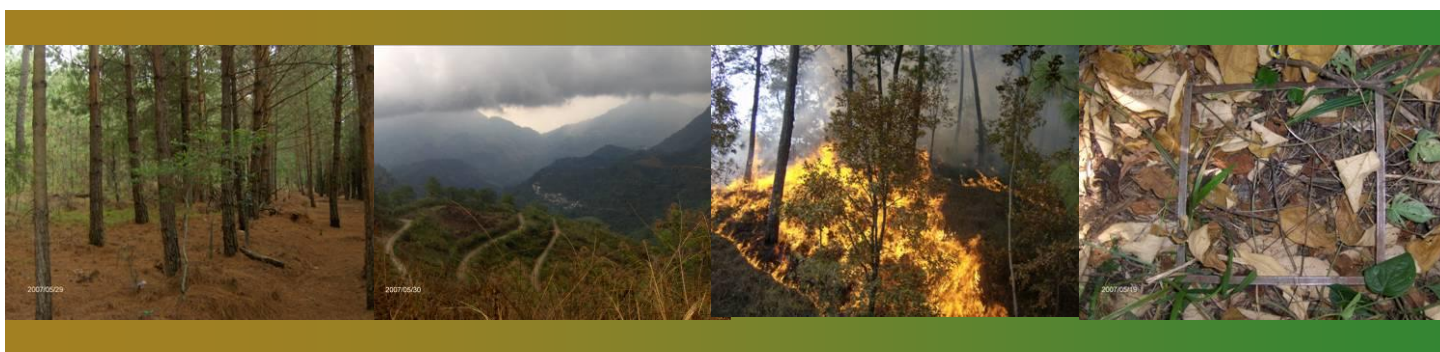


INFORME SEGUNDA ETAPA



**PLAN DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL
ESTADO DE CHIAPAS, BASADO EN LA UBICACIÓN DE ÁREAS DE
MAYOR RIESGO**

Septiembre 2007



**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

AUTORES

Dr. José Germán Flores Garnica
Coordinador

Biól. Miriam Meléndez Gómez
Biól. Ramón Gerardo Cabrera Orozco
Ing. Oscar Gerardo Rosas Aceves
Asesores Técnicos

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN EJECUTIVO.....	5
1. DATOS DEL PROYECTO.....	6
1.1. Título y clave del proyecto.....	6
1.2. Demandas del sector 2006.....	6
1.3. Demanda estratégica.....	6
1.4. Demanda específica.....	6
1.5. Área de interés.....	6
1.6. Organización ejecutora o beneficiario.....	6
1.7. Responsable técnico.....	7
1.8. Tipo de informe.....	7
1.9. Fechas del periodo que se reporta.....	7
2. OBJETIVOS DE LA SEGUNDA ETAPA.....	7
2.1. General.....	7
2.2. Particulares.....	7
3. INDICADORES DE EFECTIVIDAD DE LA SEGUNDA ETAPA.....	8
4. CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES.....	9
4.1. Preparación de los mapas digitales con información ambiental.....	9
4.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo.....	10
4.1.2. Definición de variables auxiliares prioritarias.....	13
4.1.3. Mapas digitales con información ambiental.....	22
4.2. Integración de la información.....	25
4.3. Procesamiento y modelaje de los combustibles forestales.....	27
4.3.1. Generación de árboles de clasificación y regresión.....	26
4.3.2. Selección y depuración de árboles de regresión.....	30
4.3.3. Aplicación de árboles de clasificación y regresión.....	34
4.4. Elaboración de mapas temáticos de combustibles del estado de Chiapas.....	40
4.4.1. Generación de superficies continuas de combustibles forestales.....	40

4.4.2. Realización de mapas por tipo de combustible forestal.....	44
4.5. Realización de mapas de riesgo e impacto potencial de incendios forestales.....	54
4.6. Análisis, procesamiento, integración y sistematización de la información generada.....	59
4.6.1. Riesgo de incendio.....	59
4.6.2. Impacto del fuego.....	63
4.7. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica de riesgo de incendios.....	66
4.7.1. Módulo de información auxiliar.....	67
4.7.2. Módulo de variables independientes.....	69
4.7.3. Módulo de combustibles.....	71
4.7.4. Módulo de Áreas de riesgo.....	72
4.7.5. Módulo de puntos de calor.....	73

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto “Plan de Protección contra incendios forestales en el Estado de Chiapas, basado en la ubicación de áreas de mayor riesgo” que se lleva a cabo bajo la convocatoria del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACyT 2006 presenta su segunda etapa.

En el reporte anterior se señalaba que en el estado de Chiapas, el fenómeno de los incendios forestales es frecuente, y que en comparación con las cifras nacionales, ha ocupado los primeros lugares en afectación durante la última década. De esta manera, se remarcó la urgente necesidad de establecer zonas de riesgo, por medio de la evaluación del combustible forestal que, aunado a la información ambiental de la entidad, sirva como base para crear un Plan de Manejo contra Incendios en esas zonas. Cabe resaltar que, en el estado de Chiapas, las actividades desarrolladas dentro de los Planes de Manejo no han contemplado hasta el momento, la evaluación de combustible forestal, sólo existiendo algunos casos para ciertas regiones y con metodologías poco sustentadas en investigación.

Debido a lo anterior, en este proyecto, y particularmente en la segunda etapa, se realizará una evaluación del combustible forestal para establecer criterios que definan zonas de riesgo de incendios en el estado de Chiapas. Esto, mediante una toma de datos de campo de sitios seleccionados previamente (en base a ARH, p.ej). Una vez procesados y analizados en gabinete, se generarán modelos y mapas de distribución de combustible forestal, mapas de impacto potencial del fuego y mapas de zonas de riesgo. Por último, se creará un Programa de prevención y combate de incendios forestales para el estado de Chiapas en base a los resultados de esta investigación.

Es importante mencionar que durante el desarrollo de esta etapa se concluyó con algunas actividades pendientes respecto al Primer Informe Técnico de este proyecto. Además, las actividades programadas en cumplimiento del objetivo particular del presente Informe: Desarrollo de un sistema de predicción de peligro de incendios forestales en el estado de Chiapas, se completaron de manera exitosa. Esto, se describe a detalle en el Informe anexo de este documento.

1. DATOS DEL PROYECTO

Título y clave del proyecto

“PLAN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE CHIAPAS, BASADO EN LA UBICACIÓN DE ÁREAS DE MAYOR RIESGO” (segunda etapa: Generación de un sistema de predicción de peligro de incendios forestales en el estado de Chiapas).

Fondo: S0002

Solicitud: 41990

Demandas del Sector 2006

II. Demandas específicas del Sector Forestal.

Demanda estratégica

Freno y reversión al deterioro y destrucción del recurso forestal.

Demanda específica

Identificar sitios de alto riesgo en materia de incendios forestales en el estado de Chiapas.

Área de interés

Gerencia Regional XI “Frontera Sur” de la CONAFOR.

Organización ejecutora o beneficiario

Nombre: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Región Pacífico-Centro.

R.F.C: INI960412HUA

Representante legal: Dr. Keir Francisco Byerly Murphy.

Domicilio: Parque de los Colomos S/N Apdo. Postal 6-163 C.P. 44660. Guadalajara, Jalisco.

Teléfonos: (01 33) 36 41 35 75 ext. 100

Fax: (01 33) 36 41 35 92

Correo electrónico: byerly.keir@inifap.gob.mx

Responsable técnico

Nombre: Dr. José Germán Flores Garnica

Correo electrónico: flores.german@inifap.gob.mx

Institución: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Región Pacífico-Centro.

R.F.C: INI960412HUA

Domicilio: Parque de los Colomos S/N Apdo. Postal 6-163 C.P. 44660.
Guadalajara, Jalisco.

Teléfonos: (01 33) 36 41 35 75 ext. 100, 125 y 124

Fax: (01 33) 36 41 35 92

Tipo de informe

Reporte segunda etapa

Fechas del periodo que se reporta

15 Abril al 30 Septiembre

2. OBJETIVOS DE LA SEGUNDA ETAPA

General

Generar un sistema de predicción de peligro de incendios forestales en Chiapas.

Particulares

- Integrar la información obtenida en campo dentro de bases de datos digitales.
- Procesar y modelar los combustibles forestales en base a la información producida en las bases.
- Realizar mapas de combustibles y de impacto potencial del fuego
- Analizar, procesar e integrar la información generada para desarrollar un SIG de riesgo de incendios y un Programa de Prevención y combate en las zonas de alto riesgo.

3. INDICADORES DE EFECTIVIDAD DURANTE LA ETAPA

Como se indica en el reporte anexo a este II Informe de proyecto, los productos y logros alcanzados durante esta etapa son los siguientes (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 1. Documentos comprometidos para la 2ª etapa.

Documentos:	Cantidad
1. Descriptivo con información sobre los planes de manejo de incendios en Chiapas	1
2. Base de datos digital	1
3. Programa de Prevención y combate de incendios para las zonas de alto riesgo	1
4. SIG de riesgo de incendios	1

Cuadro 2. Mapas comprometidos y diseñados para la 2ª etapa.

Mapas:	Cantidad
1. Modelos de distribución de combustibles forestales	7
2. Mapas temáticos de combustibles forestales	7
3. Mapas temáticos con áreas de riesgo	1
4. Mapas de impacto potencial del fuego	1

Cabe recordar, que en el primer informe, se describió el procedimiento para elegir los sitios de muestreo basado principalmente en las Áreas de Respuesta Homogénea (ARH), el diseño y establecimiento del sitio de muestreo y, de manera breve, las técnicas de medición de los combustibles forestales presentes.

En esta segunda etapa, se explicará cómo una vez en gabinete, se maneja esta información incluyendo: la generación de bases de datos y, el acoplamiento de estos datos para la generación de los diferentes mapas temáticos. Lo anterior permitirá definir adecuadamente un Programa de Prevención de incendios para las zonas de mayor riesgo.

De esta manera, a continuación los productos se describen detalle, incluyendo algunas bases de investigación, la metodología empleada, así como los resultados obtenidos para cada uno.

4. CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES

4.1. Preparación de los mapas digitales con información ambiental

Previamente se describió la metodología usada para el muestreo de combustibles forestales, los resultados de este proceso se resumen en esta parte. Siendo el propósito de esta fase la de estructurar la información de campo, de tal forma que pueda ser usada para los análisis geoestadísticos. De los cuales se obtienen las superficies continuas de cada uno de los tipos de combustibles. La estructura de los datos se basará en dos ejes: 1) primeramente se tiene las coordenadas de cada uno de los sitios muestreados; y 2) el valor estimado, en cada sitio, para cada uno de los tipos de combustibles que se señalan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tipos de combustibles en que se basó la estructura de datos

COMBUSTIBLES	DESCRIPCION
1 HORA	Ramillas cuyo diámetro es menor a .6cm
10- HORAS	Ramillas cuyo diámetro está entre los .6 y 2.5 cm
100- HORAS	Ramas cuyo diámetro está entre los 2.5 y 7.5 cm
FIRMES	Ramas y troncos de diámetro Mayor a 7.5 cm y que no están podridos
PODRIDOS	Ramas y troncos de diámetro Mayor a 7.5 cm y se Encuentran podridos
HOJARASCA	Hojas y/o acículas
FERMENTACIÓN	Hojas y/o acículas en proceso de desintegración. Se incluye materia orgánica.

Es importante remarcar que se cuenta con las coordenadas de cada uno de los sitios, lo cual permite ubicar espacialmente las cargas de los tipos de combustibles, así como sus características ambientales.

4.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo

La figura 1, muestra la distribución de los sitios de muestreo que se usaron para el Estado de Chiapas, los detalles de los criterios usados se señalan en secciones anteriores. Es importante hacer notar que se intentó que la distribución de los sitios correspondiera a la mayor parte de las variaciones ambientales del Estado, como son tipos de vegetación y altitud. Sin embargo, por razones sociales, en algunos casos no fue posible obtener la muestra directamente del sitio predefinido en gabinete. Esto implicó que fuera necesario reubicar algunos sitios, tratando de que se localizaran en condiciones similares a las inicialmente propuestas.

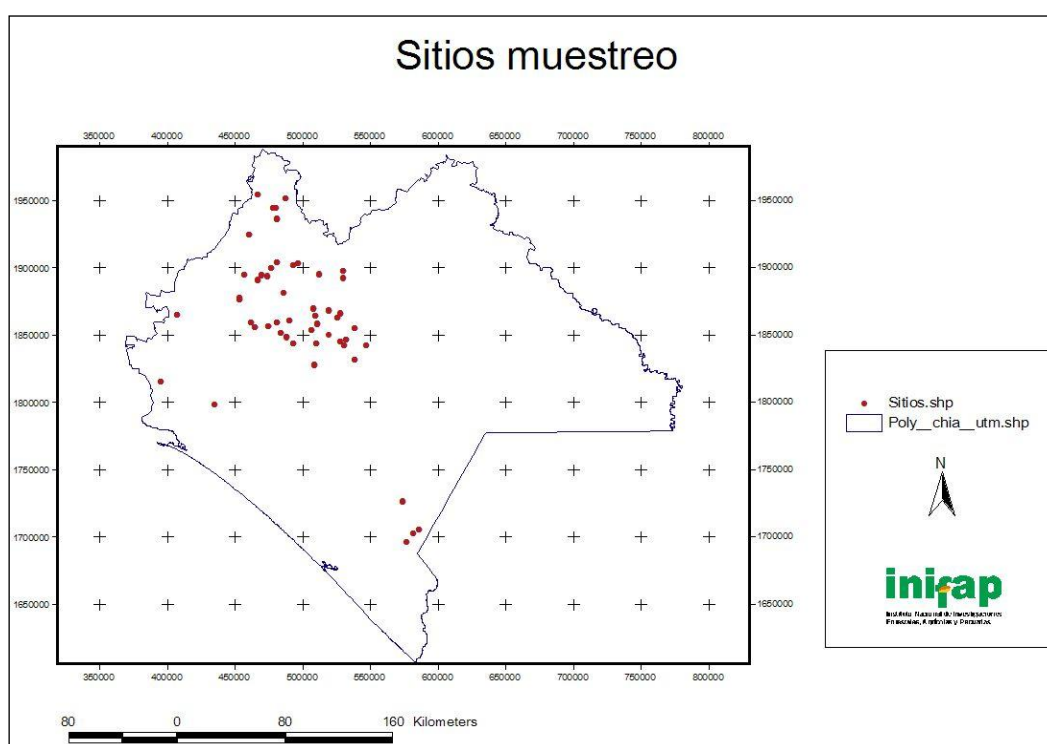


Figura 1. Distribución de los sitios de muestreo de combustibles forestales en el Estado de Chiapas.

Se programaron 50 líneas de muestreo, con 6 sitios de muestreo para cada uno, de las cuales por razones de accesibilidad se realizaron 48 con un total de 167 sitios de muestreo, los datos del combustible tomados en campo se capturaron en una base de datos de Access y posteriormente en Excel para obtener los promedios de las cargas por hectárea de cada combustible por sitio en base al método de Brown.

En el cuadro 4 se muestra un fragmento de las cargas de los siete tipos de combustibles analizados en los sitios muestreados.

Cuadro 4. Fragmento de las Cargas de combustibles forestales (toneladas por hectárea) en el estado de Chiapas.

CLAVE_LINEA	X	Y	1HR	10HR	100HRS	1000 FIRME	1000 PODRIDO	HOJARASCA	FERMENTACION
chp_050206_selvA03	-93.089583	16.826806	0.382158	3.050821	2.264035	9.419058	0	0.444444	5.37037
chp_070206_selvB04	-93.328306	16.781111	0.440815	1.218437	0.710154	0	0.636012	0.074074	2.240741
chp_130206_pasA06	-92.738647	16.687639	0	0	0	0	0	1.382716	0.333333
chp_130206_bosA04	-92.695722	16.698389	0.660641	4.215086	0.025	0.025	0.025	4.37963	11.62963
chp_210306_pasC04	-93.030167	17.210778	0	0	0	0	0	2.123457	1.753086
chp_210306_pasA05	-93.062444	17.199500	0.008273	0	0	0	0	2.814815	2.728395
chp_220306_selvB05	-93.219833	17.180139	0.155132	1.692571	0.94486	91.24175	15.22008	1.694444	4.87037
chp_230306_selvB02	-93.147389	16.741028	0.533605	4.334675	0.708645	0	0	2.296296	2.064815
chp_300107_pasb03	-93.354417	16.814361	0	0	0	0	0	2.703704	0.45679
chp_300107_selvc03	-93.234194	16.787972	0.277865	2.846178	1.914747	8.317673	0.796134	1.133333	3.540741
chp_070207_selvB03	-93.178139	16.812028	0.609664	3.538937	0.48727	0	0	0.416667	2.111111
chp_080207_pasA03	-92.903278	16.673361	0	0	0	0	0	2.287037	1.62037
chp_080207_pasA04	-92.896917	16.804139	0.003102	0	0	0	0	0.796296	0.62037
chp_090207_pasA02	-92.913611	16.527806	0.018614	0	0	0	0	2.25	1.111111
chp_130207_pasC05	-92.710056	16.659111	0	0	0	0	0	0.901235	0.888889
chp_060307_selvA02	-93.108028	16.714778	0.498364	1.793543	0.724352	0	0	1.287037	3.703704
chp_060307_selvC02	-93.059750	16.670500	0.325786	0.712576	0	0	0	1.092593	5.787037
chp_080307_bosA02	-92.934222	16.760972	0.097728	0.445343	0	0	0	1.574074	3.962963
chp_090307_pasb02	-93.437361	16.980833	0.006212	0	0	0	0	1.703704	1.148148
chp_110307_bosC02	-92.918722	16.967667	0.318303	2.414916	0	0	0	2.152593	3.398148
chp_110307_bosA03	0.000000	0.000000	0.547566	6.264496	0.47243	0	0	0.75	3.537037
chp_120307_bosC04	-92.814944	16.893278	0.279729	1.05113	0	0	0	1.166667	6.888889
chp_120307_bosA05	-92.759056	16.845861	0.270437	3.148964	3.106625	25.32671	0.763131	2.111111	9.981481
chp_120307_bosB02	-92.910667	16.857917	0.448937	1.840891	0.236215	0	0	1.537037	3.351852
chp_130307_bosB04	-92.734861	16.873417	0.392394	2.620333	0	0	0	0.935185	7.277778
chp_140307_pasC03	-93.285667	17.131694	0.014619	0.079944	0	0	0	3.08642	1.111111
chp_140307_pasB04	-9.246500	17.124667	0	0	0	0	0	6.024691	1.728395
chp_210307_selvA05	-93.178889	17.219000	0.267985	2.079902	0.23697	0	0	1.842593	4.055556
chp_160507_selv03	-93.119056	17.650139	0.018614	0.831307	3.149533	11.72885	0	5	0.814815
chp_170507_pas01	-93.202528	17.585778	0.014497	0.039586	0	0	0	4.037037	0.901235
chp_170507_pas03	-93.313611	17.671361	0	0	0	0	0	5.222222	1.061728
chp_170507_selv02	-93.372639	17.403750	0.009307	0.296896	0.236215	0	0	4.194444	0.398148
chp_190507_selv01	-93.173722	17.508500	0.081219	1.459441	0.778429	0	0	4.066667	0.725926
chp_210507_bos05	-92.713000	17.112333	0.218269	2.687513	0.480882	0	0	7.222222	1.574074
chp_210507_bos01	-92.714194	17.158444	0.15368	1.79922	2.947378	0	0	4.765432	1.469136
chp_220507_bos11	-92.881028	17.137694	0.190282	2.298365	2.93958	19.80406	0.853559	13.33333	15.11111
chp_230507_pas06	-93.404083	17.132167	0	0	0	0	0	6.876543	0.506173
chp_230507_bos04	-93.307389	17.098667	0.146795	1.369764	1.313051	0	0	4.950617	1.37037
chp_240507_selv12	-93.126806	17.011639	0.364053	3.569576	4.724299	86.25676	0	2.851852	0.907407
chp_250507_bos17	-92.639194	16.776389	0.402433	2.597361	0	30.20583	0	7.37037	4.777778
chp_270507_bos12	-92.815222	16.728111	0.190662	2.421443	0	221.358	0	13.92593	13.59259
chp_280507_bos06	-92.639667	16.565000	0.144777	2.058476	1.88972	0	1.320805	4.518519	3.049383
chp_290507_bos18	-92.558278	16.660556	0.11885	1.736986	1.430215	0	4.275939	10.05556	8.111111
chp_300507_selv16	-92.305972	15.609167	0.205817	1.962452	1.58299	367.9319	15.52093	11.32099	10.64198

chp_310507_pas14	-92.280139	15.336444	0	0	0	0	0	3.833333	0.648148
chp_010607_selv13	-92.236556	15.396667	0.131296	1.066391	0.47243	6.891475	0	3.592593	1.888889
chp_010607_selv17	-92.194361	15.418639	0.099072	1.746146	1.790722	0	0	2.037037	1
chp_030607_bos01b	-93.866222	16.864917	0.280041	1.578726	1.358298	0	0	4.135802	0.703704
Chis_pien250207	-93.981417	16.415917	0.103869	1.787753	0.354556	0	0	10.13889	5.055556
Chis_pino260207	-93.608389	16.263139	0.052545	0.185966	0.355414	1.248529	0	9.180556	1.972222
Chis_sebc280207	-93.184444	17.582472	0.1894	2.058209	1.067326	0	0	3.611111	1.361111

ID = Número de identificación del sitio de muestreo

X_COORD. =Coordenadas en X en unidades UTM

Y_COORD. = Coordenadas en Y en unidades UTM

1HR = Piezas leñosas con diámetro menor a 0.6 cm. en Ton/ha

10HORAS = Piezas leñosas con diámetro entre los 0.6 y los 2.5 cm. en Ton/ha

100HORAS = Piezas leñosas con diámetro entre los 2.5 y los 7.5 cm en Ton/ha

1000 HORAS = Piezas leñosas con diámetro mayor a 7.5

FIRMES = Piezas leñosas con diámetro menor a 0.6 cm. en Ton/ha

PODRIDOS = Piezas leñosas con diámetro menor a 0.6 cm. en Ton/ha

HOJARASCA = Combustible ligero en forma de hojarasca en Ton/ha

CAPA FERM = Capa de hojarasca en proceso de en proceso de descomposición Ton/ha

En relación al Cuadro 5, se puede observar que de acuerdo a las cargas obtenidas de combustibles de 1hr, son los que se encuentran de manera más homogénea en todos los sitios. esto, se demuestra con la varianza mínima respecto a los demás combustibles forestales. Para el combustible de 10 hr, aunque la media está dentro de un rango seguro, los valores máximos encontrados (9.3819) representan un valor considerable en cuanto al impacto que el incendio pueda provocar. En el caso de 100 hr, sucede algo similar, los valores máximos, cercanos a las 9.45 ton/ha provocarían un impacto significativo en la ocurrencia de un incendio. Los combustibles firmes, que, comparado a todos los demás, son los que muestran una varianza mayor, esto ocurre por la diferencia entre los valores máximos y mínimos encontrados. Particularmente, en un sitio de bosque y uno de selva, cuyos valores fueron 2211.36 ton/ ha y 997.4 ton/ha respectivamente. De igual forma, si se toman estos valores, el impacto de incendio es mayor. Pero, en relación a todos los sitios muestreados, el valor de la media no muestra esta situación. Para los valores de hojarasca y fermentación, los valores medios son cercanos a representar un riesgo de incendio. Además la distribución de los valores, es muy variable, lo cual se demuestra con el valor de la varianza obtenida.

