contaminantes. Sin embargo la población dedicada principalmente a las actividades agropecuarias, sostiene que los incendios son más benéficos que dañinos, ya que en gran parte de las veces benefician a la vegetación y mejoran los cultivos.

Por su duración, la complejidad topográfica de los espacios territoriales, las dimensiones y el número de personas afectadas en estos siniestros resultan un peligro inminente ya que muchos de estos se originan en regiones de alta concentración de población o bien en áreas de fuerte dispersión de ésta por lo que deben estudiarse precisamente en esos entornos.

En el proceso de la combustión, son necesarias condiciones específicas en las diversas etapas que lo conforman entre ellas figuran, el precalentamiento, la combustión de gases, combustión de carbón, siendo las dos últimas donde las manifestaciones de humo son evidentes por la presencia de gases no quemados, anhídrido carbónico y agua, (De Bano, 1998).

En más de 50 años no se habían presentado en México condiciones climáticas tan propicias para los incendios, como las que se acentuaron a partir de febrero de 1998. En los últimos años el Huracán Paulina que causó grandes estragos principalmente en el sur del país en octubre de 1997, dejó a su paso gran cantidad de material combustible por el derrumbe de árboles y otros tipos de vegetación; más tarde en enero de 1998, debido a las bajas temperaturas registradas por el invierno la vegetación fue quemada por el intenso frío; en febrero de 1998 aumento de la temperatura y vientos fuertes, en marzo persistieron las condiciones antes mencionadas. Así, el atraso de las lluvias, la sequía prolongada, acrecentada por el fenómeno meteorológico de El Niño, ha provocado que los incendios adquieran características catastróficas sobre todo durante el período de marzo a abril.

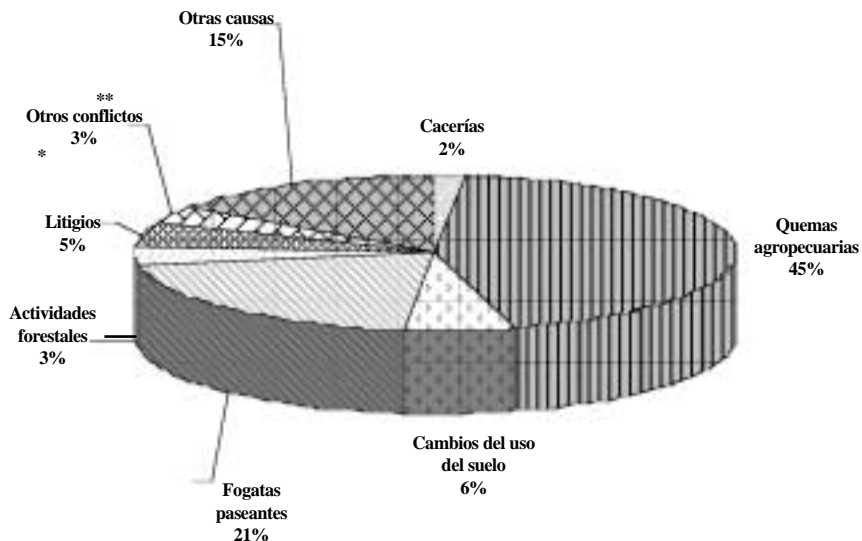
En este trabajo se presentan algunos ejemplos de los 173 incendios detectados a través de sus plumas de humo que fueron registrados entre el 6 y 9 de abril en varios estados y en el Distrito Federal. Se calificaron 21 como relevantes, 107 de efectos menores a punto de extinción y el resto ya controlados. Se afectaron más de 2 900 ha de bosques y pastizales según datos de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP: 1998).