Cuadro 5. Estadísticos de los sitios muestreados en el estado de Chiapas

ESTADÍSTICO	1-HR	10-HR	100-HR	FIRME	PODRIDO	HOJA	FERMENTACION
MEDIA	0.206424312	1.576336997	0.723661911	25.3016959	0.79158884	3.395786205	3.41611222
VARIANZA	0.05205674	3.12277539	1.990892368	36004.50215	34.1150507	10.4769365	16.27672181
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0	0
MÁXIMO	0.99613632	9.381898754	9.448598572	2211.358269	60.8803257	17.44444444	29.11111111

4.1.2. Definición de las variables auxiliares prioritarias

Uno de los principales propósitos de este trabajo fue el de definir mapas de distribución de combustibles. Para esto existen varias técnicas, en este caso se usó la denominada “árboles de regresión”, con base a la cual se asocia una serie de variables conocidas con la variable de interés. En el primer caso se requiere que se tengan mapas de cada una de las variables conocidas (independientes), con base a las cuales se genera el mapa de la variable de interés (dependiente). En total se analizaron 46 variables (Cuadro 6).

Cuadro 6. Variables con distribución espacial analizadas para estimar cargas de combustibles en el estado de Chiapas.

VARIABLE	CLAVE	DESCRIPCION
Climas	CLIMA1MC.PAT	Climas, escala 1:1000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Topografía de México, equidistancia entre curvas 200m	CNI250KC.AAT	Curvas de nivel, escala 1:250 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Cuencas hidrológicas	CUENC4MC.PAT	Cuencas, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Edafología 1:250000 y 1:1000000	EDA251MC.PAT	Edafología, escalas 1:250 000 y 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Mapa de suelos dominantes de la República Mexicana	EDAFO4MC.PAT	Edafología, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Escurrimiento medio anual	ESMEA4MC.PAT	Escurrimiento medio anual, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Estaciones climatológicas (ERIC).	ESTCLIMC.PAT	Estaciones climatológicas. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Evapotranspiración real	EVAPR4MC.PAT	Evapotranspiración real, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Hipsometría de la R. B Calakmul, Campeche	HIPG. PAT	Hipsometría. En Coordenas Geográficas.
Hipsometría y Batimetría	HIPSB4MC.PAT	Hipsometría y Batimetría, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Hipsometría	HIPSO4MC.PAT	Hipsometría, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Rangos de humedad según climas de México	HUMED4MC.PAT	Humedad, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Insolación anual	INSOLA8MC.PAT	Insolación anual, escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Insolación anual (isolíneas)	INSOLAV8MC.AAT	Insolación anual (vectores), escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de

		Lambert.
Enero: mes de mínima insolación	INSOLMI8MC.PAT	Insolación mínima, escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Enero: mes de mínima insolación (isolíneas)	INSOLMIV8MC.AAT	Insolación mínima (vectores), escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Mayo: mes de máxima insolación	INSOLMX8MC.PAT	Insolación máxima, escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Mayo: mes de máxima insolación (isolíneas)	INSOLMXV8MC.AAT	Insolación máxima (vectores), escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Isotermas Medias Anuales	ISOTM1MC.PAT	Isotermas Medias Anuales, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Precipitación Total Anual	ISOYT1MC.PAT	Isoyetas Totales, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Divisiones florísticas	PFITO8MC.PAT	Provincias fitogeográficas, escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Moda de Precipitación Anual	PPAMODA8MC.PAT	Polígonos de precipitación modal anual, escala 1:8 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Precipitación media anual	PRECI4MC.PAT	Precipitación, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Provincias biogeográficas de México	RBIOG4MC.PAT	Provincias biogeográficas, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Relieve como atractivo natural	REATN4MC. PAT	Relieve como atractivo natural, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regímenes de humedad del suelo	REHSU4MC.PAT	Regímenes de humedad del suelo, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Clasificación de Regiones Naturales de México	RENAT4MC.PAT	Clasificación de Regiones Naturales de México, escala 1: 4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Provincias fisiográficas.	RFISIO4MC.PAT	Provincias fisiográficas, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regiones Hidrológicas	RH1MC.PAT	Regiones Hidrológicas, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regiones Hidrológicas Administrativas	RHADM1MC.PAT	Regiones Hidrológicas Administrativas, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regiones Hidrológicas Prioritarias	RHPRI4MC.PAT	Regiones Hidrológicas Prioritarias, escala 1:4 000 000.

Regiones Hidrológicas Prioritarias	RHPRI4MC.PAT	En proyección Cónica Conforme de Lambert. Regiones Hidrológicas Prioritarias, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Riqueza faunística de Chiapas	RIQUEZAUTM.PAT	Riqueza. En proyección UTM 15. Regiones Mastogeográficas, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regiones y Provincias Mastogeográficas	RMAST4MC.PAT	rasgos morfotectónicos, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Provincias bióticas (rasgos morfotectónicos)	RMORF4MC.PAT	rasgos morfotectónicos, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Provincias bióticas (rasgos morfotectónicos)	RMORF4MC.PAT	rasgos morfotectónicos, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Regiones Terrestres Prioritarias	RPT1MC.PAT	Regiones Terrestres Prioritarias, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Subcuencas Hidrológicas, CONABIO	SUBCU1MC.PAT	Subcuencas, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Temperatura media anual	TEMPM4MC.PAT	Temperatura media, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Temperaturas máxima absoluta	TMAXA1MC.PAT	Temperaturas máxima absoluta, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Temperaturas máxima promedio	TMAXP1MC.PAT	Temperaturas máxima promedio, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Temperaturas mínima absoluta	TMINA1MC.PAT	Temperaturas mínima absoluta, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Temperaturas mínima promedio	TMINP1MC.PAT	Temperaturas mínima promedio, escala 1:1 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO	USV731MC.PAT	Contiene las 27 categorías de uso del suelo y vegetación propuestas por la CONABIO para los polígonos seleccionados (mayores a 25 hectáreas). Vegetación potencial Balduzzi y Tomaselli, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Carta Fisonómica-Estructural de la Vegetación de México	VPOTBT4MC.PAT	Vegetación potencial, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.
Vegetación Potencial de Rzedowski	VPOTR4MC.PAT	Vegetación potencial, escala 1:4 000 000. En proyección Cónica Conforme de Lambert.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los mapas obtenidos en la página de CONABIO, con esta información se realizaron los cortes para extraer solo la información estatal. Cabe recordar que estos ya fueron descritos en el primer reporte.

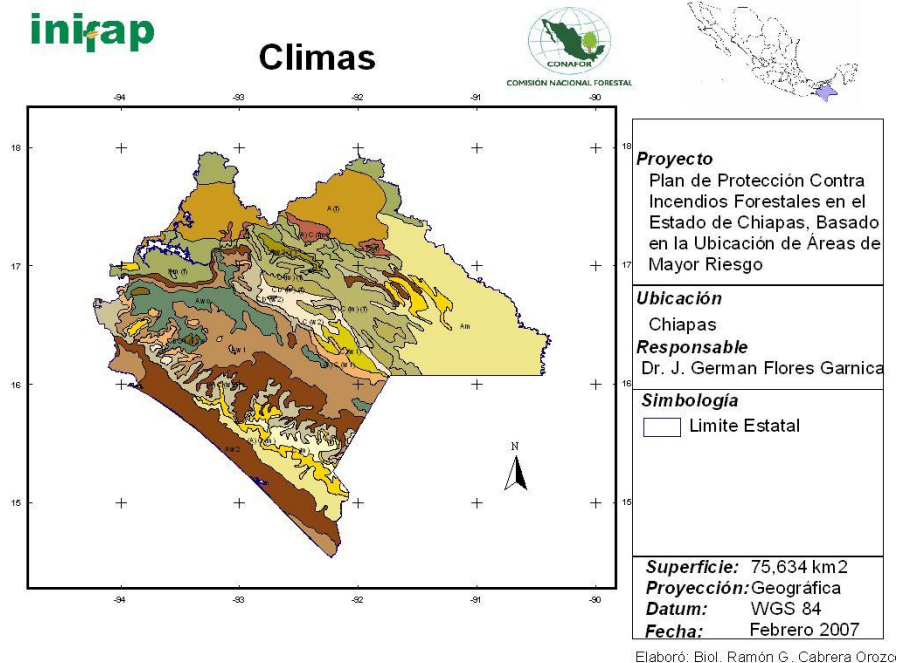


Figura 2. Mapa que presenta los climas de la entidad.

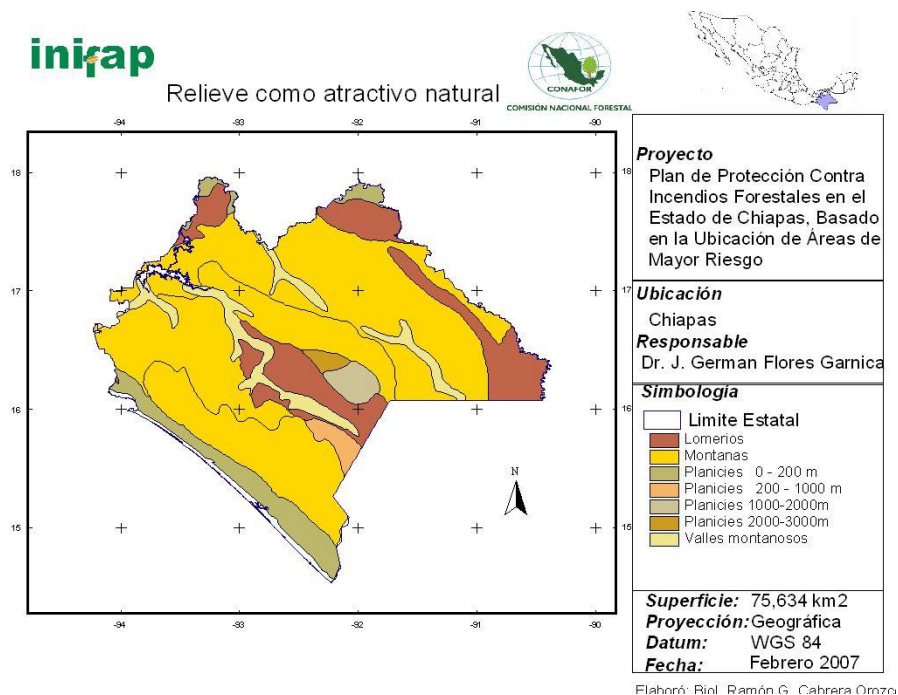
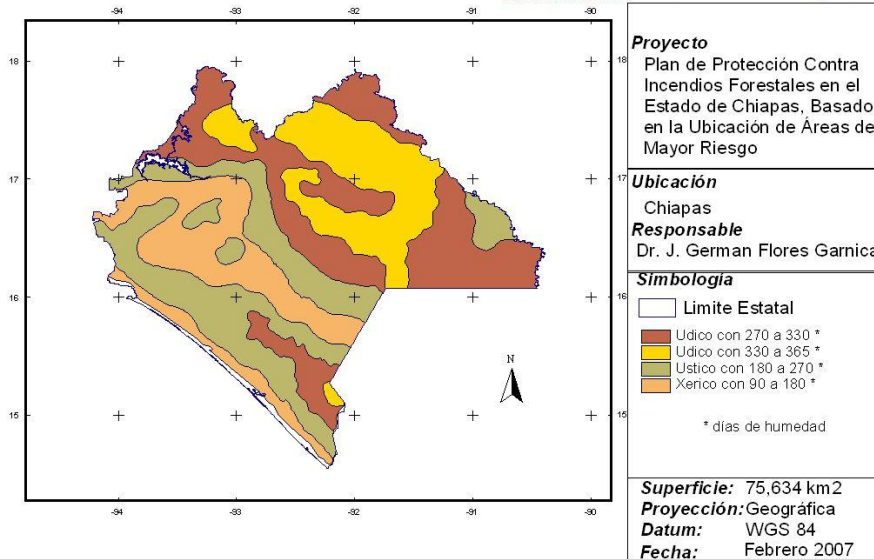


Figura 3. Mapa que presenta los relieves.



Elaboró: Biniel Ramón G. Cabrera Orzco

Figura 4. Mapa que muestra los regímenes de humedad.

En primera instancia se buscó que la variación espacial de cada una de estas variables fuera suficiente para poder determinar la variación espacial de cada uno de los siete combustibles forestales analizados. De esta forma se eliminaron aquellas variables que presentaron una baja variación espacial, por ejemplo Cuencas Hidrológicas, Insolación media anual, Regiones Hidrológicas y distribución de precipitación (Figuras 5,6,7, y 8).

Cuencas Hidrológicas

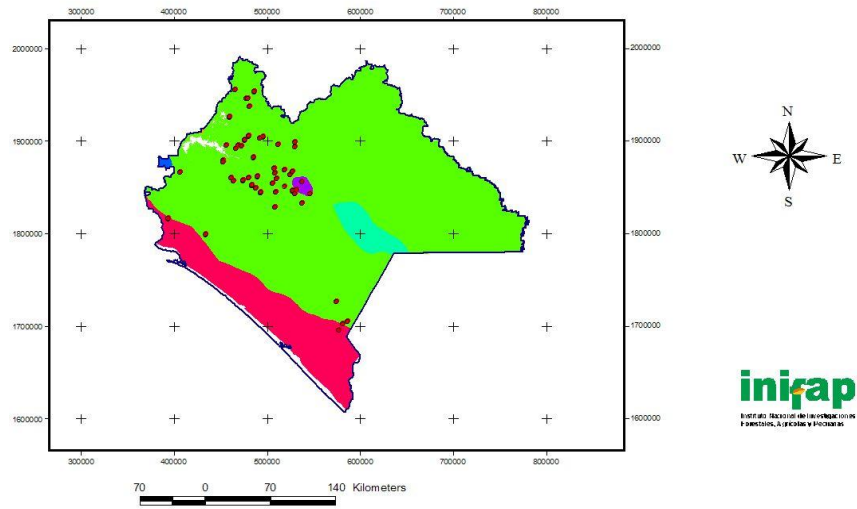


Figura 5. Mapa con variable de Cuencas hidrológicas

Insolación media anual

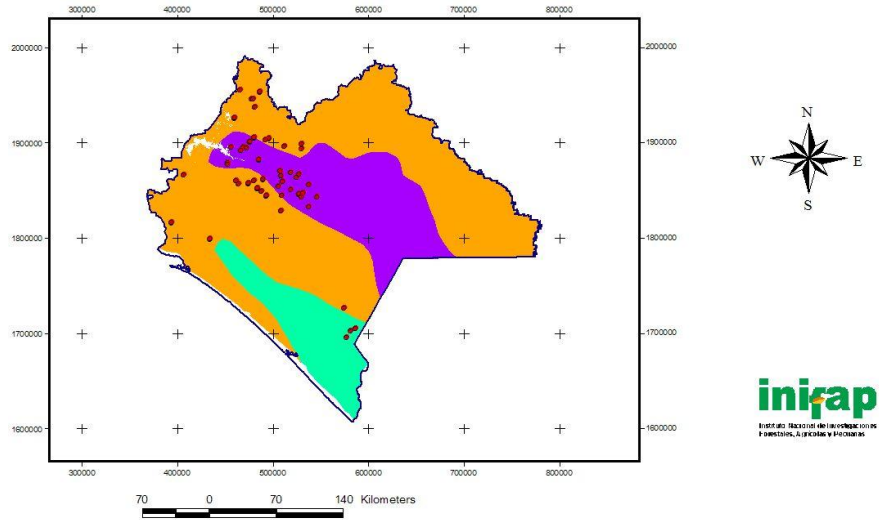


Figura 6. Mapa con variable de Insolación media anual

Regiones Hidrológicas

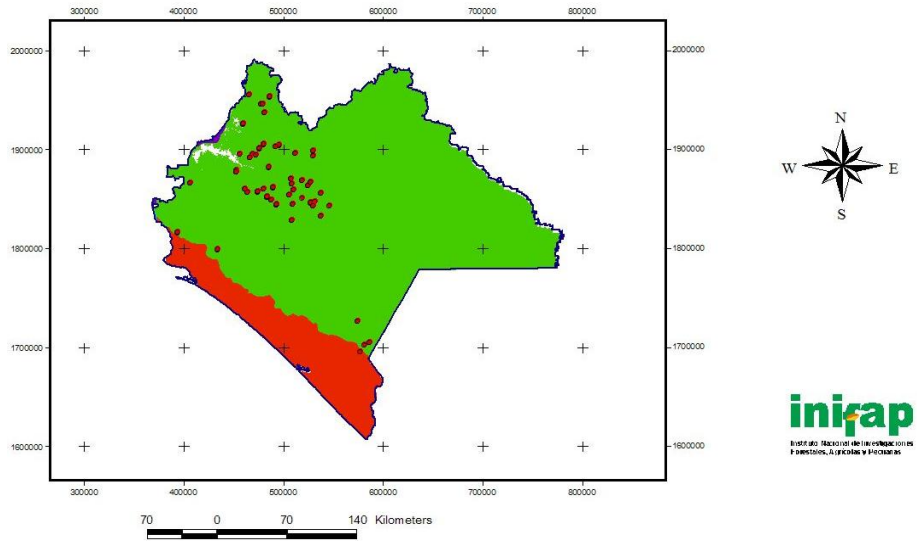


Figura 7. Mapa con variable de Regiones Hidrológicas

Distribucion de precipitación

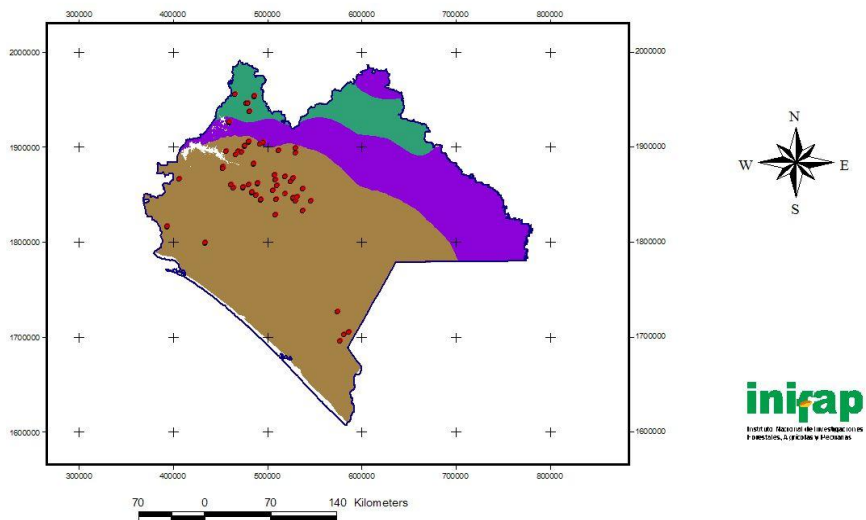


Figura 8. Mapa con variable de Distribución de precipitación

Como ejemplo de variables que presentaron buena variación espacial se tiene las variables “clima” (Figura 9) así como “temperatura máxima”. En ambos casos se observa que las variables no son constantes a lo largo del área de estudio. Esto es que no cubren grandes áreas, lo cual permite separar ciertas cualidades ambientales para cada uno de los sitios de muestreo. Esto implica que se tiene posibilidades de que las cargas de combustibles de cada sitio, puedan asociarse a una determinada combinación de variables ambientales. Es por esto que se trata de evitar que el valor de una variable se presente en varios sitios. Esto, por el contrario, podría ser contraproducente en el caso de que varios sitios presenten la misma carga de combustibles. La técnica de árboles de regresión es muy propicia para evitar esta última situación.

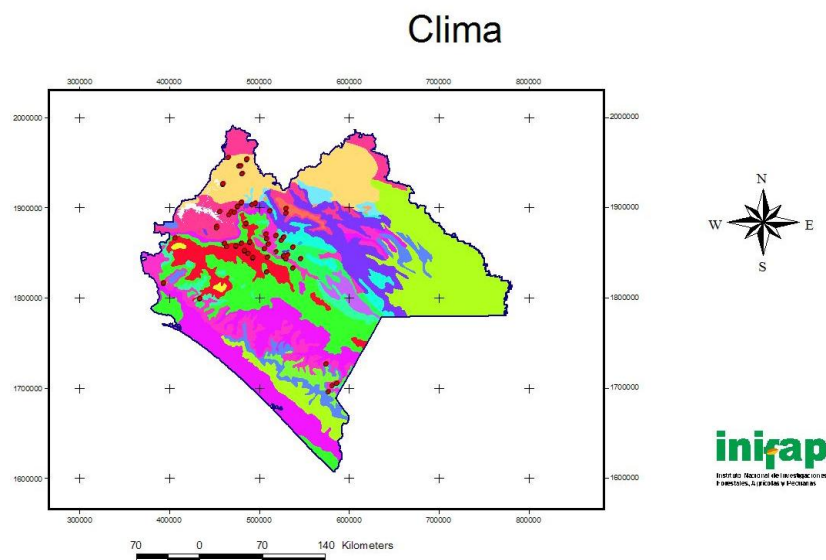


Figura 9. Mapa con variable de Clima

De acuerdo con el análisis anterior se seleccionaron las siguientes variables, para probarlas como variables auxiliares en la estimación de la distribución espacial de combustibles forestales: a) Clima; b) Edafología; c) Vegetación; d) Suelos dominantes; e) Evapotranspiración; f) Hidrogeología; g) Hipsometría; h) Isotermas; i) Precipitación media anual; j) Uso de suelo; k) Isoyetas; l) Relieve como atractivo natural; m) Temperatura máxima; y n) Temperatura mínima.

4.1.3. Mapas digitales con información ambiental

Una vez que se seleccionaron las variables con mejores perspectivas para la estimación de la distribución espacial de los combustibles forestales, se procedió a ubicar, delimitar y referir geográficamente cada una de estas variables. Como resultado de este proceso se generó una serie de mapas temáticos, basados en formato de celdas (“raster”), con una resolución espacial de 90 x 90 m. Esto último debe de cuidarse mucho, ya que de la resolución espacial dependerán las interacciones que pueda haber entre los diferentes mapas. El hecho de usar una resolución mayor, o menor, puede implicar que no se aproveche completamente la ubicación de la información que se esté manejando.

Los mapas temáticos usados se presentan en la Figuras 10, 11 y 12. Los valores usados por cada mapa corresponden a claves numéricas, que valen por sí mismo (como en el caso de altitud) o que representan alguna categoría (como en el caso de tipos de vegetación). Esta consideración numérica permite el análisis geoestadístico, a través de los árboles de regresión.