2. Antecedentes

En México, en el período de 1980 a 1997, han ocurrido en promedio anualmente 6 837 incendios forestales, que han afectado una superficie de 223 114 ha, en más del 80% han sido arbustos y matorrales. Los años con más incendios habían sido 1988 con 10 492 y 1993 con 10 251, sin embargo entre enero y junio de 1998 ya han ocurrido en el territorio nacional 13 439 conflagraciones, afectando una superficie de 486 710 ha, según los registros de la SEMARNAP, publicados por Sosa Cedillo (1998:1-2). Sin embargo a pesar de estas cifras tan alarmantes,

México tiene menos incendios en promedio por año que Estados Unidos de América, Canadá, España e Italia.

Como sucede en otros lugares del mundo (Barbero, *et al.*, 1990), el 90% de los incendios en México son de origen rastrero es decir que producen poco daño y son ocasionados en su mayoría por el hombre ya que básicamente son quemas agropecuarias (47,1%) y fogatas de paseantes (19,8%), por lo que la temporada de incendios es coincidente con la época de estiaje, básicamente de enero a mayo. Gráfica 1.



* Represalias, incendiarios, intereses. ** Cultivos ilícitos, quema de basureros, de derechos de vía, tala clandestina.

Gráfica 1. Principales causas de los incendios forestales en México (enero-mayo de 1998).

Recientemente se publicó en el Instituto de Geografía el mapa de *Incendios en México con base en Imágenes AVHRR, para el periodo de enero al 15 de junio de 1998* (Palacios *et al.*, 1999:7-14) que denota los numerosos incendios de este período.

3. Metodología y datos

Se emplearon dos fuentes de información: 1) de satélites, se revisaron tres imágenes AVHRR para la detección de los incendios y sus plumas de humo, así como las del GOES 8/9 para evaluar los sistemas de tiempo dominantes en los días 6, 7, y 8 de abril, las primeras muestras algunos siniestros de primavera, en la porción central del país; las imágenes se recibieron en esas fechas en el Laboratorio de Observación de la Tierra del Instituto de Geografía de la

UNAM. Los datos de las imágenes permiten tener una visión de conjunto, de la distribución espacial, y de algunas de las fases de los incendios, tales como, el origen y las emisiones de nubes de humo visible, que son el símbolo universal del fuego (Vietma, O. y Chuvieco, E. 1993, Chuvieco, E.: 1995 y De Bano, *et. al.*, 1998).

Los puntos de los incendios, las trayectorias y alcance de las plumas de humo, se obtienen mediante las combinaciones de las bandas del AVHRR; el análisis del canal 3 que representa el infrarrojo medio, sin embargo algunos de los valores se pueden confundir con áreas de alta radiación solar, por lo que también se emplearon los canales 4 y 5, ambos del infrarrojo térmico. La diferencia entre los canales 3 y 4 resalta las áreas con mayor contraste de temperatura y el canal 5 se utiliza para realizar una máscara de nubes y permite identificar adecuadamente las plumas de humo.

En las imágenes meteorológicas se observan sistemas de alta presión que mantuvieron cielos despejados y secos, que permitieron la afluencia de aire marítimo tropical del Océano Pacífico hacia el interior del país. 2) Estadísticas demográficas obtenidas a partir de un SIG de población con datos del Censo de 1995¹, que fueron empleadas para identificar los espacios político administrativos y obtener la cantidad de personas potencialmente afectadas por humo y fuego. Mapas 1, 2, 3.

4. Incendios de los días 6, 8 y 9 de abril de 1998

En la imagen del día 6 de abril se observa claramente un incendio relevante en Puebla-Veracruz, que prácticamente se inicia en el municipio de Zoquitlán en el Estado de Puebla, la pluma de humo atraviesa con dirección noreste hacia el estado de Veracruz, la corriente de chorro subtropical, que sopla en altura coadyuva con la entrada de aire desde el Pacífico, afectando 26 municipios, la población que se vio involucrada en el evento fue aproximadamente de 568343 personas, en 1990 localidades. Fig. 1. Mapa 1.



Figura 1.

¹ Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1996. *Censo 95 de Población y Vivienda*. México.

Dos días más tarde, el 8 de abril la imagen refleja que el incendio antes mencionado ha alcanzado mayores dimensiones, la pluma de humo involucra al estado de Oaxaca en el extremo norte en las estribaciones de la Sierra de Zongolica, y ha tomado una dirección norte hacia la Barra de Nautla en el Estado de Veracruz, llegando las humaredas hasta el Golfo de México, pues continúa la entrada de aire marítimo del SW. Son ahora 41 municipios, en Veracruz y los mismos 2 municipios de Puebla y uno más en Oaxaca, la población afectada es de 1 300 539 personas en 3 130 localidades, incluyendo la zona conurbada de la Ciudad de Orizaba. Fig. 2 Mapa 1.

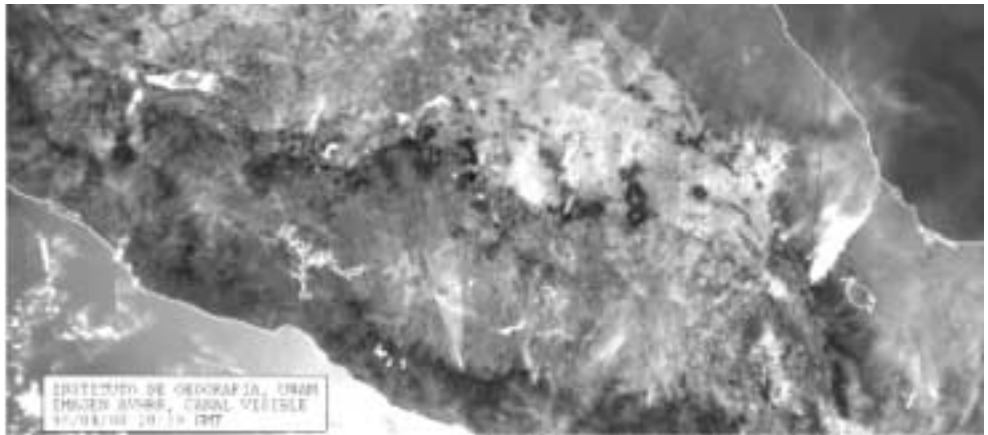
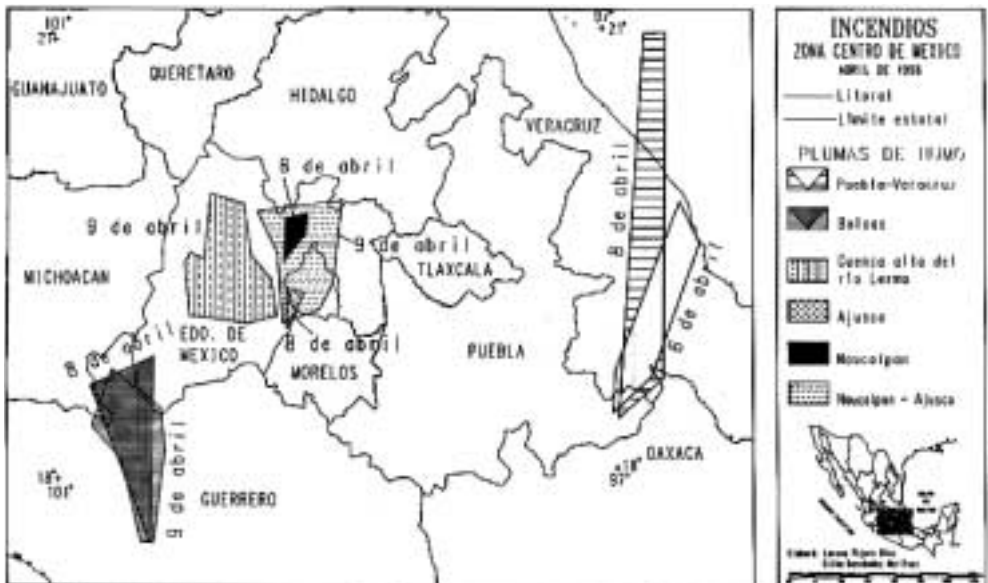
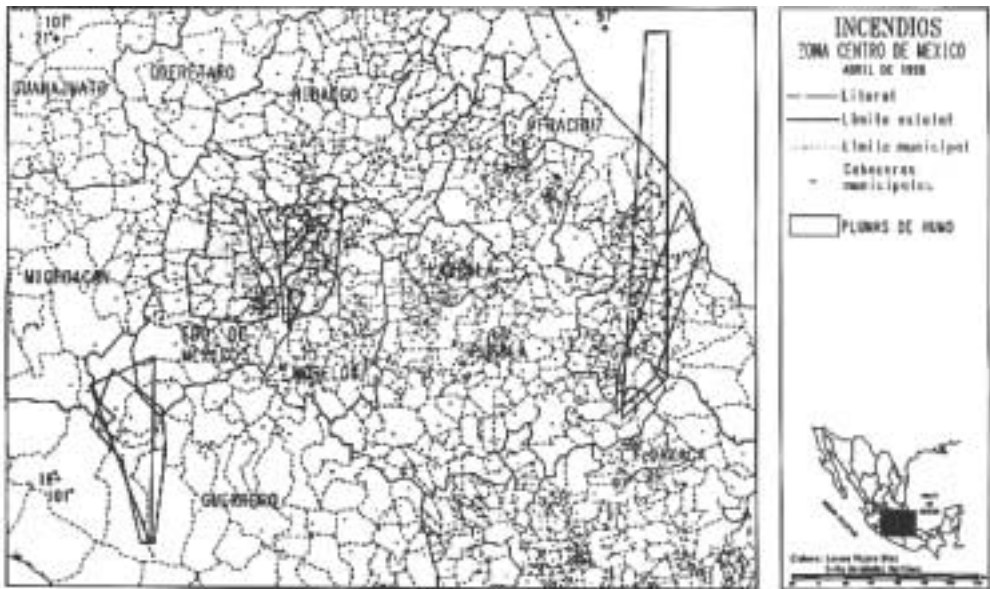