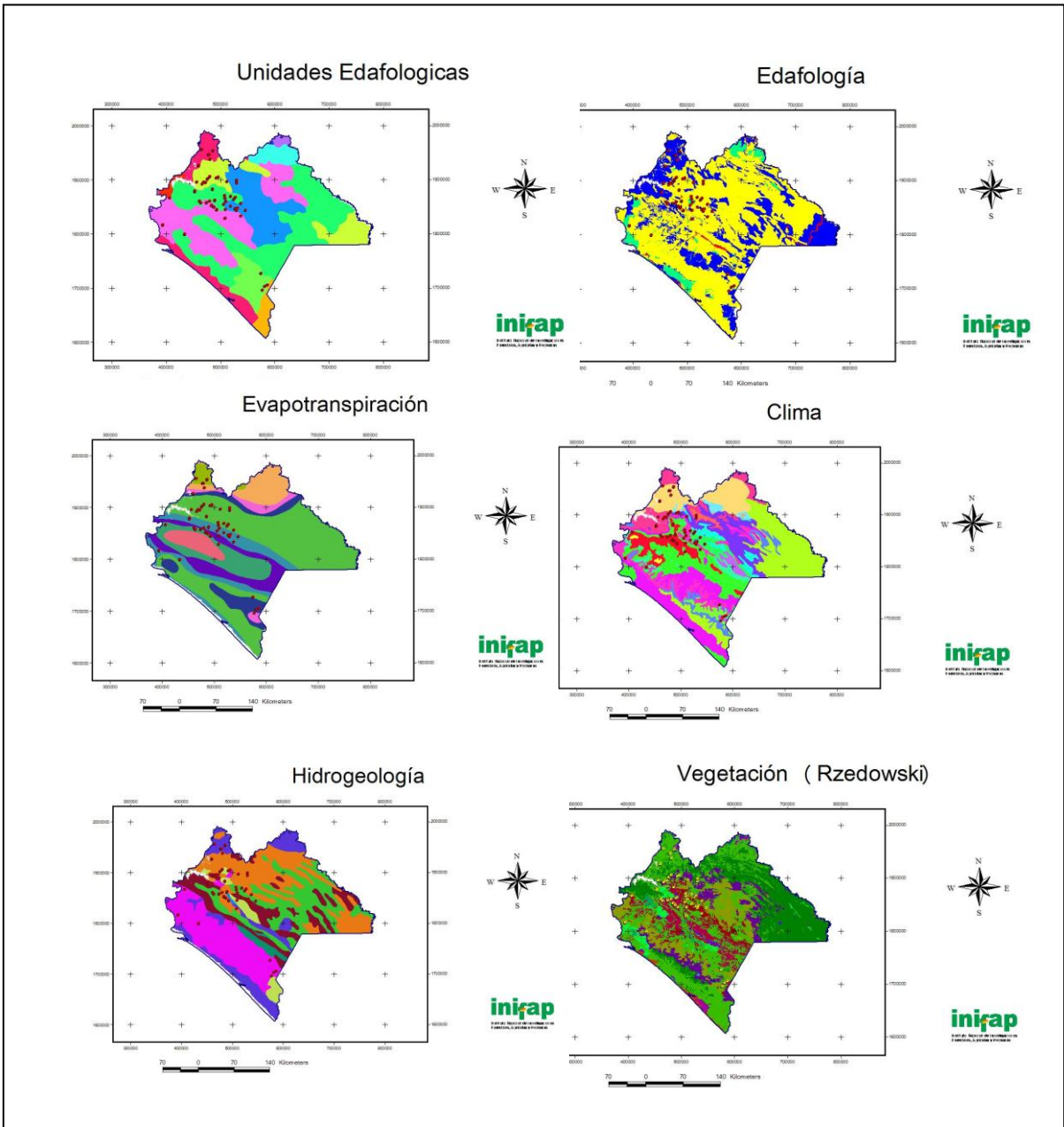


Figura 10. Mapas temáticos de las variables probadas para la estimación espacial de los combustibles forestales

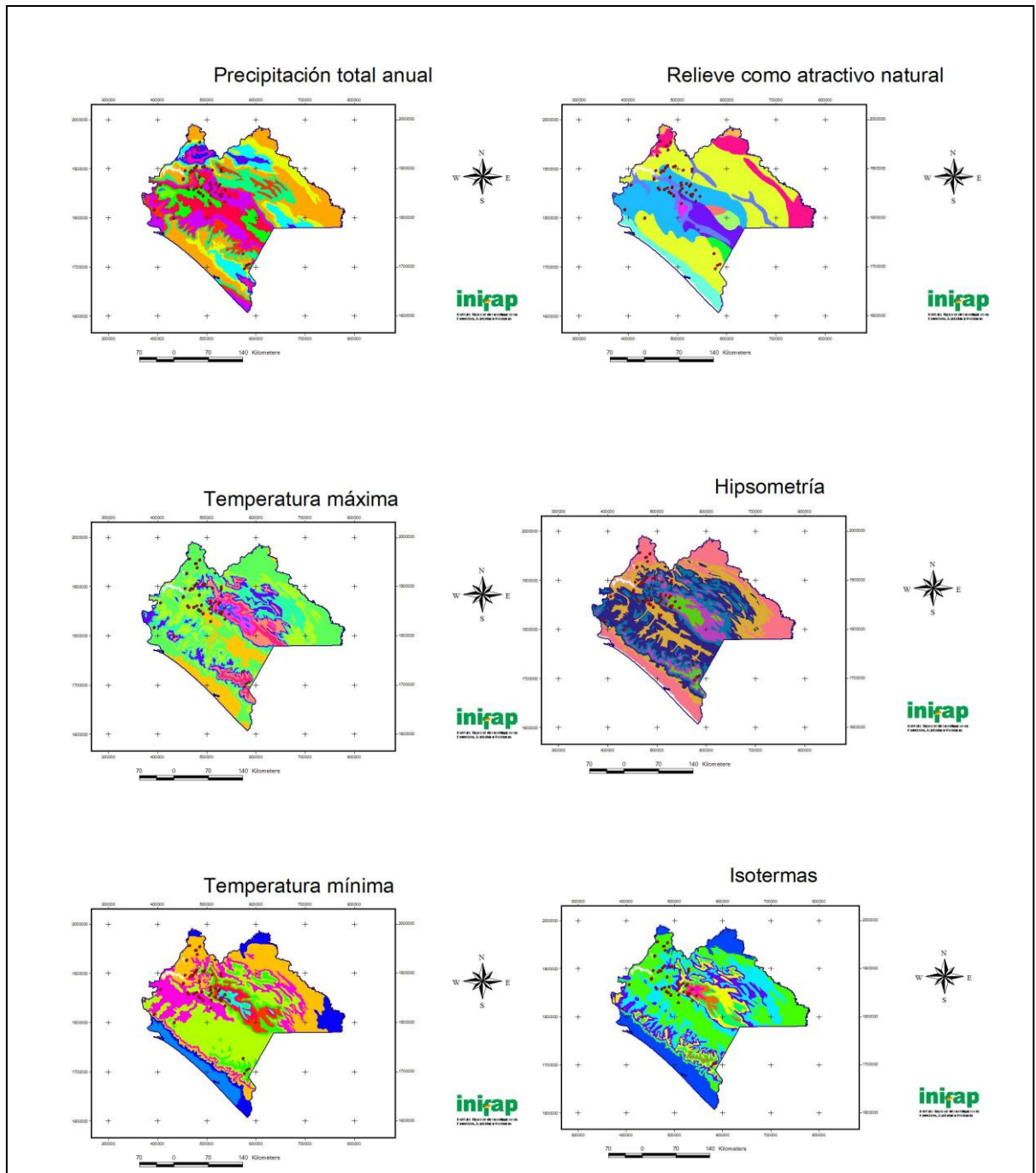


Figura 10. Continuación.

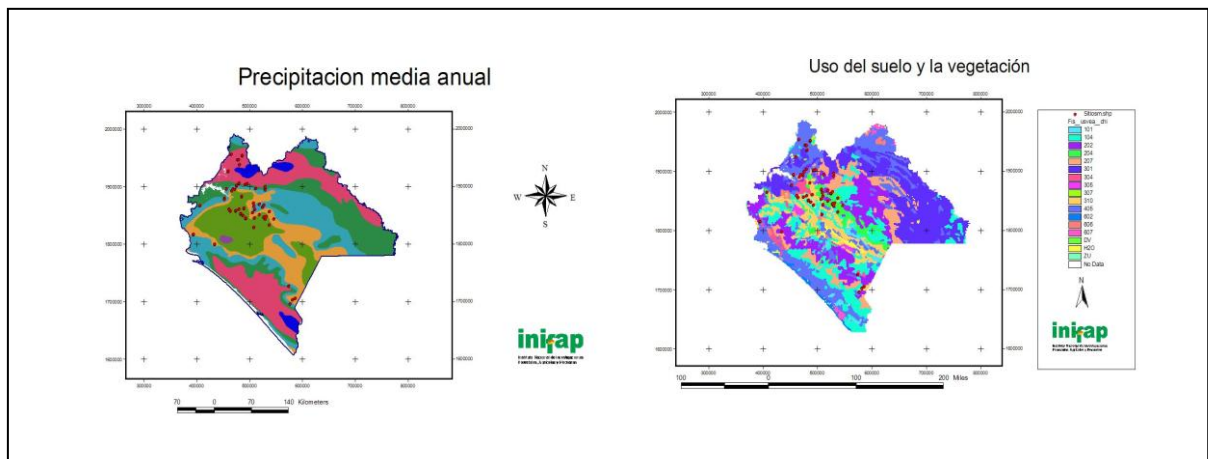


Figura 10. Continuación.

4.2. Integración de la información

Por la naturaleza de este proyecto se generan muchos datos, mismos que deben administrarse desde dos perspectivas: 1) datos tabulados, que permitan almacenar, administrar, buscar y organizar los datos; 2) una representación gráfica, que ayuda a visualizar el contexto espacial de los datos: De esta forma se puede, no solo administrar los datos, sino también generar nuevos datos. Como resultado de esto y del análisis implícito en los datos se define una base de datos, cuyo mejor manejo se hizo con base a un sistema de información geográfica. Las carátulas de estos sistemas se presentan en la Figura 11.

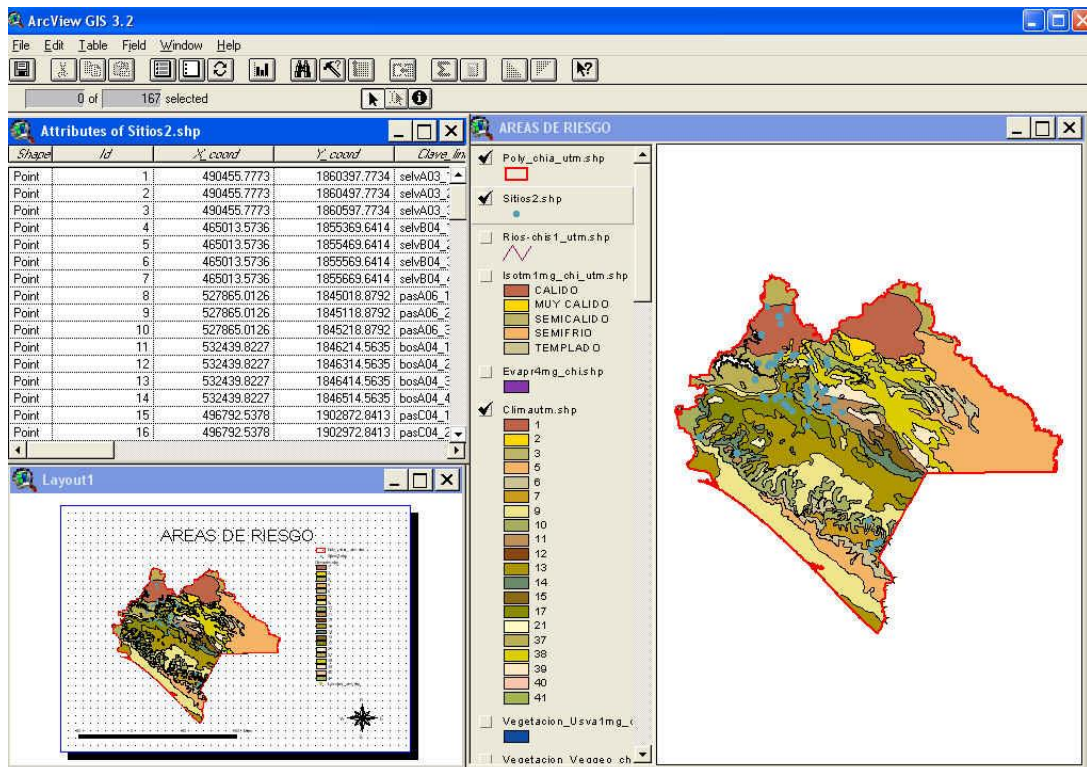


Figura 11. Sistema de información geográfica donde se administra la base de datos.

Algunas capas de información (temas) se han manejado desde la perspectiva vectorial, principalmente a los que se refieren a caminos, ríos, curvas de nivel, etc. Los vectores también se usaron para administrar datos a nivel de polígonos, como lo son sub-cuencas, regiones hidrográficas, etc.

Por otra parte, algunos datos se trabajaron a través de figuras definidas por matrices (perspectiva "raster"). De hecho el proceso de análisis a través de árboles de regresión requirió que todas las capas de información estuvieran en el formato raster. Es por esto que, una vez seleccionadas las variables relevantes, fueron transformadas del formato vectorial, al formato raster.

El sistema de información definido permite generar resultados a través de cuadros, gráficas o mapas. Estos últimos son usados en este trabajo para representar las estimaciones de combustibles forestales, a través de mapas temáticos correspondientes a cada uno los siete tipos de combustibles. El sistema también permite hacer análisis usando una sola capa de información, como lo son áreas, clasificaciones, porciones, etc. Asimismo es posible realizar operaciones entre las diferentes capas, de tal forma que pueda, por ejemplo, identificarse aquellas áreas con mayor carga de combustibles (considerando la

suma de todas las capas de combustibles forestales). Los mapas también permiten ubicar y dimensionar la proporción de cada uno de los valores de las variables analizadas. Y a su vez hacer asociaciones espaciales con otras variables.

4.3. Procesamiento y modelaje de combustibles forestales

4.3.1. Generación de árboles de clasificación y regresión

En esta fase se probaron varios modelos basados en la tecnología de árboles de regresión, que se explica más adelante. Los modelos fueron definidos de acuerdo a la combinación del tipo de combustibles (siete), y el número total de variables seleccionadas previamente. De esta forma se tienen 14 variables, que se probaron con cada uno de los siete tipos de combustibles. Las cargas de combustibles correspondientes se presentaron en secciones anteriores, mientras que las variables probadas se muestran en el Cuadro 7. Con estas últimas variables se hicieron varias combinaciones a fin de conocer cuales son las variables que mejor estiman las cargas de combustibles. De esta forma se probaron 20 diferentes combinaciones de variables, siendo importante señalar que por lo menos se usaron cuatro variables en cada combinación.

Cuadro 7. Variables auxiliares usadas para estimar la distribución espacial de combustibles forestales.

ID	1-HR	A3	A6	A7	A9	A11	A12	A16	A17	A19	A20	A26	A27	A28	A29
1	0.43	11	2	4	11	2	3	4	10	5	16	34	60	13	11
2	0.49	11	2	4	11	2	3	4	10	5	16	34	60	13	11
3	0.22	12	2	4	11	2	3	4	9	5	16	34	60	13	11
4	0.52	12	2	4	9	7	4	4	9	5	2	34	50	12	1
5	0.58	12	2	4	9	7	4	4	9	5	2	34	50	12	1
6	0.29	12	2	4	9	7	4	4	9	5	2	34	50	12	1
7	0.37	12	2	4	9	7	4	4	9	5	2	34	50	12	1
8	0.00	15	2	14	11	8	6	7	11	5	2	24	90	11	5
9	0.00	15	2	14	11	8	6	7	11	5	2	24	90	11	5
10	0.00	15	2	14	11	8	6	7	11	5	2	24	90	11	5
11	0.65	15	2	14	11	8	6	9	11	5	2	22	110	11	5
12	0.10	15	2	14	11	8	6	9	11	5	2	22	110	11	5
13	0.90	15	2	14	11	8	6	9	11	5	2	22	110	11	5
14	1.00	15	2	14	11	8	6	9	11	5	2	22	110	11	5
15	0.00	1	2	20	12	6	4	4	14	9	3	32	60	1	1
16	0.00	1	2	20	12	6	4	4	15	9	3	32	60	1	1
17	0.00	1	2	20	12	6	4	4	15	9	3	32	60	1	1
18	0.00	1	2	20	12	4	5	4	14	8	3	30	60	1	1
19	0.02	1	2	20	12	4	5	4	14	8	3	30	60	1	1
20	0.00	1	2	20	12	4	5	4	14	8	3	30	60	1	1
21	0.30	1	2	20	12	4	5	4	13	7	2	32	50	7	3
22	0.14	1	2	20	12	4	5	4	13	8	2	32	50	7	3

23	0.10	1	2	20	12	4	5	4	13	8	2	32	50	7	3
24	0.08	1	2	20	12	4	5	4	13	8	2	32	50	7	3
25	0.45	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
26	0.49	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
27	0.57	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
28	0.63	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
29	0.00	11	2	4	9	7	3	4	10	5	2	34	60	1	1
30	0.00	11	2	4	9	7	3	4	10	5	2	34	60	1	1
31	0.00	11	2	4	9	7	3	4	10	5	2	34	60	1	1
32	0.27	12	3	3	9	2	3	3	9	5	2	34	50	12	1
33	0.14	12	3	3	9	2	3	3	9	5	2	34	50	12	1
34	0.24	12	3	3	9	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
35	0.41	12	3	3	9	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
36	0.32	12	3	3	9	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
37	0.82	12	2	3	11	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
38	0.67	12	2	3	11	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
39	0.49	12	2	3	11	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
40	0.47	12	2	3	11	2	3	3	9	5	2	34	50	12	11
41	0.00	11	2	3	10	4	3	3	10	5	5	36	50	1	1
42	0.00	11	2	14	10	4	3	3	10	5	5	36	50	1	1
43	0.00	11	2	14	10	4	3	3	10	5	5	36	50	1	1
44	0.00	11	2	14	10	4	3	3	10	5	5	36	50	1	1
45	0.00	13	1	14	11	7	4	5	11	7	16	32	70	1	1
46	0.01	13	1	14	11	7	4	5	11	7	16	32	70	1	1
47	0.00	13	1	14	11	7	4	5	11	7	16	32	70	1	1
48	0.00	13	1	14	11	7	4	5	11	7	16	32	70	1	1
49	0.02	11	2	3	9	2	1	3	10	5	4	38	60	1	1
50	0.01	11	2	3	9	2	1	3	10	5	4	38	50	1	1
51	0.03	11	2	3	9	2	1	3	10	5	4	38	50	1	1
52	0.01	11	2	3	9	2	1	3	10	5	4	38	50	1	1
53	0.00	13	2	14	11	8	5	6	11	5	2	28	80	1	5
54	0.00	13	2	14	11	8	5	6	11	5	2	28	80	1	5
55	0.00	13	2	14	11	8	5	6	11	5	2	28	80	1	5
56	0.54	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	1
57	0.62	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	1
58	0.12	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
59	0.71	12	2	3	9	2	1	3	9	5	2	36	50	12	11
60	0.58	12	2	3	9	12	1	3	9	5	16	36	50	12	11
61	0.67	12	2	3	9	12	1	3	9	5	16	36	50	12	11
62	0.03	12	2	3	9	12	1	3	9	5	16	36	50	12	11
63	0.02	12	2	3	9	12	1	3	9	5	16	36	50	12	11
64	0.04	13	1	14	11	8	4	5	11	7	2	32	70	11	5
65	0.20	13	1	14	11	8	4	5	11	7	2	32	70	11	1
66	0.00	13	1	14	11	8	4	5	11	7	2	32	70	11	1
67	0.15	13	1	14	11	8	4	5	11	7	2	32	70	11	1
68	0.01	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
69	0.00	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
70	0.40	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
71	0.00	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
72	0.30	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
73	0.60	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
74	0.33	1	3	4	11	8	1	3	14	7	3	36	40	1	1
75	0.42	13	2	4	12	7	5	5	11	6	2	28	70	11	5

76	0.66	13	2	4	12	7	5	5	11	6	2	28	70	11	5
77	0.65	13	2	4	12	7	5	5	11	6	2	28	70	11	5
78	0.47	13	2	4	12	7	5	5	11	6	2	28	70	11	5
79	0.20	15	2	4	12	7	5	7	11	7	2	24	90	10	10
80	0.07	15	2	4	12	7	5	7	11	7	2	24	90	10	10
81	0.65	15	2	4	12	7	5	7	11	7	2	24	90	10	10
82	0.20	15	2	4	12	7	5	7	11	7	2	24	90	10	10
83	0.24	6	2	4	12	2	7	8	12	7	2	22	100	9	9
84	0.29	6	2	4	12	2	7	8	12	7	2	22	100	9	9
85	0.41	6	2	4	12	2	7	8	12	7	2	20	100	9	1
86	0.14	6	2	4	12	2	7	8	12	7	2	20	100	9	1
87	0.22	13	2	4	12	7	4	5	11	7	2	32	60	11	5
88	0.68	13	2	4	12	7	4	5	11	7	2	32	60	11	5
89	0.36	13	2	4	12	7	4	5	11	7	2	32	60	11	5
90	0.53	13	2	4	12	7	4	5	11	7	2	32	60	11	5
91	0.44	6	2	4	12	2	6	8	13	7	2	24	100	9	1
92	0.36	6	2	4	12	2	6	8	13	7	2	24	100	9	1
93	0.46	6	2	4	12	2	6	8	13	7	2	24	100	9	1
94	0.31	6	2	4	12	2	6	8	13	7	2	24	100	9	1
95	0.00	1	3	20	12	8	3	3	13	6	2	36	40	1	1
96	0.04	1	3	20	12	8	3	3	13	6	2	36	40	1	1
97	0.00	1	3	20	12	8	3	3	13	7	2	36	40	1	1
98	0.00	1	2	20	12	2	4	4	12	6	2	32	40	1	1
99	0.00	1	2	20	12	2	4	4	12	6	2	32	40	1	1
100	0.00	1	2	20	12	2	4	4	12	6	2	32	40	1	1
101	0.28	1	2	20	12	4	5	4	15	9	2	32	60	7	3
102	0.29	2	2	20	12	4	5	4	15	9	2	32	60	7	3
103	0.13	2	2	20	12	4	5	4	15	9	2	32	60	7	3
104	0.37	2	2	20	12	4	5	4	15	9	2	32	60	7	3
105	0.01	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	6	7
106	0.05	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	6	7
107	0.00	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	6	7
108	0.00	2	3	8	16	1	2	3	17	9	6	36	40	1	1
109	0.04	2	3	8	16	1	2	3	17	9	6	36	40	1	1
110	0.00	2	3	8	16	1	2	3	17	9	6	36	40	1	1
111	0.00	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	1	1
112	0.00	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	1	1
113	0.00	2	3	8	16	1	2	3	15	9	6	36	40	1	1
114	0.00	2	3	8	13	2	2	3	18	9	3	36	40	7	1
115	0.00	2	3	8	13	2	2	3	18	9	3	36	40	7	1
116	0.04	2	3	8	13	2	2	3	18	9	3	36	40	7	1
117	0.00	2	3	8	13	2	2	3	18	9	3	36	40	7	1
118	0.25	2	3	20	15	2	1	3	18	9	3	36	40	1	1
119	0.12	2	3	20	15	2	1	3	18	9	3	36	40	1	1
120	0.00	2	3	20	15	2	1	3	18	9	3	36	40	1	1
121	0.00	2	3	20	15	2	1	3	18	9	3	36	40	1	1
122	0.04	2	3	20	15	2	1	3	18	9	3	36	40	1	1
123	0.31	1	2	14	12	2	3	4	13	8	3	32	50	9	9
124	0.12	1	2	14	12	2	3	4	13	8	3	32	50	9	9
125	0.27	8	2	14	12	2	1	4	12	8	3	34	50	9	3
126	0.10	8	2	14	12	2	1	4	12	8	3	34	50	9	3
127	0.09	8	2	14	12	2	1	4	12	8	3	34	50	9	3
128	0.14	5	3	20	12	2	5	6	14	8	3	30	70	10	10

129	0.24	5	3	20	12	2	5	6	14	8	3	30	70	10	10
130	0.19	5	3	20	12	2	5	6	14	8	3	28	70	10	10
131	0.00	1	3	20	12	8	1	3	14	8	3	36	40	1	1
132	0.00	1	3	20	12	8	1	3	14	8	3	36	40	1	1
133	0.00	1	3	20	12	8	1	3	14	8	3	36	40	1	1
134	0.18	1	2	20	12	8	3	4	12	6	2	34	50	9	9
135	0.14	1	2	20	12	8	3	4	12	6	2	34	50	9	9
136	0.12	1	2	20	12	8	3	4	12	6	2	34	50	9	9
137	0.16	12	2	4	12	4	3	4	9	5	2	32	50	12	11
138	0.56	12	2	4	12	4	3	4	9	5	2	32	50	12	11
139	0.23	15	2	14	12	2	6	9	10	6	2	20	110	11	1
140	0.79	15	2	14	12	2	7	9	10	6	2	20	110	11	1
141	0.19	15	2	14	12	2	7	9	10	6	2	20	110	11	1
142	0.19	15	2	14	11	8	5	8	11	5	2	24	100	10	10
143	0.13	11	2	3	11	8	3	4	11	5	2	34	60	2	1
144	0.19	11	2	3	11	8	3	4	11	5	2	34	60	2	1
145	0.12	11	2	3	11	8	3	4	11	5	2	34	60	2	1
146	0.08	15	3	14	11	7	7	8	11	6	2	24	120	10	10
147	0.16	15	3	14	11	7	7	8	11	6	2	24	120	10	10
148	0.17	9	3	19	12	6	6	6	14	7	3	28	70	13	3
149	0.24	9	3	19	12	6	6	6	14	7	3	28	70	13	3
150	0.21	9	3	19	12	6	6	6	14	7	3	28	70	13	3
151	0.00	9	2	19	14	6	5	6	15	7	3	26	70	2	1
152	0.00	9	2	19	14	6	5	6	15	7	3	26	70	2	1
153	0.14	13	2	19	13	6	5	5	11	6	3	32	60	12	1
154	0.12	13	2	19	13	6	5	5	11	6	3	32	60	12	1
155	0.17	13	2	19	13	6	6	5	11	6	3	30	60	12	11
156	0.02	13	2	19	13	6	6	5	11	6	3	30	60	12	11
157	0.10	13	2	19	13	6	6	5	11	6	3	30	60	12	11
158	0.26	12	1	3	9	6	1	3	9	8	16	36	50	11	8
159	0.32	12	1	3	9	6	1	3	9	8	16	36	50	11	8
160	0.26	12	1	3	9	6	1	3	9	8	16	36	50	11	8
161	0.00	11	1	3	11	6	3	4	11	6	2	32	60	10	10
162	316.12	11	1	3	11	6	3	4	11	6	2	32	60	10	10
163	632.87	11	1	3	11	6	3	4	11	6	2	32	60	10	10
164	316.83	14	2	3	11	6	3	5	11	6	3	32	60	10	10
165	317.37	14	2	3	11	6	3	5	11	6	3	32	60	10	10
166	1904.53	2	3	8	16	1	2	3	17	9	6	36	40	1	1
167	0.00	2	3	8	16	1	2	3	17	9	6	36	40	1	1

A3= TIPO DE CLIMA

A6= EDAFOLOGIA (TEXTURA)

A7= SUELOS DOMINANTES

A9= EVAPOTRANSPIRACION

A11= HIDROGEOLOGIA

A12= HIPSOMETRIA

A16= ISOTERMAS

A17= ISOYETAS

A19 = PRECIP. MEDIA ANUAL

A20= RELIEVE ATRACTIVO NATURAL

A26= TEMP. MAX. PROMEDIO

A27= TEMP. MIN. PROMEDIO

A28= USO DEL SUELO (INEGI)

A29= VEGETACION RZEDOWSKI

4.3.2. Selección y depuración de árboles de clasificación y regresión

Las variables más usadas en la estimación de las cargas de los siete tipos de combustibles, fueron HIPSOMETRIA y USO DE SUELO (INEGI) (Cuadro 8). Estas fueron geoestadísticamente importantes para estimar los combustibles de 1-hora, de 100-horas, la hojarasca y la capa de materia orgánica y material descompuesto. Hubo varias variables que fueron útiles para la estimación de solo un tipo de combustible, como por ejemplo la variable TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO y la de PROVINCIAS BIOTICAS. Las cuales se usaron para la estimación de las cargas de combustibles de 10-horas y 1-hora respectivamente. También hubo variables que solo fueron útiles para la estimación de un solo tipo de combustibles.

En total fueron 24 las variables usadas para la estimación de las cargas de los siete tipos de combustibles: 1) Provincias biogeográficas; 2) Tipo de clima; 3) Cuencas; 4) Regiones hidrológicas; 5) Edafología (textura); 6) Suelos dominantes; 7) Evapotranspiración; 8) Provincias fisiográficas; 9) Hidrogeología; 10) Hipsometría; 11) Rangos de humedad; 12) Insolación media anual; 13) Insolación mínima; 14) Isotermas; 15) Isoyetas; 16) Provincias bióticas; 17) Precipitación media anual, 18) Régimen de humedad del suelo; 19) Regiones naturales; 20) Temperatura media anual; 21) Temperatura máxima promedio; 22) Temperatura mínima promedio; 23) Uso actual del suelo (INEGI); 24) Vegetación de acuerdo con Rzedowski.

Cuadro 8. Variables auxiliares usadas para la estimación de cargas de combustibles forestales en el estado de Chiapas

PODRIDOS	X	X	X	X
----------	---	---	---	---

A2= PROVINCIAS BIOGEOGRAFICAS	A9= EVAPOTRANSPIRACION	A15= INSOLACION MINIMA	A23= REGIONES NATURALES
A3= TIPO DE CLIMA	A10= PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	A16= ISOTERMAS	A25= TEMP. MEDIA ANUAL
A4= CUENCAS	A11= HIDROGEOLOGIA	A17= ISOYETAS	A26= TEMP. MAX. PROMEDIO
A5= REGIONES HIDROLOGICAS	A12= HIPSOMETRIA	A18= PROVINCIAS BIOTICAS	A27= TEMP. MIN. PROMEDIO
A6= EDAFOLOGIA (TEXTURA)	A13= RANGOS DE HUNEDAD	A19 = PRECIP. MEDIA ANUAL	A28= USO DEL SUELO (INEGI)
A7= SUELOS DOMINANTES	A14= INSOLACION MEDIA ANUAL	A22= REGIMEN DE HUMEDAD SUELO	A29= VEGETACION RZEDOWSKI

A continuación se presentan los estadísticos resultantes de cada uno de los árboles de regresión que se definieron para los tipos de combustibles. En estos se presenta el número de variables que se usaron en la construcción de los árboles de regresión, así como el número de nodos terminales resultantes en cada caso. Estos últimos se refieren a las puntas terminales en las que finalizan las "ramas" de los árboles. Es decir, donde el criterio binario (mayor o menor del valor de cierta variable) ya no se aplica, ya que se ha asignado un valor final a la celda que se esté calificando. Otro estadístico que se presenta es la desviación media de los residuales (errores de estimación), con base a la cual se seleccionaron los árboles de regresión más adecuados. Finalmente, se muestran estadísticos específicos definidos por los residuales resultantes de las estimaciones: a) valor mínimo; b) primer cuartil; c) mediana; d) tercer cuartil; e) valor máximo.

1 HORA

Variables actually used in tree construction:

[1] "A22" "A5" "A18" "A9"

Number of terminal nodes: 5

Residual mean deviance: $22310 = 3614000 / 162$

Distribution of residuals:

Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.

-238.1 -0.2231 -0.08663 2.383e-015 0.1445 1666

10 HORAS

Variables actually used in tree construction:

[1] "A28" "A6" "A7" "A22" "A14" "A11" "A29" "A12" "A26" "A9" "A3" "A16"

[13] "A15"

Number of terminal nodes: 19

Residual mean deviance: $1.597 = 236.4 / 148$

Distribution of residuals:

Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.

-3.521 -0.5094 0 1.263e-017 0.4513 4.961

100 HORAS

Variables actually used in tree construction:

[1] "A29" "A28" "A22" "A3" "A17" "A4" "A10" "A11" "A13" "A7" "A2"

Number of terminal nodes: 16

Residual mean deviance: $1.183 = 178.6 / 151$

Distribution of residuals:

Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.

-3.779 -0.2611 0 2.859e-017 0 5.669

FIRME

Variables actually used in tree construction:

[1] "A16" "A12" "A3" "A25"

Number of terminal nodes: 6

Residual mean deviance: $30190 = 4861000 / 161$

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-442.3	-2.523	-2.523	-1.284e-014	-2.523	1769

PODRIDO

Variables actually used in tree construction:

[1] "A28" "A7" "A12" "A19"

Number of terminal nodes: 5

Residual mean deviance: $30.97 = 5018 / 162$

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-7.76	-0.1067	-0.08897	-3.013e-016	-0.08897	54.79

HOJARASCA

Variables actually used in tree construction:

[1] "A23" "A28" "A11" "A12" "A17" "A22" "A2" "A5" "A19" "A9" "A25"

Number of terminal nodes: 17

Residual mean deviance: $3.385 = 507.7 / 150$

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-5.49	-0.7544	-0.06972	9.307e-017	0.6053	9.614

FERMENTACION (M.O.)

Variables actually used in tree construction:

[1] "A16" "A28" "A3" "A2" "A9" "A27" "A13" "A12" "A29" "A10" "A17"

Number of terminal nodes: 16

Residual mean deviance: $7.434 = 1122 / 151$

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-10.79	-0.9826	-0.2134	-2.952e-016	0.8262	17.99

4.3.3. Aplicación de árboles de clasificación y regresión

El propósito de esta fase es el de mostrar los árboles de regresión usados para la generación de las superficies continuas (mapas) de cada uno de los tipos de combustibles. Estos árboles se presentan en forma gráfica, lo cual permite entender mejor cuales fueron los criterios usados en la clasificación de cada píxel. Para entender esto se describirá el proceso a través de un ejemplo. Tomando el caso de los combustibles de 1-hora (Figura 2), lo que se busca es obtener una representación gráfica (superficie continua) de este tipo de combustibles, con base a una cuadrícula definida por el tamaño de las celdas (píxeles) y el tamaño del área a modelar. En este caso se trabajó con píxeles de 90 x 90 m, en un área delimitada por el mismo contorno del estado de Chiapas. La idea es que cada variable auxiliar esté representada por un mapa (cuadrícula), con la misma resolución espacial (90 x 90 m). En teoría se tiene una cuadrícula final, pero vacía, que representa el marco del mapa temático final (combustibles de 1-hora). Como se señala, inicialmente cada cuadro (píxel) se encuentra vacío, a los cuales se les asignará un valor con base a los criterios establecidos por los modelos de regresión (árboles). Volviendo al caso de combustibles de 1-hora, la opción binaria inicial es saber si el píxel a calificar tiene un valor de “régimen de humedad del suelo (A22)” mayor o menor a 5.5. Digamos que el valor del píxel en cuestión es de 4.7. Esto implica que el valor es menor, por lo que se debe seguir con la rama izquierda del árbol. La cual establece nuevamente una opción binaria. En esta ocasión se debe establecer si el píxel a calificar ubica un valor mayor o menor a 66 (Regiones hidrológicas [A5]). Digamos que el píxel en cuestión tiene un valor de 75. Esto implica que el valor es mayor, por lo que se debe seguir la rama derecha. Por lo que nuevamente se cae en una nueva opción binaria, la cual es definir si el valor de “provincias bióticas (A18)” es mayor o menor de 0.5. Suponiendo que el valor es de 0.83, entonces se debe tomar la rama derecha. Finalmente, en este caso, no se plantea una nueva opción binaria, sino mas bien se ubica una punta terminal de la rama, la cual se conoce como “nodo terminal”. El valor que se indica en este nodo, siguiendo el ejemplo, seria de 0.2231, el cual se refiere a la carga de combustibles de 1-hora (tn/ha) que corresponden al píxel en cuestión. Este proceso es seguido por cada uno de los píxeles que conforman la cuadrícula, obteniéndose las superficies continuas correspondientes.

A continuación se presentan cada uno de los árboles de regresión, que explican gráficamente los criterios de definición de las cargas de combustibles, para los siete diferentes tipos.

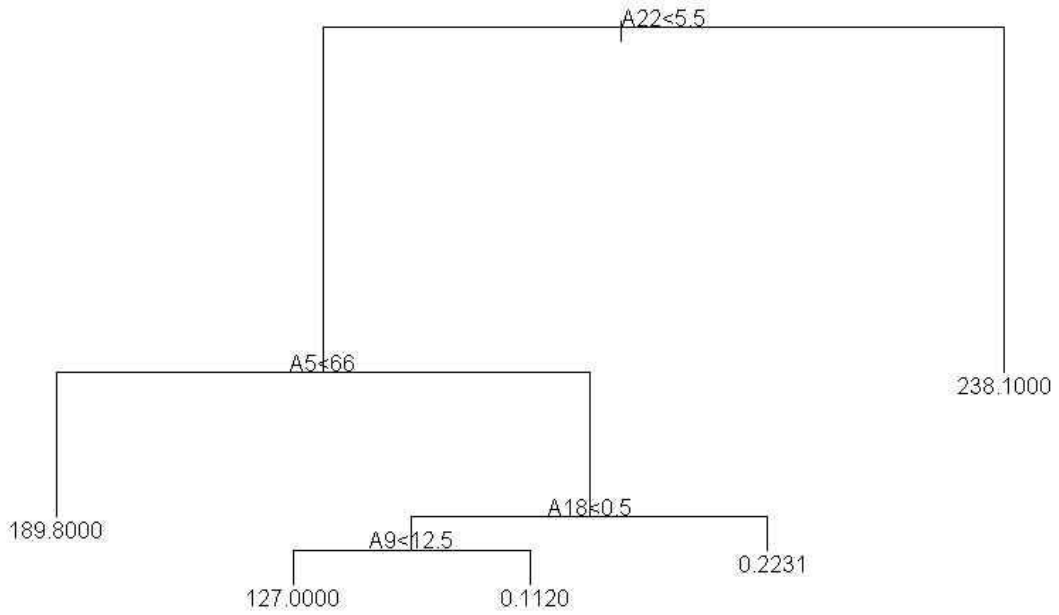


Figura 12. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de 1-HORA en el estado de Chiapas.

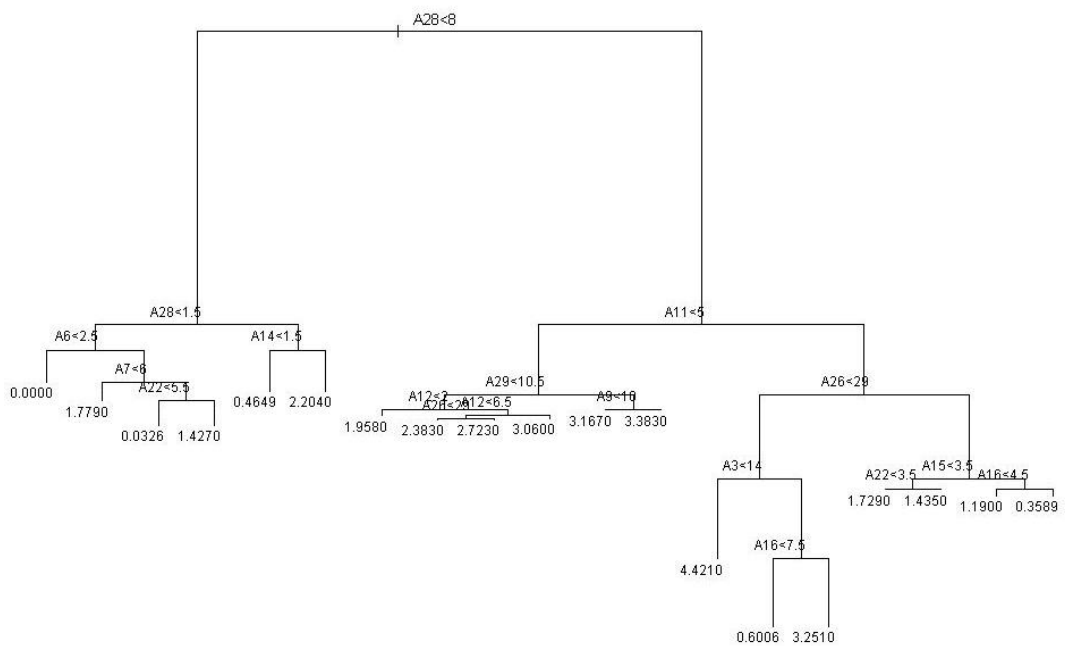


Figura 13. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de 10-HORAS en el estado de Chiapas.

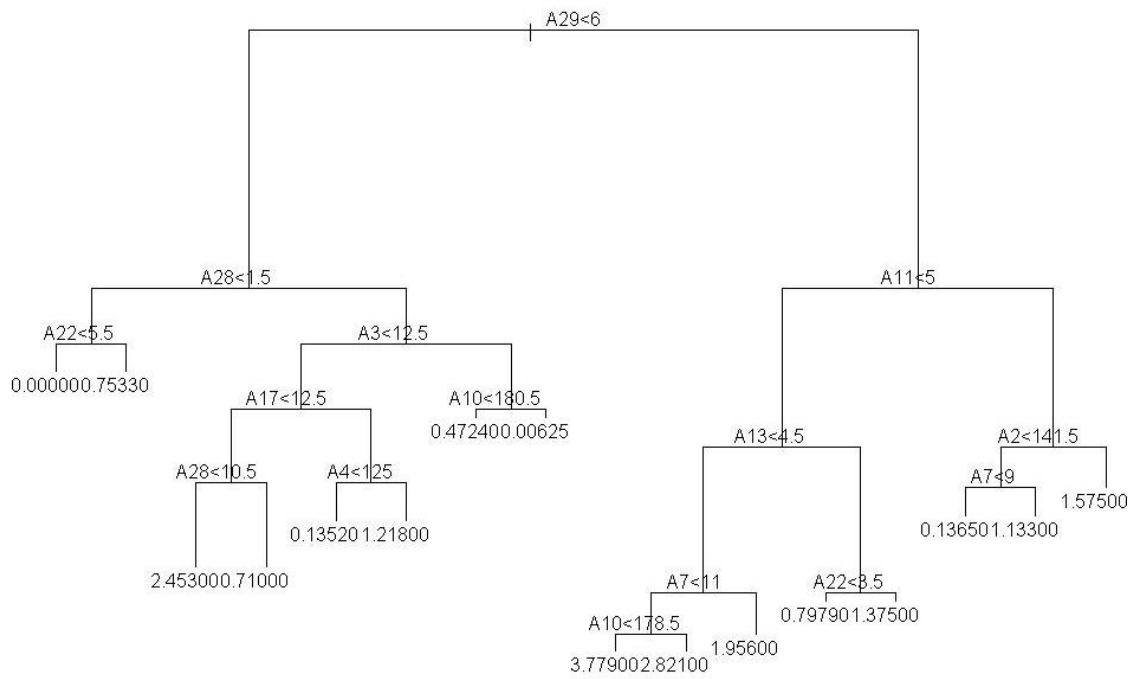


Figura 14 . Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de 100-HORAS en el estado de Chiapas.

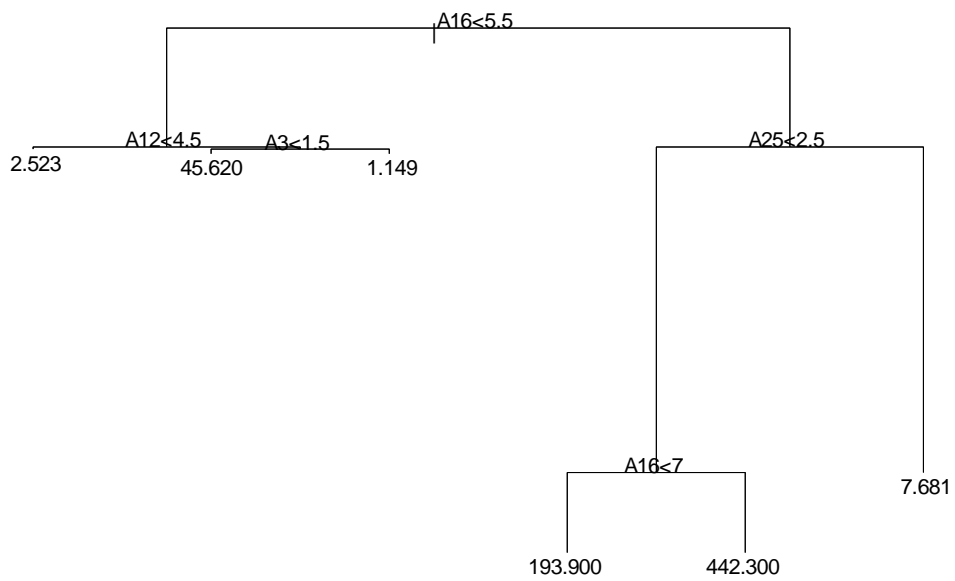


Figura 15. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de FIRMES en el estado de Chiapas.

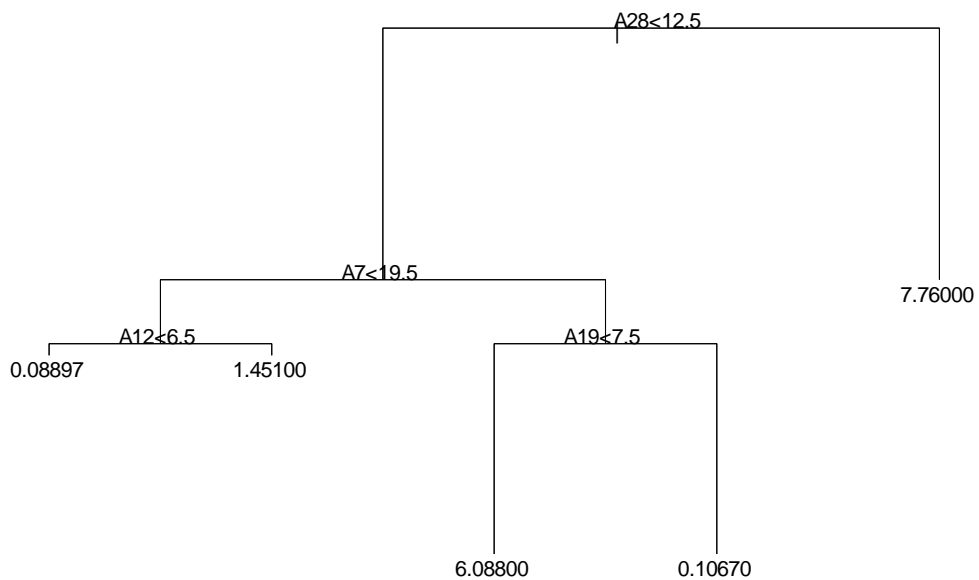


Figura 16. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de PODRIDOS en el estado de Chiapas.