Figura 2.



Mapa 1.



Mapa 2.

En la Cuenca del Valle de México, al norte del Distrito Federal, se advierte otro incendio, el humo abarca desde los límites de los municipios de Jilotzingo con Naucalpan, llegando las plumas de humo hasta el de Zumpango, en el Estado de México, en este incendio se ve afectada un área que corresponde a 12 municipios conurbados de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con una población de 2 590 837 asentada en 327 localidades.

Un tercer incendio relevante se presenta en la Cuenca Media del Río Balsas, se inicia en los límites de los municipios de Ajuchitlán del Progreso y San Miguel Totolapan, Guerrero. El área afectada abarca 8 municipios del noroeste estado de Guerrero, 3 del sureste del Estado de México y uno más del noreste de Michoacán. La población afectada suma 401 747, ubicada en 1965 localidades.

En esta misma imagen (Fig. 2) se advierten numerosos incendios siendo los más perceptibles los que se encuentran en las estribaciones de la Sierra del Ajusco en las inmediaciones del municipio de Ocuilán en el Estado de México, que se continúa hacia la reserva ecológica y los parques nacionales correspondientes a los Dinamos 3^o y 4^o y hacia El Desierto de los Leones en las delegaciones de Contreras y Alvaro Obregón, la humareda llegó hasta Cuajimalpa, en los límites del Distrito Federal con el Estado de México y hacia el municipio de Huitzilac en el estado de Morelos; la superficie afectada fue de 400 ha entre pastizales y arbustos, en los cerros de San Miguel, del Caballote, El Pantano, del Hongo, Cruz de Coloxtitla y Las Ventanas. En este evento se ven involucrados cuatro municipios del estado de México y cuatro delegaciones del Distrito Federal, con 1 713 506 habitantes y 306 localidades.