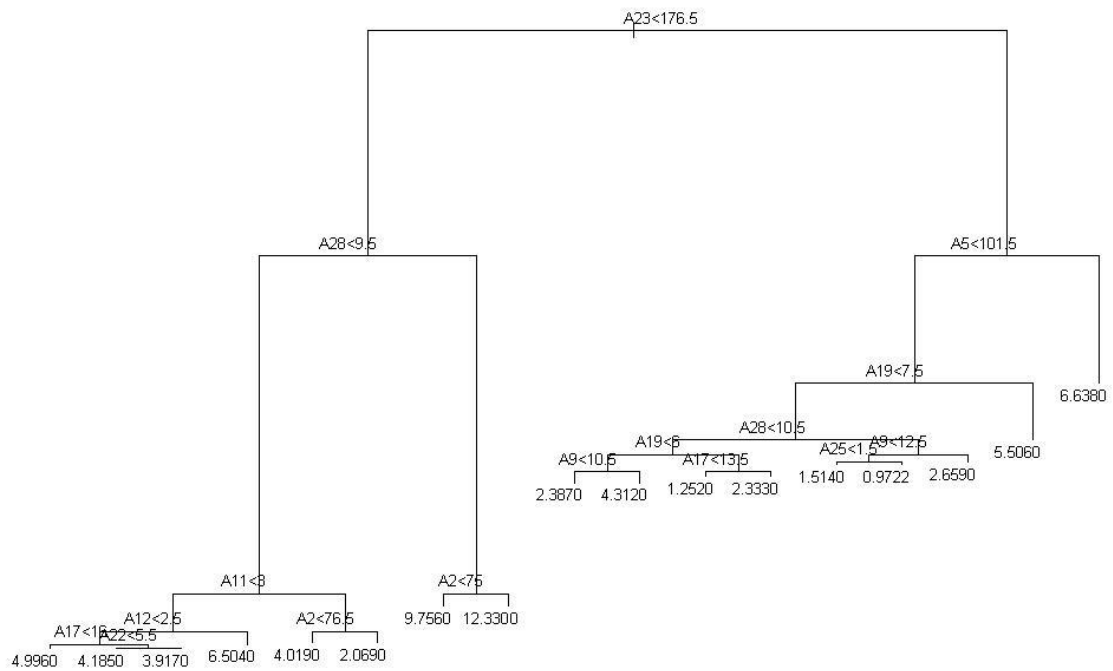


Figura 17. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de HOJARASCA en el estado de Chiapas.

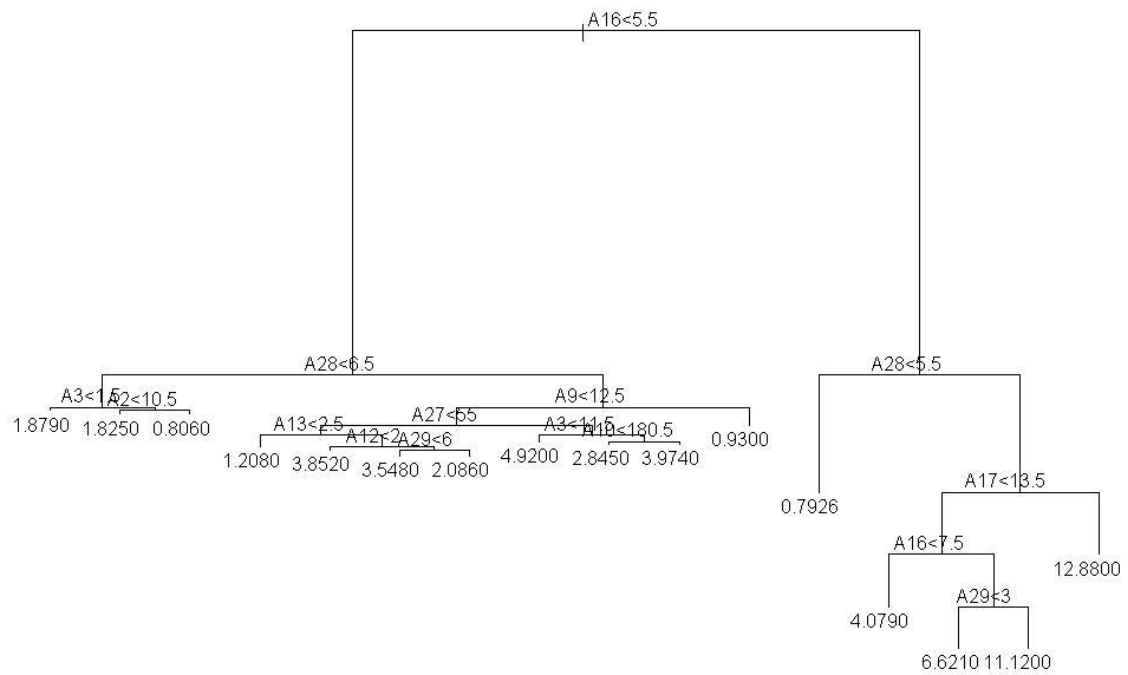


Figura 18. Representación gráfica del árbol de regresión usado para la estimación de combustibles de FERMENTACION (M.O.) en el estado de Chiapas.

4.4. Elaboración de mapas temáticos de combustibles forestales para el Estado de Chiapas

4.4.1. Generación de superficies continuas de combustibles forestales.

El propósito en esta fase es la obtención de la representación gráfica de los resultados de los modelos de regresión (árboles). Esto se hace a través de un sistema de información geográfica, por medio del cual se puede manipular la información resultante. Por manipular se refiere a clasificar u ordenar los resultados, de tal forma que el producto gráfico obtenido sea de fácil interpretación por el lector.

Las representaciones gráficas que se presentan en esta fase no son otra cosa mas que la asignación de colores a los píxeles de las cuadrículas, con base a cierto rango de valores de cargas de combustibles. Lo que se obtiene, en su conjunto, es una superficie continua de valores (colores), es decir que a cada píxel le siguen en forma otros píxeles con valores específicos, que lo ubican en una clasificación u otra. El término de superficie continua tal vez se entienda mejor si se considera que la alternativa opuesta sería la representación de las cargas de combustibles por medio de puntos. Lo cual sería una representación puntual, que no permite definir una continuidad en el mapa final. Por lo que al manejar la información a nivel de píxel, conteniendo cada píxel un valor dado, es posible darle continuidad a la variación espacial de las cargas de combustibles. Con lo cual, a su vez, se definen superficies continuas, que permiten clasificar píxeles con valores similares (dentro de cierto rango). Las superficies continuas son la base para la definición de los mapas temáticos finales. Los cuales se presentan posteriormente.

A continuación se presentan las superficies continuas resultantes de la aplicación de los árboles de regresión que se usaron para estimar las cargas de combustibles, para cada uno de los siete tipos correspondientes a lo largo del estado de Chiapas. La tabla de rangos de valores que se presenta como leyenda, corresponden a las clases de cargas de combustibles (tn/ha), y no representan un rango específico. Como se mencionó este rango puede manipularse de acuerdo a los objetivos específicos que se persigan. Esta es una de las ventajas de administrar la información a través de un sistema de información geográfica.

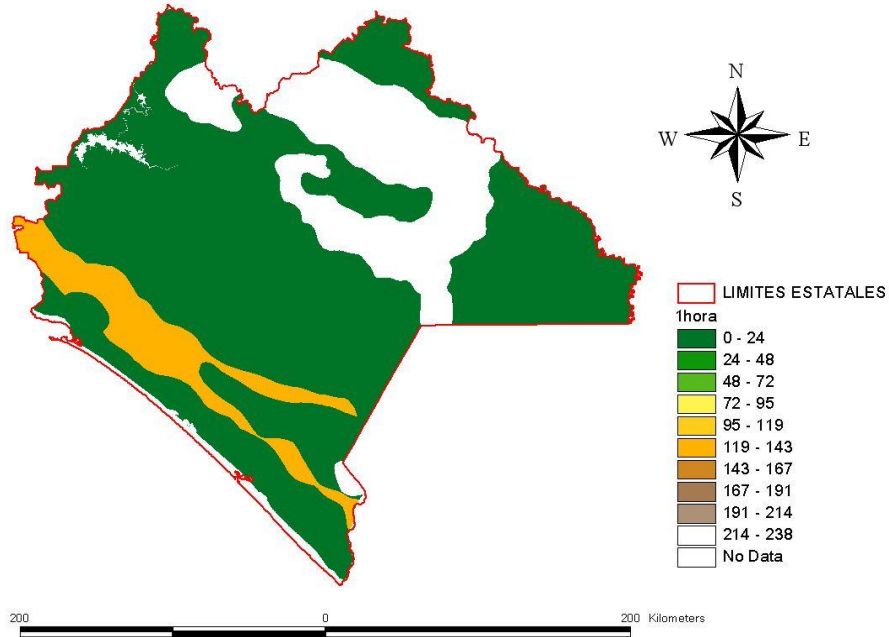


Figura 19. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles de 1-HORA.

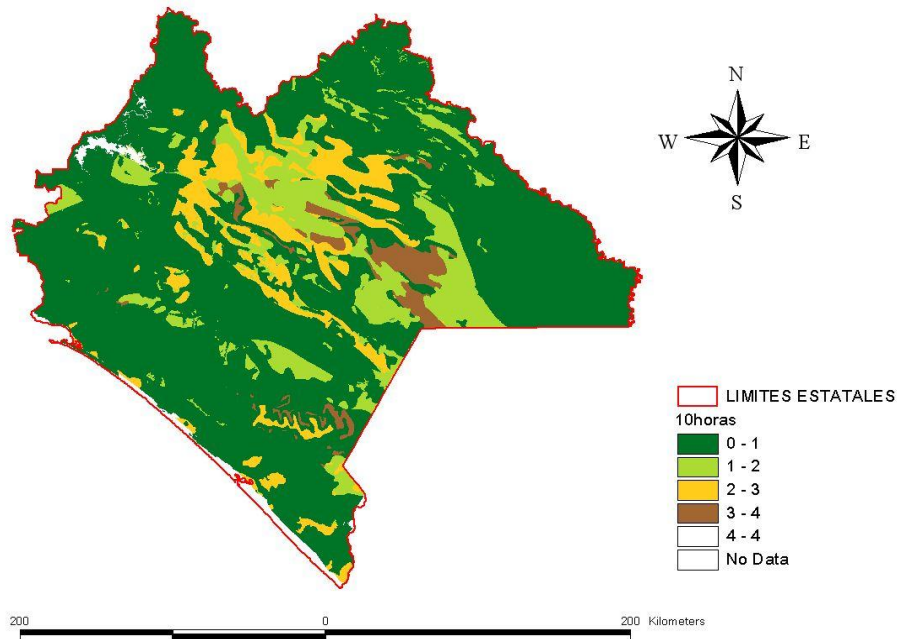


Figura 20. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles de 10-HORAS.

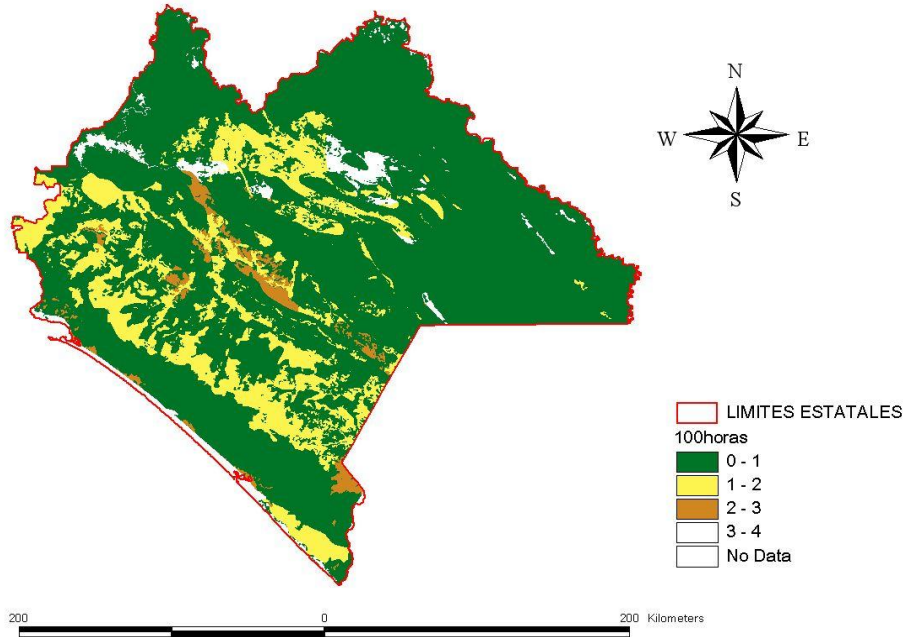


Figura 21. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles de 100-HORAS.

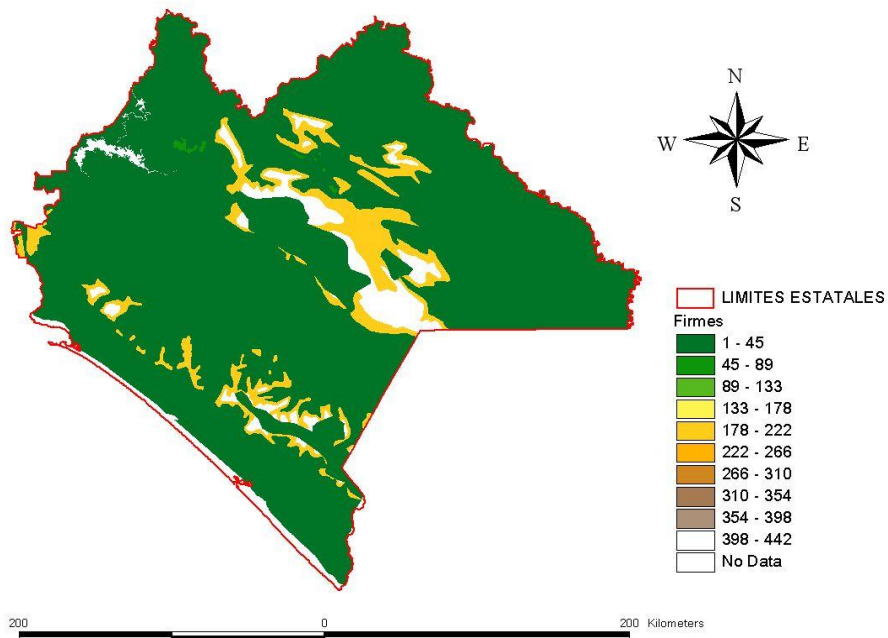


Figura 22. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles FIRMES.

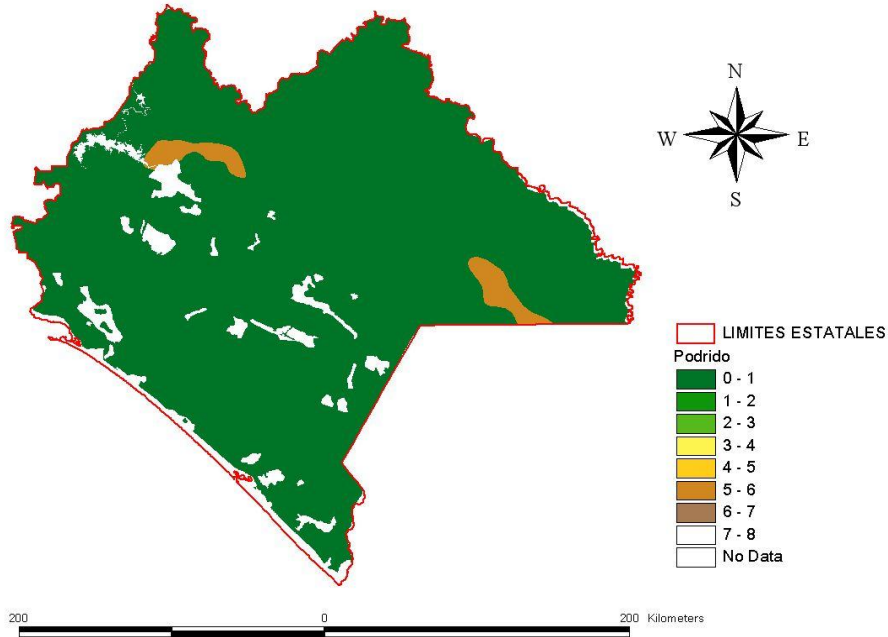


Figura 23. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles PODRIDOS.

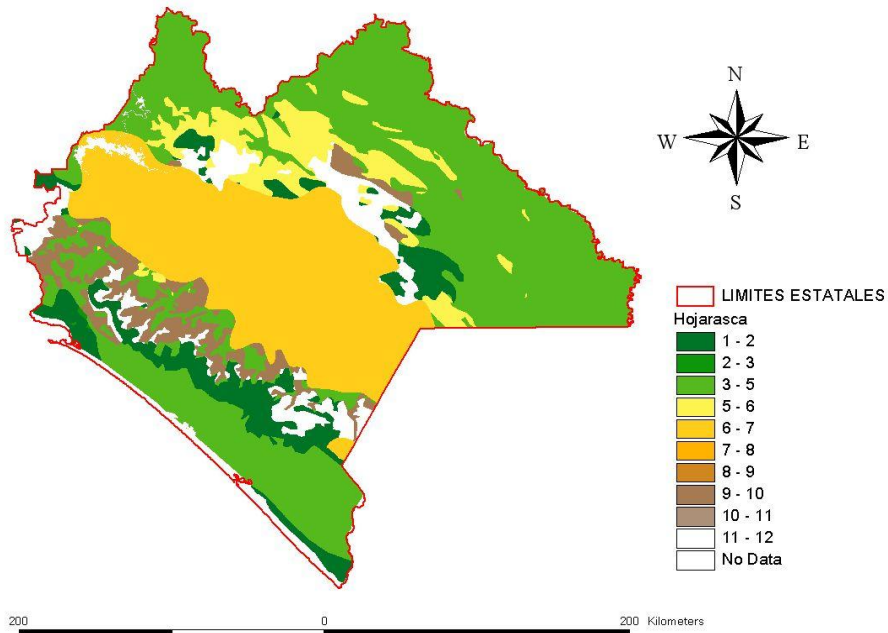


Figura 24. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles de HOJARASCA.

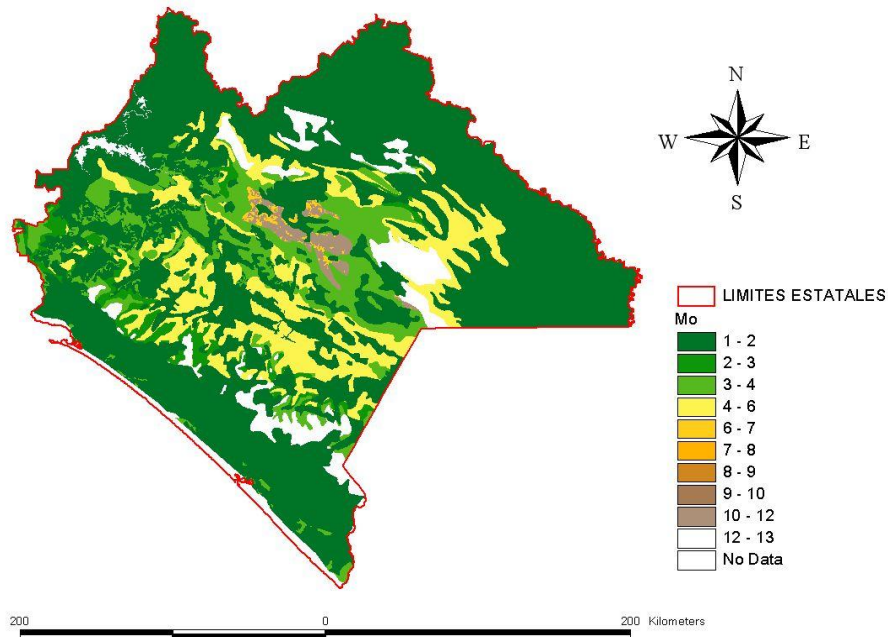


Figura 25. Superficie continua resultante de la aplicación del árbol de regresión para estimar la distribución espacial de combustibles de FERMENTACION (M.O).

4.4.2. Realización de mapas por tipo de combustibles forestales

Uno de los principales productos finales de este trabajo lo es la representación gráfica de la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales, que se presentan para todo el estado de Chiapas. Este producto es derivado de las superficies continuas generadas anteriormente, las cuales ya tienen muchos elementos para ser considerados como productos, tales como escala, orientación, ubicación, etc. En esta sección se formaliza lo que es un mapa temático, por cada uno de los tipos de combustibles forestales. De esta forma se describe los elementos que se presentan en los mapas y se establece un marco de información apropiado.

A continuación se presentan catorce mapas temáticos, que corresponden a los siete tipos de combustibles. Siendo importante señalar que las escalas son aproximadas. La escala fue obtenida de la información proporcionada por las fuentes de información consultadas (INEGI y CONABIO).

Esta información temática está contenida en el sistema de información geográfica con el que se trabajó en este proyecto, por lo que es posible presentar la información en otro formato. Además de esto se pueden hacer cálculos específicos, como son de superficie o perímetros, así como de

frecuencias de un aspecto en particular. También se puede obtener porciones del área ampliadas, lo cual estará solo limitado a la resolución espacial de los píxeles (100 x 100 m).

Es importante recordar que la distribución espacial de las cargas de combustibles, que se presentan en estos mapas, son producto del modelaje con árboles de regresión. Los cuales, a su vez, basan su precisión en tres factores esenciales: a) el número de muestras; b) la variación espacial de cargas de combustibles; y c) el grado de asociación entre las variables auxiliares con los combustibles forestales. De estos factores, el único que podemos modificar es el tamaño de muestra. Por lo que se recomienda que, en lo posible, se evalúen más sitios de muestra a lo largo del estado de Chiapas. Esta información podrá ser analizada mas fácilmente, ya que se cuenta con sistemas de información geográfica, donde se administra la información de este estado.

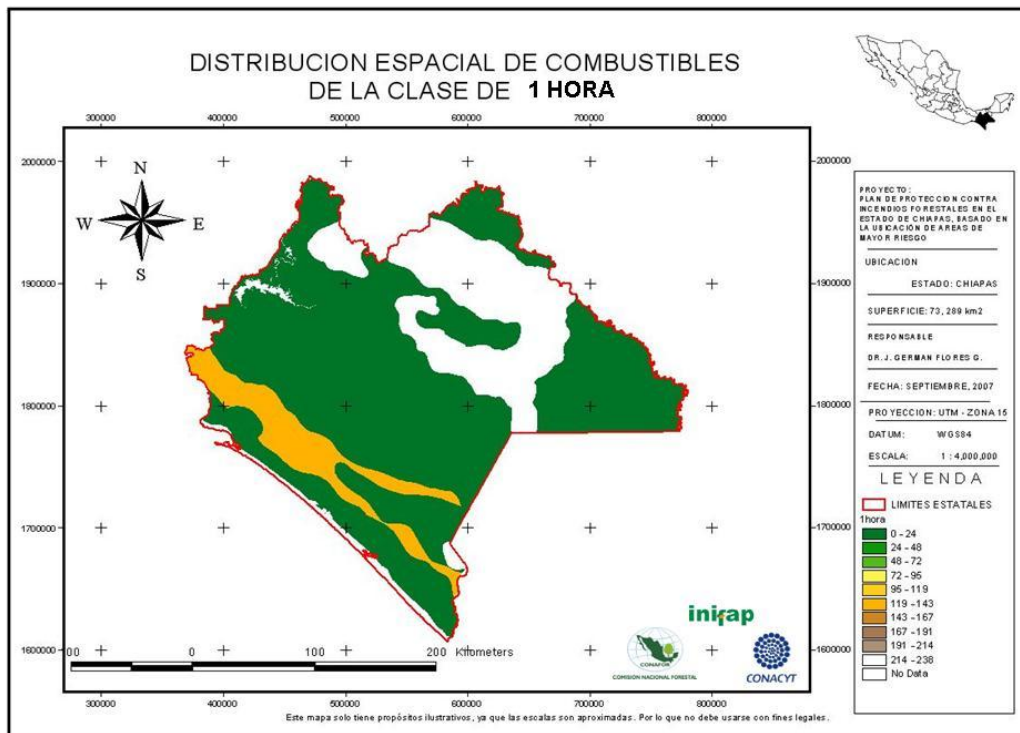


Figura 26. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de 1-HORA del estado de Chiapas.

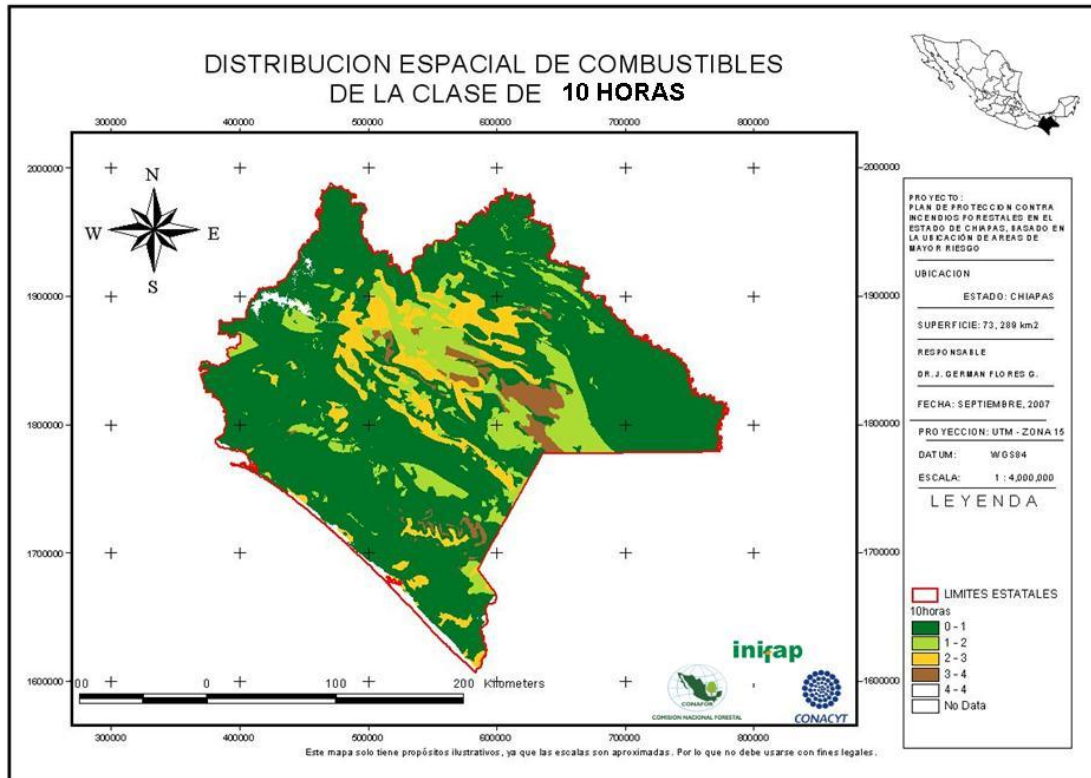


Figura 27. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de 10-HORAS del estado de Chiapas.

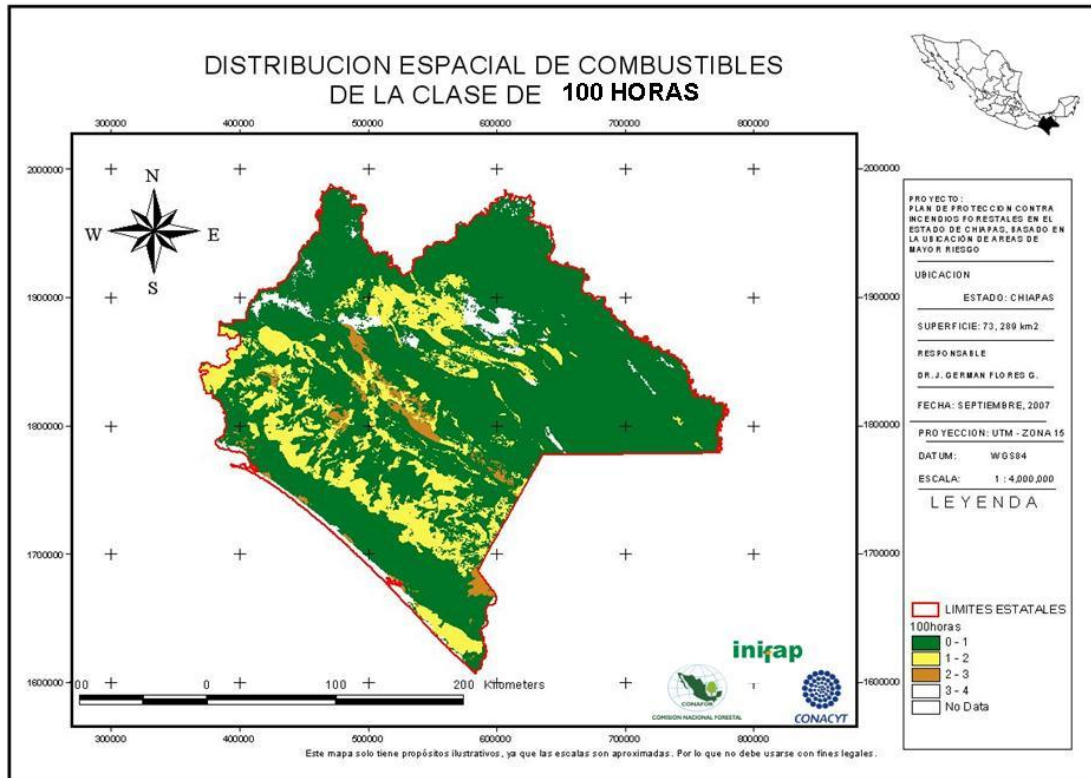


Figura 28. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de 100-HORAS del estado de Chiapas.

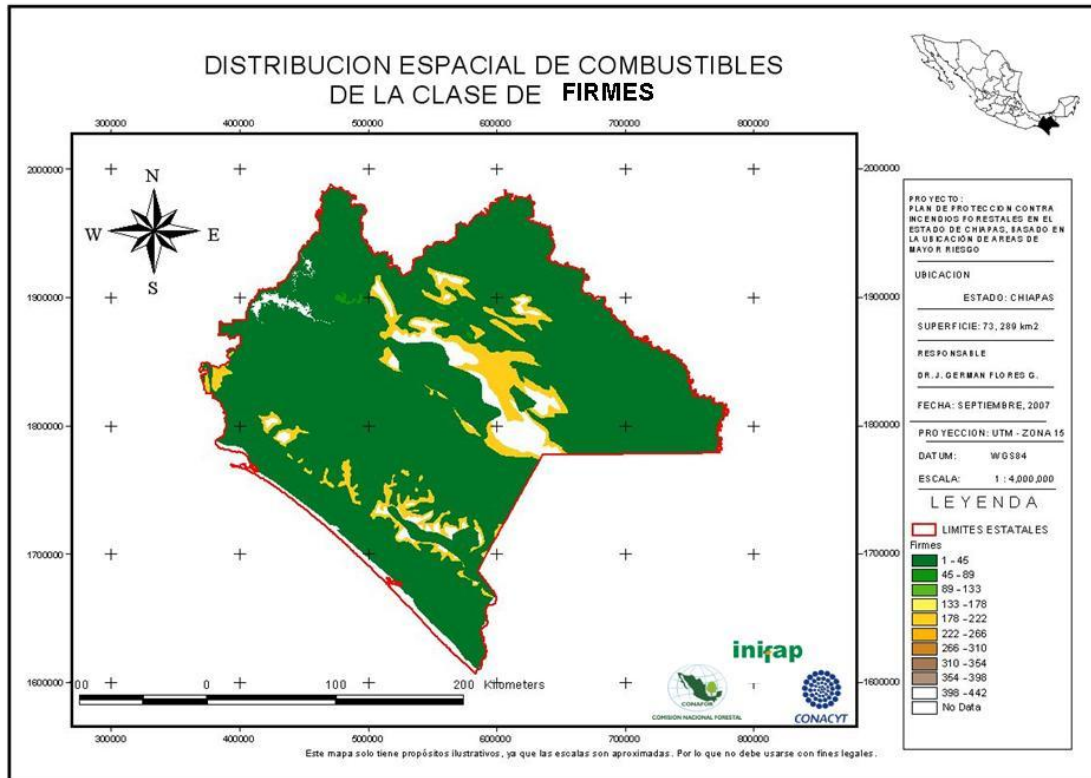


Figura 29. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles FIRMES del estado de Chiapas.

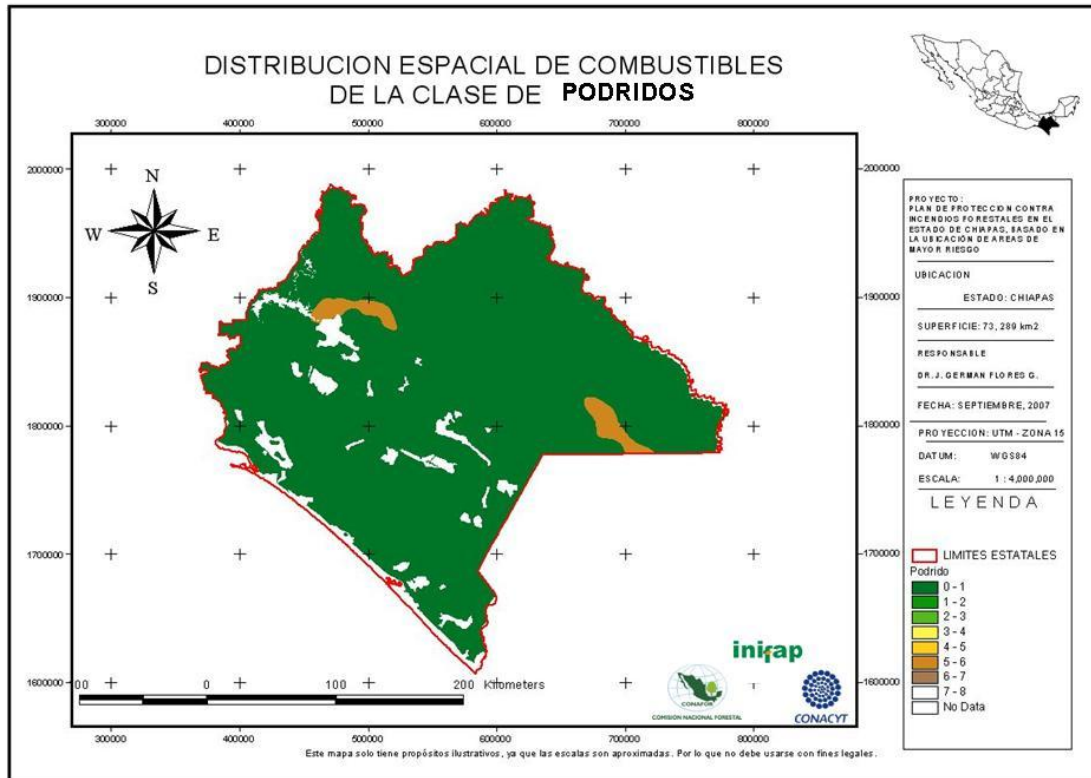


Figura 30. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles PODRIDOS del estado de Chiapas.

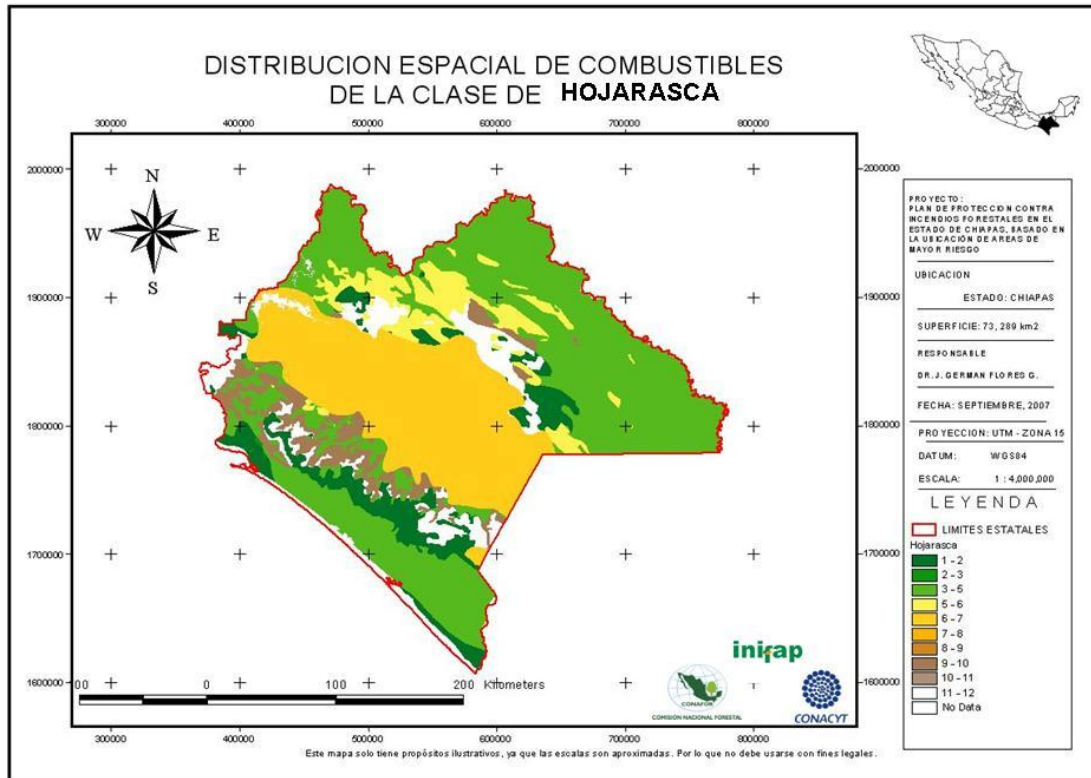


Figura 31. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de HOJARASCA del estado de Chiapas.

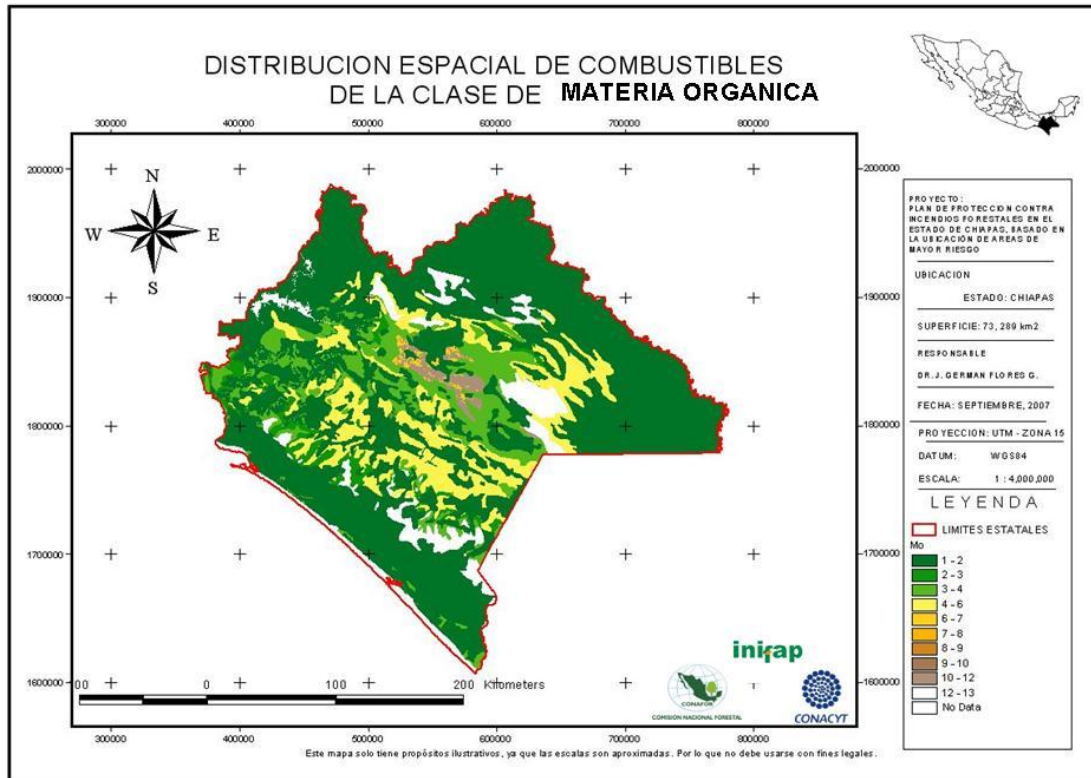


Figura 32. Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de FERMENTACION (M.O.) del estado de Chiapas.

A continuación se presentan los principales estadísticos resultantes de cada uno de los mapas de combustibles, los cuales permiten dimensionar la variabilidad de las estimaciones:

1hora

Statistics:

Minimum Value: 0.112000003457
Maximum Value: 238.100006103516

Mean Value: 59.692233076934
Standard Deviation: 97.12668841625
Variance: 9433.593602707266
Range: 237.988006100059

10 horas

Statistics:

Minimum Value: 0
Maximum Value: 4.421000003815
Mean Value: 1.101399760465
Standard Deviation: 1.095948998124
Variance: 1.20110420649
Range: 4.421000003815

100 horas

Statistics:

Minimum Value: 0
Maximum Value: 3.779000043869
Mean Value: 0.69356276556
Standard Deviation: 0.933192527223
Variance: 0.870848292865
Range: 3.779000043869

Firmes

Statistics:

Minimum Value: 1.149000048637
Maximum Value: 442.299987792969
Mean Value: 37.430786365848
Standard Deviation: 100.384291974487
Variance: 10077.006075219004
Range: 441.150987744331

Podridos

Statistics:

Minimum Value: 0.088969998062
Maximum Value: 7.760000228882
Mean Value: 0.598883366514
Standard Deviation: 1.834395808486
Variance: 3.36500798219
Range: 7.67103023082

Hojarasca

Statistics:

Minimum Value: 1.251999974251
Maximum Value: 12.329999923706
Mean Value: 5.874395173114
Standard Deviation: 2.498618860136

Variance: 6.243096208226
Range: 11.077999949455

Materia orgánica

Statistics:

Minimum Value: 0.792599976063
Maximum Value: 12.880000114441
Mean Value: 2.946764114217
Standard Deviation: 3.014957523899
Variance: 9.089968870917
Range: 12.087400138378

4.5. Realización de mapas de riesgo e impacto potencial de incendios forestales

Los ecosistemas forestales en México se ven afectados por varios factores, pero entre ellos existe uno que provoca una serie de cambios, a varios niveles (ecológico, social, político y económico), en un tiempo corto. Este factor es el fuego, el cual debe entenderse como un elemento más de los ecosistemas forestales. Los incendios forestales son uno de los eventos más importantes, ya que en poco tiempo puede afectar grandes extensiones de bosque. Causando pérdidas económicas, de biodiversidad y en ocasiones cobra vidas humanas. En México cuando menos el 80 % de la superficie cubierta por bosques es sometida a incendios periódicos provocados por el hombre.

Para contrarrestar los perjuicios del fuego se han desarrollado muchas medidas de combate de incendios, los cuales en general se clasifican en medidas de control y medidas de prevención. Sin embargo, para lograr el entendimiento de este fenómeno aún existen, en México, muchas cosas por hacer, principalmente en lo que se refiere en materia del comportamiento del fuego. De tal manera se hace necesario aplicar metodologías que han funcionado en otros países, como son la aplicación de quemas controladas. Estas se apoyan en el principio de que los efectos del fuego sobre el recurso forestal son en ocasiones benéficos. Este tipo de quemas son utilizadas ampliamente en varios países como apoyo a sus planes de manejo integral. Sin embargo en México se ha fomentado muy poco su uso, principalmente a nivel experimental, esto se debe básicamente a la información insuficiente sobre los efectos en las condiciones de cada bosque. Además debe remarcarse la escasa información sobre el comportamiento del fuego en este tipo de quemas, lo cual hace difícil su prescripción de comportamiento. Debido a esto, el propósito de la presente sección fue hacer un análisis de dos factores importantes en el manejo del fuego: a) potencial de riesgo de incendio; y b) potencial de impacto del fuego. Aunque los resultados presentan variaciones importantes, la información generada es muy útil tanto en la toma de decisiones para la prevención y combate de los incendios forestales, como para la aplicación de quemas prescritas.

El trabajo se enfoca a probar dos hipótesis referentes a que las cargas de combustibles determinan: a) el riesgo potencial de la ocurrencia y propagación de los incendios forestales; y b) el impacto potencial que los incendios pueden provocar. Referente a la primera, el Cuadro 3 resume los criterios de cargas de combustibles que se usaron para definir las áreas por riesgo de incendios forestal. En esta se consideran solo tres clases de combustibles (hojarasca, materia orgánica y combustibles de 1-hora). Esto es debido a que se considera que estos combustibles pierden y ganan humedad (del ambiente) en forma muy rápida, lo cual los hace más susceptibles a los incendios. De igual forma se considera que estos combustibles, debido a su naturaleza (pequeñas dimensiones), propagan mucho más fácilmente el fuego. Ya que además de la pérdida de humedad de estos combustibles por el hecho de balancearse con la humedad ambiental, son susceptibles a perder humedad

más rápidamente debido al mismo calor generado por el incendio.

La lógica dentro del álgebra de mapas que se usó para determinar las áreas de riesgo de incendio, fue la de incluir (“o”), más que limitar (“y”), los rangos quede cargas de combustibles que se considera para cada clase de combustibles. Por ejemplo, en el caso del nivel de riesgo alto se consideraron las áreas con cargas de hojarasca mayores a las 5 toneladas por hectárea, o que tuvieran más de 4 toneladas por hectárea de materia orgánica, o más de 150 tn/ha de combustibles de 1-hora.

Cuadro 9. Criterios de clasificación de niveles de riesgo de incendio para el estado de Chiapas, basado en las cargas de combustibles (tn/ha).