Por la presencia del humo además de otros contaminantes, una capa gris cubre la atmósfera de la Ciudad de México y alcanzan en el NW 224 puntos de ozono a las 14 horas. Además la situación se agrava por los efectos de una inversión térmica en altura, con un espesor de 200m, la cual se disipó a las 10.30 am., a una temperatura de 21.5 °C. La presencia de estas humaredas sobre gran parte del Distrito Federal se incrementan principalmente por la entrada de aire marítimo tropical proveniente del Pacífico, hacia el centro del país debido al efecto de monzón.

Estos incendios fueron provocados intencionalmente, la dificultad para controlarlos se debió a los fuertes vientos de 30 a 70 km/h que soplaron en el Valle de México. Se debe anotar que hubo pérdida de vidas humanas en los trabajos para combatir esta conflagración.

En la imagen del 9 de abril destacan los incendios de Naucalpan y del Ajusco también registrados en la imagen del día anterior, en este día actúan en forma conjunta sobre el Valle de México, de tal manera que las plumas de humo afectaron 37 municipios del Estado de México, 15 delegaciones del Distrito Federal, tres municipios del Estado de Hidalgo y el municipio de Huitzilac del estado de Morelos donde se inicia prácticamente el incendio del Ajusco. La población afectada fue de 15 935 796 personas, distribuidas en 676 localidades (Fig. 3) (Mapa 3).

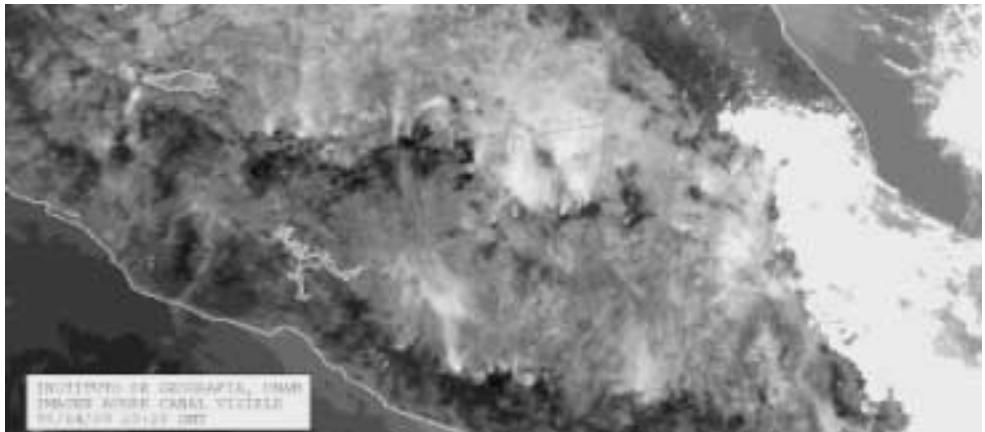
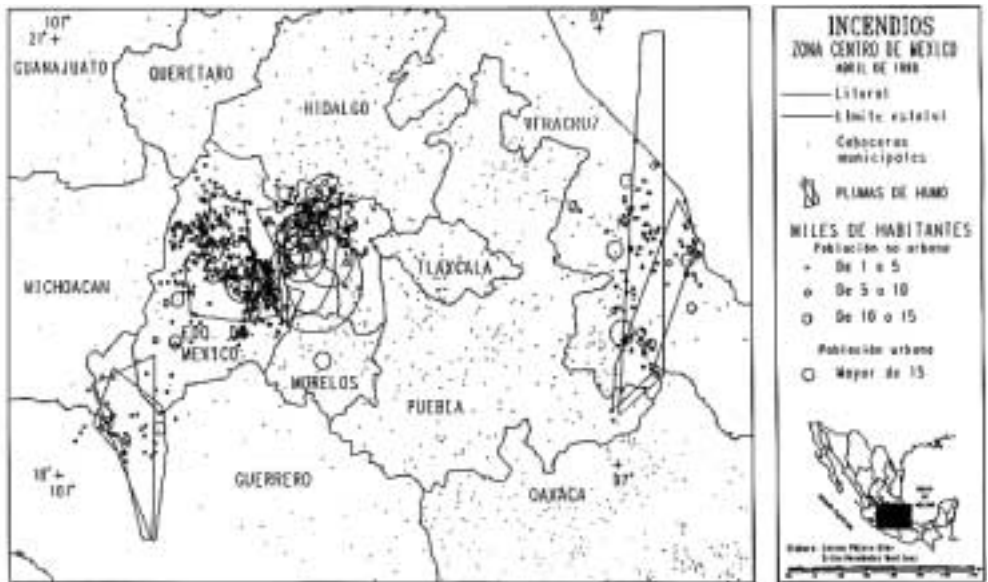


Figura 3.