CLASE DE COMBUSTIBLES	ALTO	MEDIO	BAJO
Hojarasca	> 5	2 - 5	0 - 5
Materia Orgánica	> 4	2 - 4	0 - 2
1 Hora	> 150	70 -150	0 - 70

Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 33, donde puede observarse que la mayor parte del estado de Chiapas está clasificada dentro de un alto riesgo de incendio. Mientras que una porción similar corresponde al nivel de riesgo medio. Por el contrario, es muy pequeña el área que se considera como de riesgo bajo. Siendo importante remarcar que los resultados son producto de un modelaje, que puede ser calibrado en el momento en que se cuente con un mayor número de sitios de muestreo. Siendo este uno de los principales propósitos de este trabajo, es decir que lo que se define es un sistema de análisis de información espacial referente a combustibles forestales. El cual se puede alimentar con nueva información, lográndose resultados más precisos. De esta forma lo que se persigue es que las diferentes dependencias que puedan hacer inventarios de combustibles, como son universidades, CONAFOR, INIFAP, ECOSUR, etc., puedan colaborar con un mayor número y mayor distribución de sitios muestreados. Y con esto tender a aumentar la precisión de los resultados.

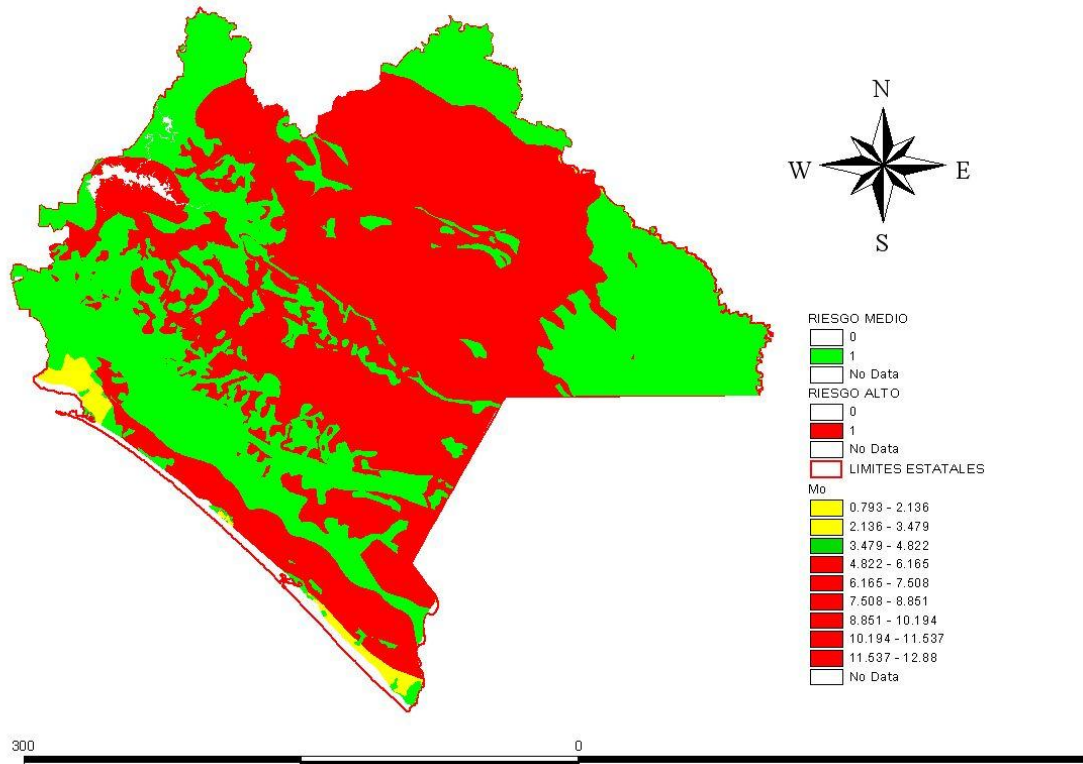


Figura 33. Mapa de áreas de riesgo de incendio para el estado de Chiapas.

En cuanto al impacto que pueden provocar los incendios forestales, el Cuadro 10 resume los criterios de cargas de combustibles que se usaron para definir las áreas por impacto de incendio forestal. En este caso se consideran cuatro clases de combustibles (combustibles de 10-horas, 100-horas, firmes y podridos). Esto es debido a que se considera que estos combustibles pueden generar altas intensidades de calor, siempre y cuando su contenido de humedad sea bajo. De igual forma se considera que estos combustibles, debido a su naturaleza (grandes dimensiones), ganan o pierden humedad mucho más lentamente.

La lógica dentro del álgebra de mapas que se usó para determinar las áreas de impacto potencial fue la misma que para el caso de las áreas de riesgo de incendio. Es decir, fue la de incluir (“o”), más que limitar (“y”), los rangos de cargas de combustibles que se considera para cada clase de combustibles. Por ejemplo, en el caso del nivel de impacto alto se consideraron las áreas con cargas de combustibles de 10 horas mayores a las 2.5 toneladas por hectárea, o que tuvieran más de 1 tonelada por hectárea de combustibles de 100-horas, o más de 50 tn/ha de combustibles firmes, o más de 5 tn/ha de combustibles podridos.

Cuadro 10. Criterios de clasificación de niveles de impacto de incendio para el estado de Chiapas, basado en las cargas de combustibles (tn/ha).

CLASE DE COMBUSTIBLES	ALTO	MEDIO	BAJO
10-Horas	> 2.5	1 – 2.5	0 - 1
100-Horas	> 1	0.5 - 1	0 – 0.5
Firmes	> 50	10 -50	1 - 10
Podridos	> 5	1 – 5	0 - 1

Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 34, donde puede observarse que en el estado de Chiapas se distribuyen, más o menos, en forma balanceada los tres niveles de impacto del fuego. No obstante, es claro que los niveles alto y medio predominan en la zona centro del estado. Mientras que las áreas con bajo nivel de impacto se encuentran en la costa, y las partes hacia el norte. Siendo importante remarcar que los resultados son producto de un modelaje, que puede ser calibrado en el momento en que se cuente con un mayor número de sitios de muestreo. Siendo este uno de los principales propósitos de este trabajo, es decir que lo que se define es un sistema de análisis de información espacial referente a combustibles forestales. El cual se puede alimentar con nueva información, lográndose resultados más precisos. De esta forma lo que se persigue que las diferentes dependencias que puedan hacer inventarios de combustibles, como son universidades, CONAFOR, INIFAP, ECOSUR, etc., puedan colaborar con un mayor número y mayor distribución de sitios muestreados. Y con esto tender a aumentar la precisión de los resultados.

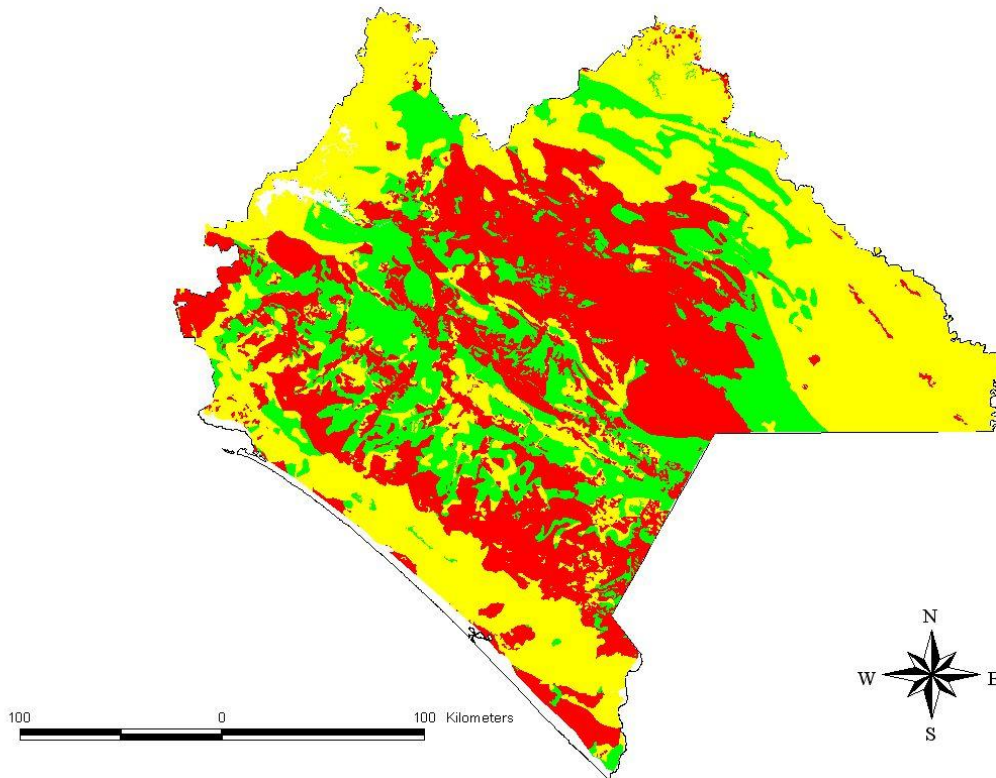


Figura 34. Mapa de áreas de impacto de incendio para el estado de Chiapas.

4.6. Análisis, procesamiento, integración y sistematización de la información generada.

Como se esperaba, en la mayoría de los tipos de combustibles su distribución espacial tiende a ser discontinua y variable. Esto es importante ya que el asumir una homogeneidad, podría subestimar la influencia de esta distribución en el comportamiento del fuego. Por ello, uno de los primeros propósitos de este trabajo fue el de estimar la distribución espacial de los combustibles forestales. Siendo importante considerar que los incendios a nivel de quemadas controladas ocurren en pequeñas áreas. Además debe tomarse en cuenta que los incendios forestales en México tienen en promedio menos de 30 ha. Por lo que cualquier estimación del riesgo e impacto de los incendios forestales debe hacerse en pequeñas áreas. Para lograr esto se tiene como alternativa la elaboración de mapas temáticos desde la perspectiva "raster", donde el tamaño de las celdas sea el menor posible. En este caso las celdas de los mapas de combustibles generados fue de 90 x 90 m. Esto permite que la estimación del riesgo e impacto del fuego se pueda hacer por lo menos a nivel de celda, que corresponde a un área de poco menos que una hectárea (8,100 m²)

A continuación se hace un análisis de los resultados de la distribución espacial de los riesgos e impactos potenciales de los incendios forestales. Este

análisis contempla la asociación de los resultados con varia de la información auxiliar que se tiene georeferenciada en el estado de Chiapas.

4.6.1. Riesgo de incendio

Para la generación de mapas temáticos que indiquen las variaciones espaciales de un potencial riesgo de incendios forestales, deben considerarse varios factores ambientales. Dentro de los cuales los principales son los combustibles forestales. Otro factor importante lo es la topografía del terreno, la cual en el caso de Chiapas es muy accidentada en la parte centro del estado (Figura 23). Lo cual implica que podría esperarse, por ejemplo, una mayor influencia de la topografía en el riesgo del fuego. Esta influencia podría marcarse en la parte norte del estado, al igual que en las porciones este de la misma.

A nivel mundial se han hecho muchos intentos para definir áreas por riesgo de incendios forestales, siendo uno de los principales problemas al que se han enfrentado los científicos el poder generar los mapas de combustibles que soporte dicha estimación. Esto se vuelve más difícil si se considera que estos mapas deben captar bien la variación espacial de dichos combustibles, dentro de un área definida. Una de las alternativas mas usadas es el estimar los combustibles con base a una serie de “modelos de combustibles”. Estos modelos son una representación matemática que resume las cantidades y proporciones de diversos combustibles, con lo que cada modelo es definido por cierta cantidad y proporción de combustibles. En general se usan trece modelos de combustibles, los cuales representan desde áreas de pastizales hasta áreas de bosque con residuos de aprovechamientos. A pesar de ser una alternativa más objetiva, el mapeo de combustibles bajo la perspectiva de los modelos de combustibles se complica cuando se quiere delimitar físicamente en el terreno el inicio y terminación de una superficie que corresponde a un dado modelos de combustibles. Como una opción práctica se ha manejado el concepto de delimitar los modelos de combustibles de acuerdo con la presencia de ciertos tipos de vegetación. Es por esto que en este trabajo se consideró importante que, para la estimación del riesgo del fuego se tomara en cuenta la distribución de los tipos de vegetación presentes en ambas reservas. En el caso de Chiapas, se observa que hay una gran variación de tipos de vegetación. Donde se establece que la mayoría de las actividades agrícolas ocurren en la parte centro del estado (Figura 35). Esto es importante, ya que el riesgo de incendio en México está definido mayormente por la práctica de actividades agropecuarias alrededor de las áreas forestales, que se presentan también en la parte norte centro del estado.

Haciendo un análisis comparativo entre la distribución de los niveles de riesgo de incendio y los tipos de vegetación, puede observarse que el mayor riesgo de incendio ocurre en los tipos de cobertura del suelo que se ubican en la zona centro del estado, como son áreas agrícolas, bosque templado, pastizales, etc. Siendo importante remarcar que curiosamente se presentan las zonas costeras como de alto riesgo de incendio. Lo cual puede explicarse por la abundante presencia de pastizales. Por otra parte, las áreas de riesgo medio

se ubican en zonas donde predomina las selvas medias y bajas, como ocurre en la parte este del estado. Además, se observa que en la parte suroeste del estado, donde también predomina el riesgo medio, se presenta una gran variación de las coberturas de suelo.

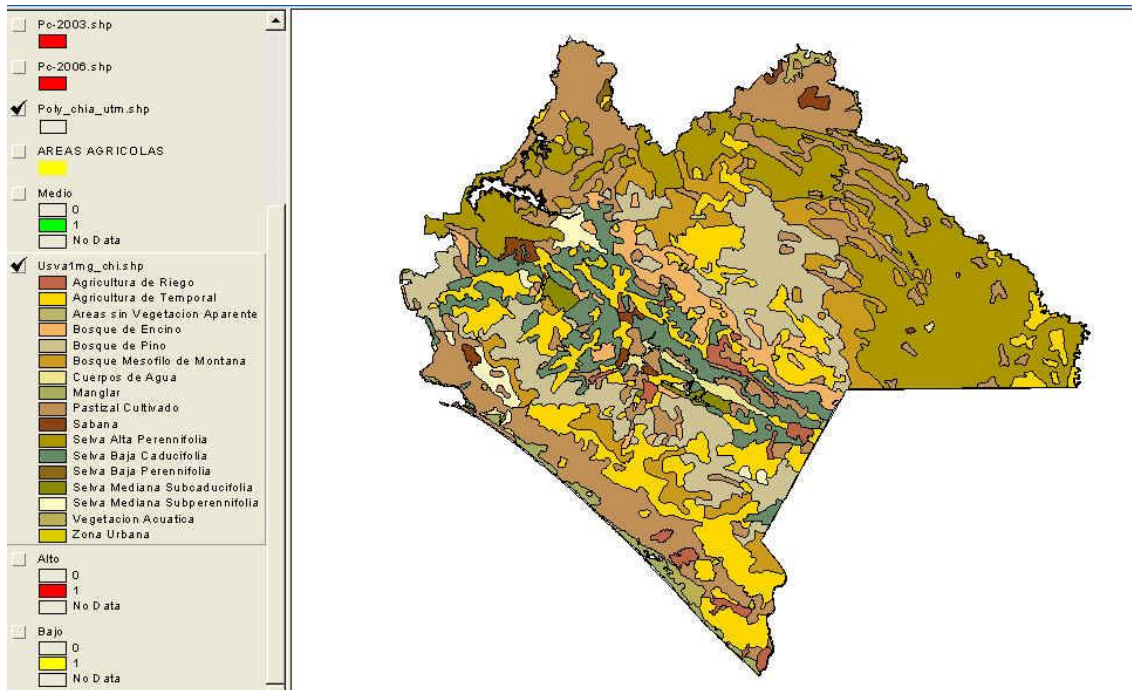


Figura 35. Variación de la distribución de las diferentes tipos de cobertura de suelo en el estado de Chiapas.

Dentro de cualquier estimación a través del modelaje espacial, uno de los puntos importantes es contar con elementos que nos permitan hacer una validación de los resultados. Para esto se hace un análisis de la distribución de los puntos de control detectados por CONABIO durante el periodo 2000-2007 (Figura 36). Como puede observarse existe una gran coincidencia (espacialmente) entre lo determinado como áreas de riesgo alto de incendio y las áreas donde se han detectado la mayor parte de los puntos de calor. Incluso en las zonas costeras, donde se esperaría una menor ocurrencia de incendios. Por otra parte, la disponibilidad de información no permitió determinar como de alto riesgo el área que se presenta en la parte norte del estado. Donde, con base a los puntos de calor, se ubicaron varios incendios. No obstante, como se ha mencionado, la posibilidad de calibración del sistema permitirá hacer los ajustes necesarios en la medida que se obtenga un mayor número de muestras.

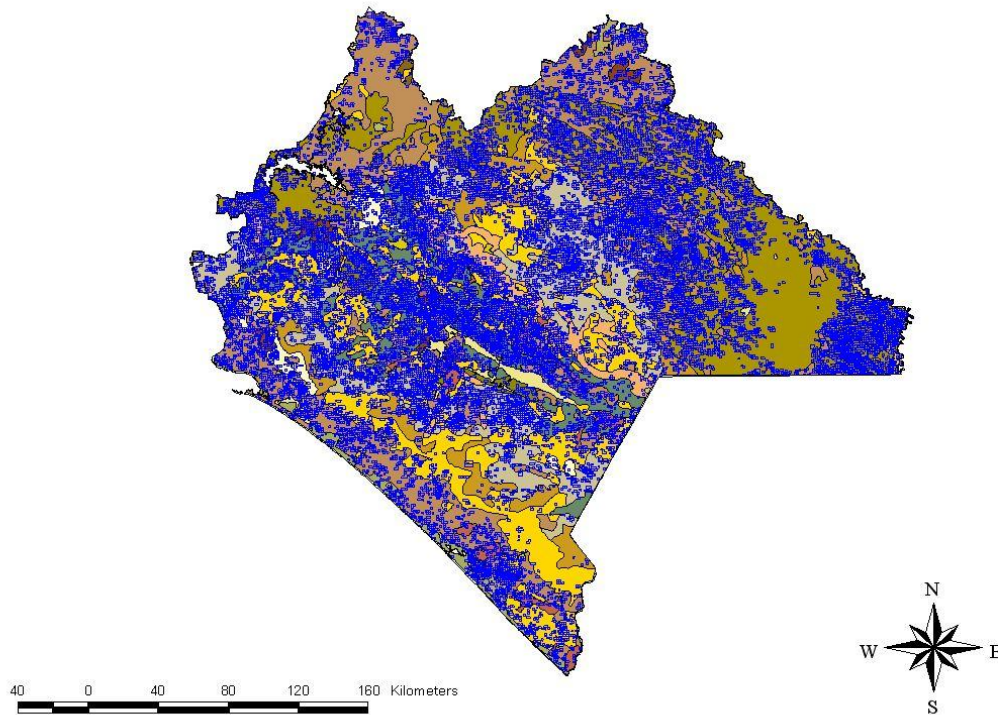


Figura 36. Ubicación de los puntos de calor detectados vía satélite por la CONABIO, para el estado de Chiapas.

Inicialmente se esperaba que las áreas de riesgo de incendios se determinaran en su mayor parte cercanas a las zonas agrícolas. No obstante, como se observa en la Figura 37, muchos de los puntos de calor no necesariamente ocurren cerca de las áreas de cultivo (amarillo). Un acercamiento de esta perspectiva se presenta en la Figura 38, donde se observa que aunque ocurren muchos puntos de calor, durante el año 2003, no todos se ubican en las partes agrícolas. La explicación de esto es que estas áreas agrícolas están establecidas en terrenos planos, donde las actividades están más tecnificadas, mientras que los puntos de calor que se ilustran se ubican en zonas donde se encuentra vegetación forestal. Esta vegetación es eliminada, a través del proceso conocido como “roza-tumba-quema”, el cual permite la práctica de la agricultura en forma temporal. Este proceso, como es conocido, hace uso del fuego, lo cual se registra como puntos de calor en pequeñas parcelas.

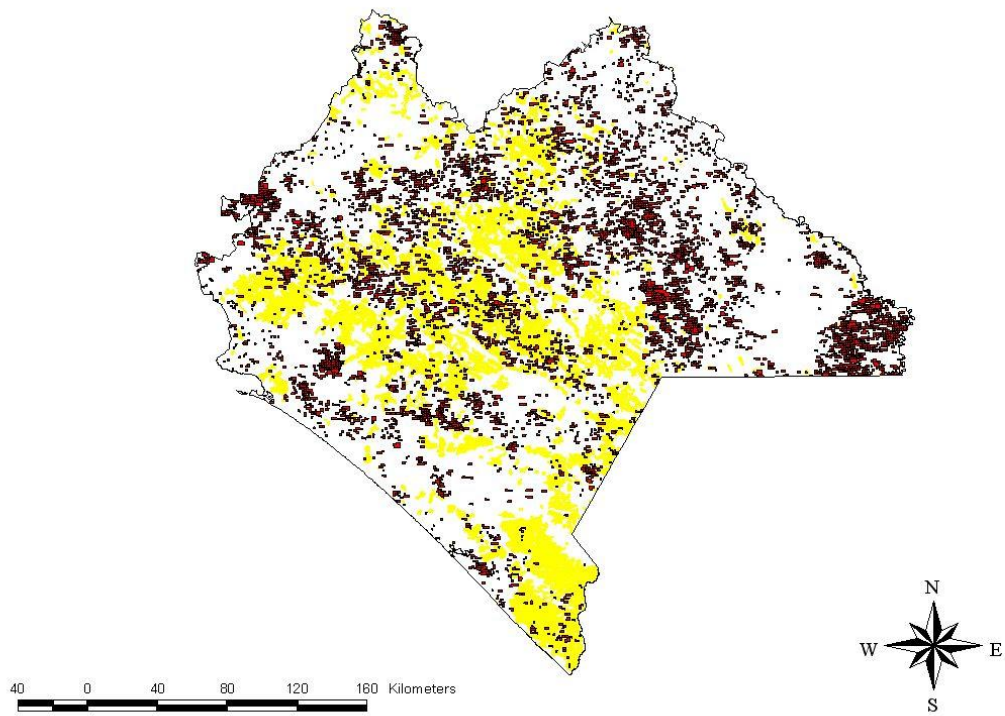


Figura 37. Puntos de calor (2003) y distribución de las áreas de cultivo en el estado de Chiapas.