El incendio de la Cuenca del Balsas se mantuvo activo en este día y afectó el mismo espacio geográfico.

En la región que comprende la Cuenca Alta del Río Lerma en el Estado de México, se observa con mayor nitidez los incendios del día anterior, donde el humo afectó 41 municipios, con una población de 4 101 747 habitantes, distribuida en 1965 localidades, en su mayoría rurales y la zona metropolitana de Toluca.

Cabe destacar que persiste el incendio Puebla-Veracruz, pero la presencia de nubes impide verlo con claridad en la imagen; la nubosidad es originada por un frente frío (N^o 59), cuya masa polar favoreció que soplara norte la porción del Golfo de México.



Mapa 2.

5. Resultados y conclusiones

Los datos del SIG permiten obtener la información estadística que se presenta en los siguientes cuadros:

Cuadro 1: La población afectada por plumas de humo en el período de análisis, en donde se advierte el total de habitantes, los asentamientos humanos, el número de municipios por entidades, su área en km², así como la cantidad de viviendas afectadas en el período evaluado. En esta muestra destacan por la población involucrada y el número de asentamientos, en primer lugar el Estado de México y luego el Distrito Federal (D.F.) y en tercer lugar Veracruz, con más de un millón de personas afectadas, además de Guerrero por la cantidad de asentamientos, en este último aspecto sobrepasan de mil. Por la extensión afectada sobresalen los estados de México y Veracruz, así como las entidades del Distrito Federal y el Estado de México por el número de viviendas.

En el Cuadro 2, aparecen los datos anteriores en forma diaria para cada una de las conflagraciones.

También es posible identificar algunas de las características importantes de la población que fue afectada, distinguiendo en números absolutos y relativos su categoría rural, mixta y urbana en forma global y por entidad federativa. Así en la muestra que se pre-

Cuadro 1: Población afectada por plumas de humo de los incendios seleccionados en las imágenes de los días 6, 8 y 9 de abril de 1998

Fecha	Entidades	Municipios		Población		Asentamientos		Área (km²)		Viviendas	
		Por entidad	Por día	Por entidad	Por día	Por entidad	Por día	Por entidad	Por día	Por entidad	Por día
6A	PUEBLA VERACRUZ	2	28	27.158	568.343	93	1.990	421.0	6.257,8	4.850	120.154
		26		54.1185		1.897		5.836,8		115.304	
8A	OAXACA PUEBLA VERACRUZ	1		14.547		37		149.3		3.010	
		2	44	27.158	1.300.539	93	3.130	421.0	9.551,7	4.850	286.565
		41		1.258.834		3.000		8.981,4		278.705	
8B	MÉXICO	12	12	2.590.837	2.590.837	327	327	1.450.9	1.450.9	569.709	569.709
8C	GUERRERO MÉXICO MICHOCÁN	8		236.465		1.155		8.998,6		45.267	
		3	12	146.874	401.747	735	1.965	2.161,2	11.935,8	27.163	76.660
		1		18.408		75		776,0		4.230	
8D	D. FEDERAL MÉXICO	4	8	135.289	1.713.506	134	306	538,5	905,7	364.984	390.242
		4		1.578.217		172		367,2		25.258	
9A	D. FEDERAL HIDALGO MÉXICO MORELOS	15		8.124.609		498		1.452,3		1.915.803	
		3	56	111.304	15.935.796	95	1.676	606,5	6.535,4	23.575	3.598.659
		37		7.686.294		1.025		4.342,5		1.656.334	
		1		13.589		58		134,4		2.974	
9B	MÉXICO GUERRERO	41	41	2.362.765	2.362.765	1.826	1.826	8.813,6	8.813,6	449.928	449.928
		8		236.465		1.155		8.998,6		45.267	
9C	MÉXICO MICHOCÁN	3	12	146.874	401.747	735	1.965	2.161,2	11.935,8	27.163	76.660
		1		18.408		75		776,0		4.230	

6A: Zoquitlán, 8A: Zoquitlán, 8B: Nautcalpan, 8C: Balsas, 8D: Ajusco, 9A: Nautcalpan, Ajusco, 9B: Cuernavaca, Alta del Río Lerma. Datos de 1995.

Cuadro 2: Población rural, mixtay urbana en cada entidad, afectada por plumas de humo, abril de 1998

Entidad	Total 1995		Rural < 5,000			Mixta 5,000-15,000			Urbana > 15,000			
	Población	Asenta- mientos	Población	%	Asenta- mientos	Población	%	Asenta- mientos	Población	%	Asenta- mientos	%
D.F.	8.124.609	498	30.634	0.4	470	90.586	1.1	10	8.003.389	98.5	18	3.6
GUERRERO	236.465	1.155	176.760	74.8	1.150	21.160	8.9	3	38.545	16.3	2	0.2
HIDALGO	111.304	95	48.702	43.8	92	5.261	4.7	1	57.341	51.5	2	2.1
MEXICO	9.503.536	3.232	1.754.988	18.5	3.121	538.731	5.7	69	7.209.817	75.9	42	1.3
MICHOACÁN	18.408	75	18.408	100.0	75	0	0.0	0	0	0.0	0	0.0
MORELOS	13.589	58	13.589	100.0	58	0	0.0	0	0	0.0	0	0.0
OAXACA	14.547	37	7.070	48.6	36	7.477	51.4	0	0	0.0	0	0.0
PUEBLA	27.158	93	27.158	100.0	93	0	0.0	1	0	0.0	0	0.0
VERACRUZ	1.362.141	3.302	679.072	49.9	3.278	145.383	10.7	19	537.686	39.5	5	0.2
TOTAL	19.411.757	8.545	2.756.381	14.2	8.373	808.598	4.2	103	15.846.778	81.6	69	0.8

Datos de 1995.

senta, la población afectada fue de 19 411 757 habitantes, distribuida en 8 545 localidades; la población rural fue de 14.2% distribuida en el 98% de las localidades, mientras que la población urbana fue de 82%, agrupada en el 0.8% del total de los asentamientos. El aspecto de dispersión de la población rural dificulta su atención durante los siniestros, así como la distribución de nuevos focos y a que gran parte de esta población se dedica a actividades agrícolas extensivas donde se práctica el método de roza-tumba-quema, para preparar las áreas cultivables.

Finalmente el manejo conjunto de imágenes de satélite visibles e infrarrojas y sigs coadyuvan a la detección temprana, permiten una visión de conjunto para el seguimiento diario de las conflagraciones, además la información meteorológica obtenida en las imágenes GOES y las cartas del tiempo facilitan entender el comportamiento y la dirección más frecuente de las plumas de humo; los datos demográficos y cartográficos del sig proporcionan los elementos para evaluar la población expuesta a riesgo de fuego y humo en un momento determinado y para un incendio en particular. Así la detección de los incendios, permite descubrir, localizar y alertar, a quienes corresponda dar paso a las acciones pertinentes para la extinción del fuego, por lo que la ubicación y notificación oportuna coadyuvan, a evitar que las conflagraciones se extiendan y los daños económicos y ecológicos sean menores.

En la fase de una buena detección de los incendios es importante que el tiempo transcurrido entre el inicio y el descubrimiento del incendio sea mínimo, así como la información sobre las características y el espacio geográfico donde se propaga la conflagración.

Algunos de los sistemas de detección que se emplean en México son: detección terrestre fija, móvil, aérea y la emplea la teledetección tanto del incendio tanto en su fase inicial como en las posteriores a lo largo de éste, como son las manifestaciones de humo.

Se agradece la colaboración en el manejo y elaboración de la información cartográfica y estadística a Lorena Pájaro Díaz y Erika Martínez Hernández, así como a María Elena Cea Herrera por los datos de superficie y vivienda que se incluyen en el trabajo.

6. Referencias bibliográficas

ACUILERA RODRÍGUEZ, Manuel

- 1998 *Programa de Reforestación de Áreas Forestales Afectadas por Incendios 1998*. XXXIII Sesión Ordinaria del CONAF (Consejo Nacional Forestal), SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca), 3 de junio México, 7 pp.

ALONSO, M., A. CAMARASA, E. CHUVIECO, Y. KYUN, M. P. MARTÍN y F. J. SALAS

- 1995 *Estimating fuel moisture an fire danger from NOAA-AVHRR data*. En: Remote Sensing and G.I.S. Applications to forest fire management. E. Chuvieco De. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, pp. 123- 128.

CABRERA, Alma Luz, Gabriela GÓMEZ RODRÍGUEZ y Román ÁLVAREZ

- 1998 *Método empleado en Monitoreo de Incendios Forestales mediante el procesamiento de Imágenes AVHRR y Modelos Digitales del Terreno en la Zona Centro de la República*

Mexicana. IX Reunión Nacional SELPER-MÉXICO, 98, octubre, Ciudad de Zacatecas, México.

CHUVIECO, E.

1995 *Medición del Cambio Provocado por Incendios Forestales en la Estructura del Paisaje a partir de Imágenes de Satélite de alta y baja Resolución*. V Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica, Mendoza, Argentina, pp. 435-440.

DE BANO L., D. NEARY y P. Ffolliot

1998 *Fires Effects on Ecosystems*. Wiley J. P. U.K. 333 pp.

LOZANO GARCÍA, Fabián D., María del Consuelo HORI OCHOA y Vicente TAMEZ

1998 *Inventario de los Incendios ocurridos en la Sierra de Arteaga, Coahuila, N. L.* IX Reunión Nacional SELPER-MÉXICO, 98, octubre, Ciudad de Zacatecas, México.

MACÍAS MORALES, LYSSANIA, Laura Luna González y José Luis Palacio Prieto

1998 *Incendios Forestales en México, durante 1998, observados desde satélites*. IX Reunión Nacional SELPER-MÉXICO, 98, octubre, Ciudad de Zacatecas, México.

MARTÍN, M. P. y E. CHUVIECO

1995 «Cartografía y evaluación superficial de grandes incendios forestales a partir de imágenes de satélite». *Ecología*, vol., 9, pp. 9-21.

PALACIO-PRIETO, J. L. *et al.*

1999 «Detección de Incendios en México Utilizando Imágenes AVHRR (Temporada 1998)». *Investigaciones Geográficas*, 38. Boletín del Instituto de Geografía, de la UNAM, México, pp. 7-14.

SALAS, F. J. y CHUVIECO, E.

1994 «Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en la prevención de incendios forestales: un ensayo en el Macizo Oriental de la Sierra de Gredos». *Estudios Geográficos*, Vol. 40, pp., 683-710.

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

1996 «Incendios Forestales». *Fascículo*. Secretaría de Recursos Naturales y Pesca. Dirección General Forestal. (SEMARNAP). Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

SOSA CEDILLO, Víctor

1998 *Acciones contra incendios forestales de 1998*. XXXIII Sesión Ordinaria del CONAF (Consejo Nacional Forestal), SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca), 3 de junio México, 15 pp.

VIEDMA, O. y E. CHUVIECO

1993 *Cartografía y Evaluación de Daños causados por el Incendio Buñol (Valencia) con Imágenes TM*. En V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección, Las Palmas de Gran Canaria.