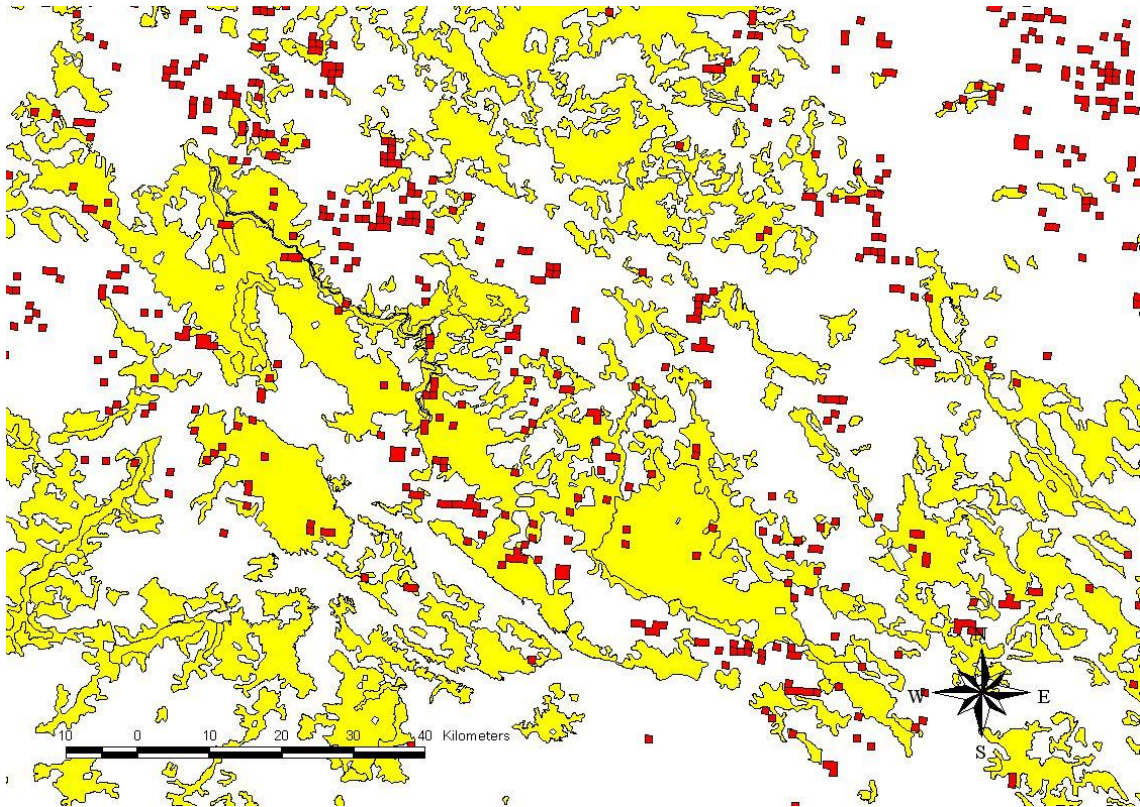


Figura 38. Acercamiento de una zona donde se ubican las áreas agrícolas y los puntos de calor (2003) en el estado de Chiapas.

4.6.2. Impacto del fuego

Al igual que en el caso del análisis de las áreas de riesgo de incendio forestal, la distribución espacial de los niveles de impacto del fuego siguen ciertos tipos de cobertura. En la Figura 39 se muestra esta comparación, donde se observa que se esperan los mayores impactos (rojo) en la zona centro del estado. Principalmente en las zonas donde predominan los bosques de pino y encino. En cuanto al nivel medio, en la parte centro se ubica principalmente en las selvas bajas caducifolias. Con una buena porción en las zonas con selva alta perennifolia al este del estado. Aunque la mayor parte de estas selvas altas corresponden a un riesgo bajo, debe considerarse hacer un inventario mas intensivo. El cual deba contemplar la evaluación de áreas bajo aprovechamiento agropecuario, y de zonas que hayan sufrido algún tipo de disturbio natural (como huracanes). También es importante señalar que, como se esperaba, las áreas con pastizales (la mayor parte de estos cultivados) corresponden a un nivel de impacto de incendio bajo. Estos pastizales se ubican tanto en la zona sur del estado, cerca de la costa, como en la parte norte y noroeste.

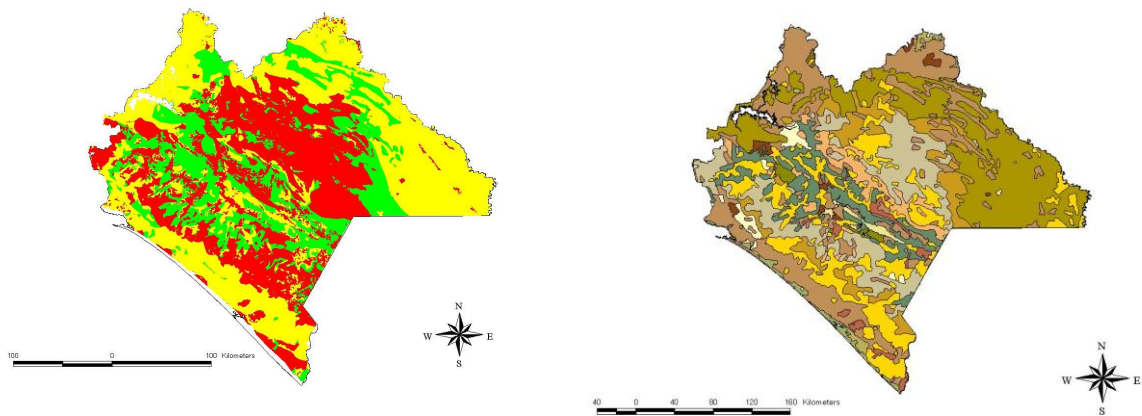


Figura 39. Comparación de la distribución espacial de impactos del fuego en relación a las coberturas de suelo en el estado de Chiapas.

Como se observa en la Figura 40, la mayoría de los puntos de calor coinciden en las áreas clasificadas como de riesgo medio. Aunque, también hay una buena porción de puntos de calor en las áreas de riesgo alto. Mas aún, buena parte de las áreas de riesgo bajo ubican un número considerable de puntos de calor. No obstante, no se esperaba que hubiese una correlación muy fuerte entre la presencia de puntos de calor y los niveles de impacto del fuego. Ya que los puntos de calor, por lo general, se ubican en áreas donde predominan los combustibles finos, y no necesariamente donde están los combustibles de grandes dimensiones. Los cuales son más difíciles de encender.

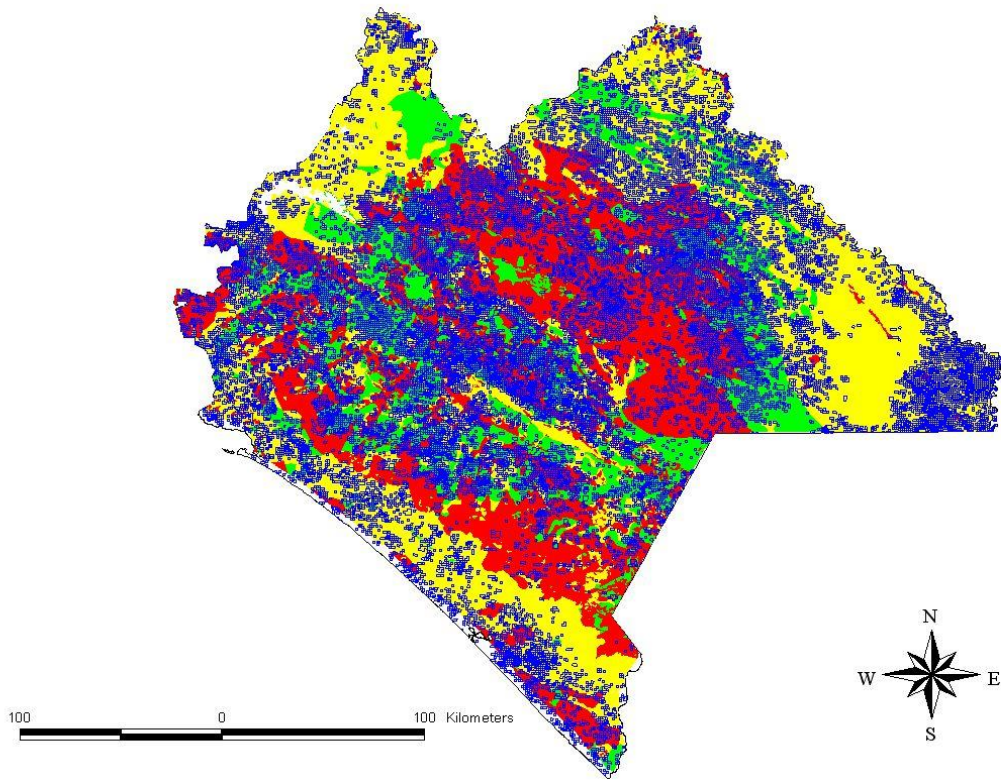


Figura 40. Distribución de los puntos de calor (periodo 2000-2007) en relación a los niveles de impacto de incendio.

4.7. Desarrollo de un Sistema de Información geográfica de riesgos de incendios

Uno de los productos finales de este proyecto es la integración de toda la información en un sistema de información geográfica. El cual permitirá no solo almacenar y administrar la información georeferenciada, sino también hacer una serie de análisis con la misma información. Como lo son la relación con tipos de vegetación, monitoreo con la ubicación de puntos de calor, determinar la cercanía a poblados, etc. De esta forma se pretende que el usuario pueda delimitar su área de interés y ubicar el nivel de riesgo que le corresponden. Una vez hecho esto, también se pueden calcular algunas estadísticas referentes a, por ejemplo, la superficie de cierto nivel de riesgo (o impacto).

El sistema de información geográfica generado en este trabajo consta de cinco módulos (Figura 41), cada uno de los cuales agrupa información específica referente al estado de Chiapas. La cual puede irse alimentando con nuevos mapas (tipo raster o vectorial), para lo cual debe tenerse cuidado es en trabajar con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), y con el datum WGS84 (o similar).

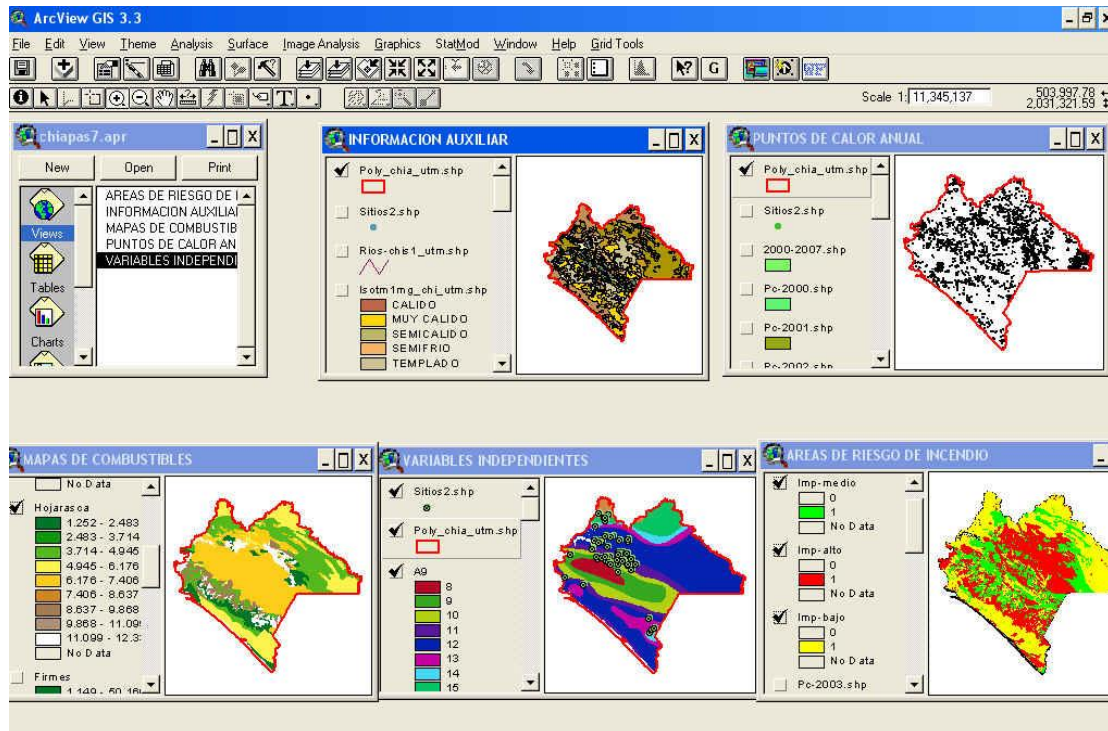


Figura 41. Sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

Todos los módulos tienen en común el polígono de delimitación del estado de Chiapas, así como la delimitación de los puntos de muestreo de combustibles forestales. A continuación se describen cada uno de los módulos

4.7.1. Módulo de información auxiliar

El módulo de información auxiliar (Figura 42) agrupa toda aquella información que permitió tener un conocimiento de las características naturales y sociales del estado de Chiapas. Las cuales podrían, de alguna forma, explicar la ocurrencia de incendios forestales y, por lo tanto definir cierto riesgo (o impacto) de los incendios forestales. Este modelo consta de un total de 14 temas, los cuales se enlistan en el Cuadro 11. La mayor parte de esta información, como se señaló en capítulos anteriores, ha sido generada por la CONABIO. Siendo importante señalar que el uso práctico de este módulo no está restringido a la perspectiva de incendios forestales únicamente. Sino que podría usarse para otras actividades, como lo son la agrícola y la pecuaria. Esta información ya ha sido descrita en secciones anteriores, sin embargo debe indicarse que su ubicación en el sistema de información geográfica permite potencializar su utilidad.

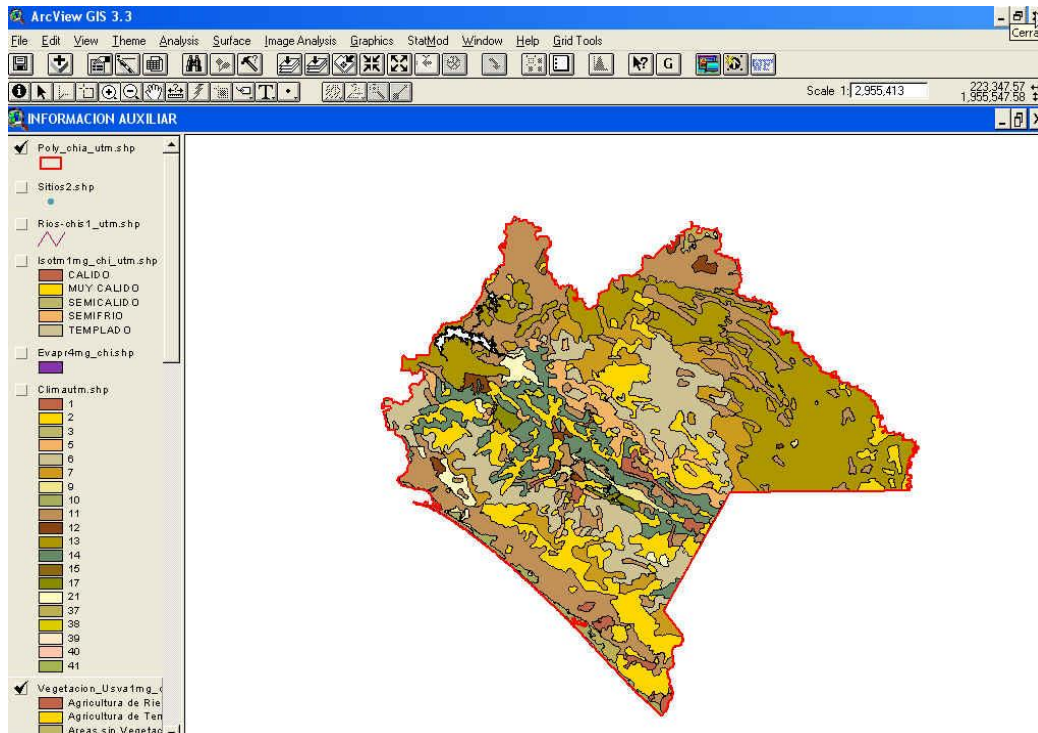


Figura 42. Módulo de información auxiliar, correspondiente al sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

Cuadro 11. Temas correspondientes al módulo de información auxiliar, del sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas

NUMERO	TEMA
1	Ríos
2	Evaporación
3	Clima
4	Vegetación
5	Vegetación2
6	Selvas
7	Pastizales
8	Bosque
9	Localidades
10	Curvas de nivel
11	Cabecera municipal
12	Caminos y carreteras
13	Imágenes de satélite Spot
14	Lagos

La importancia de este módulo es que se hace disponible información georeferenciada, la cual puede usarse para análisis posteriores, o mas profundos. Principalmente en lo que se refiere a relacionar ciertos parámetros, como son cercanía a caminos, y la frecuencia de incendios forestales. También, podrán usarse para caracterizar las áreas donde ha ocurrido un incendio, con el propósito de determinar el tipo de ambiente que ha sido afectado. De igual forma se podrán determinar cálculos como superficie afectada y superficie potencialmente a ser afectada. Esto último desde la perspectiva de la definición de áreas de respuesta homogénea, es decir aquellas áreas que reúnen características similares, como son mismo tipo de vegetación, altitud, tipo de suelo, etc. El hecho de incorporar en este

módulo alguna información climática permite ubicar áreas con mayor, o menor, potencial.

4.7.2. Módulo de variables independientes

Debido a que la metodología central de este trabajo se enfoca al modelamiento espacial de los combustibles forestales, se considera importante contar con un módulo que ilustre todas aquellas variables que se usaron para tal modelamiento (Figura 43). Se remarca que la descripción de cada una de estas ya fue descrita en secciones anteriores, no obstante en el Cuadro 12. se enlistan las variables seleccionadas que mejor correlación espacial tenían con las variables de combustibles. Es importante recordar que a diferencia de los mapas que se presentan en el módulo de variables auxiliares, este módulo presenta solo aquellas variables que resultaron importantes para la definición de los árboles de regresión. Esto no implica que no se puedan incluir otras, en el caso de que se continúe con el análisis espacial señalado en la metodología propuesta. Siendo importante indicar que, aunque no es el propósito del presente trabajo, puede considerarse la posibilidad y disponibilidad de hacer futuros análisis cuando se cuente con nuevas variables georeferenciadas. Tal es el caso de la inclusión de imágenes de satélite, ya sea Landsat, Spot, Quick Bird, e incluso fotografías aéreas.

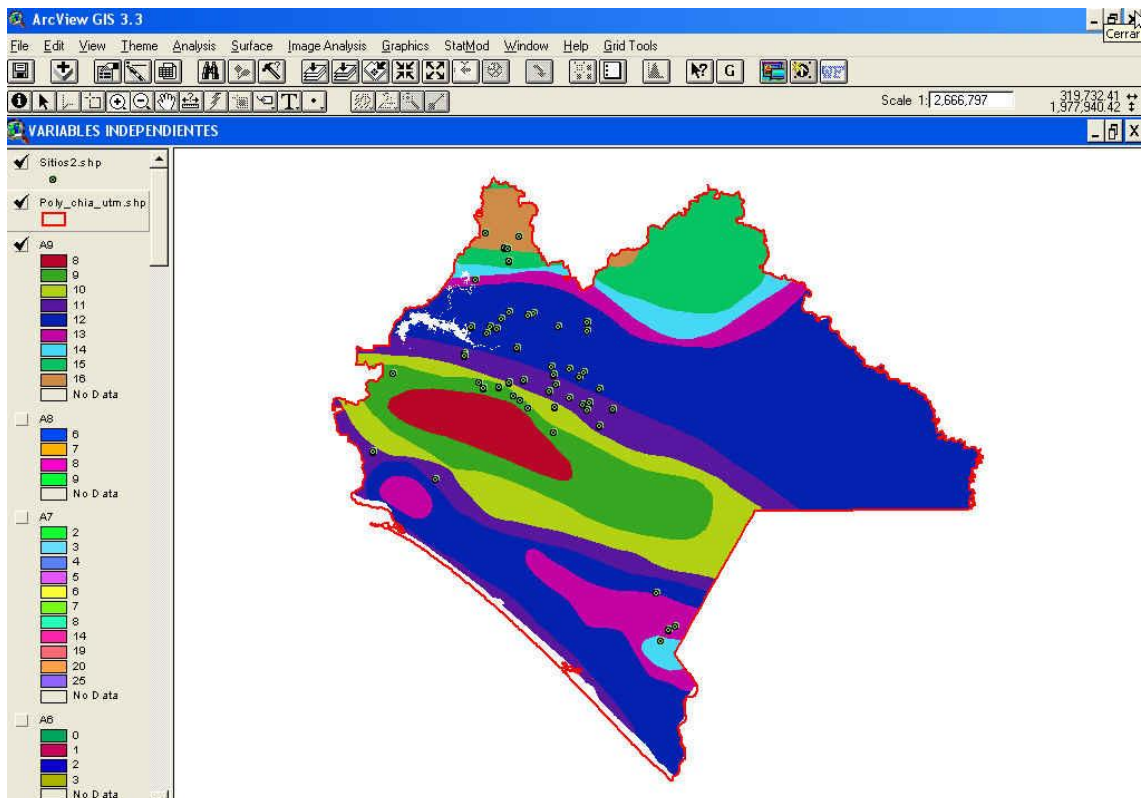


Figura 43. Módulo de variables independientes, correspondiente al sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

Cuadro 12. Temas correspondientes al modulo de variables independientes, del sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

CLAVE	DESCRIPCION
A1	Áreas prioritarias
A2	Provincias biogeográficas
A3	Climas
A4	Cuencas
A5	Regiones hidrológicas
A6	Edafología
A7	Suelos dominantes
A8	Escurrimiento medio anual
A9	Evapotranspiración
A10	Provincias fisiográficas
A11	Hidrogeología
A12	Hipsometría
A13	Rangos de humedad
A14	Insolación media anual
A15	Insolación mínima
A16	Isotermas
A17	Precipitación total anual
A18	Provincias bióticas
A19	Precipitación media anual
A20	Relieve como atractivo natural
A21	Distribución de la precipitación
A22	Régimen de la humedad del suelo

A23	Regiones naturales
A24	Regiones hidrológicas
A25	Temperatura media anual
A26	Temperatura máxima promedio
A27	Temperatura mínima promedio
A28	Uso del suelo y vegetación (INEGI)
A29	Vegetación (Rzedowski)

4.7.3. Módulo de combustibles

La esencia del análisis de la información, para la determinación de áreas de riesgo e impacto del fuego, está concentrada en el módulo de mapas de combustibles (Figura 44). En este se presentan los resultados de la implementación de los modelos espaciales generados en este trabajo. La naturaleza geoespacial de esta información permite hacer varios análisis, como regionalizaciones o a nivel municipal. En total se presentan siete mapas digitales, que corresponden a los siguientes combustibles:

- Hojarasca
- Materia orgánica
- 1-hora
- 10-horas
- 100-horas
- Firmes
- Podridos

Cada uno de estos tipos de combustibles ya fue descrito en las secciones anteriores. Debiéndose recordar que son resultado del modelaje, por lo que está sujeto a una constante calibración, tendiente a aumentar la precisión de las estimaciones. De esta forma, debe entenderse que uno de los productos más importantes de este trabajo lo es el proceso metodológico que se ha definido. A través del cual se tiene un mecanismo dinámico que permitirá mejorar los mapas de combustibles en el futuro. Sin embargo, se debe remarcar que esto solo será posible si se cuenta con dos factores básicos: a) aumentar el número y distribución de los sitios de muestreo de combustibles; b) incluir nuevas variables auxiliares, como ya se ha mencionado.

Uno de los propósitos de este trabajo es generar información georeferenciada que no solo cumpla con los propósitos del trabajo en sí, sino que pueda potencialmente ser usada para otros objetivos. Tal es el caso de la determinación del potencial de carbono que existe a lo largo del estado de Chiapas, o, por otra parte, la ubicación de condiciones ambientales propias para cierto tipo de especies vegetales y animales.

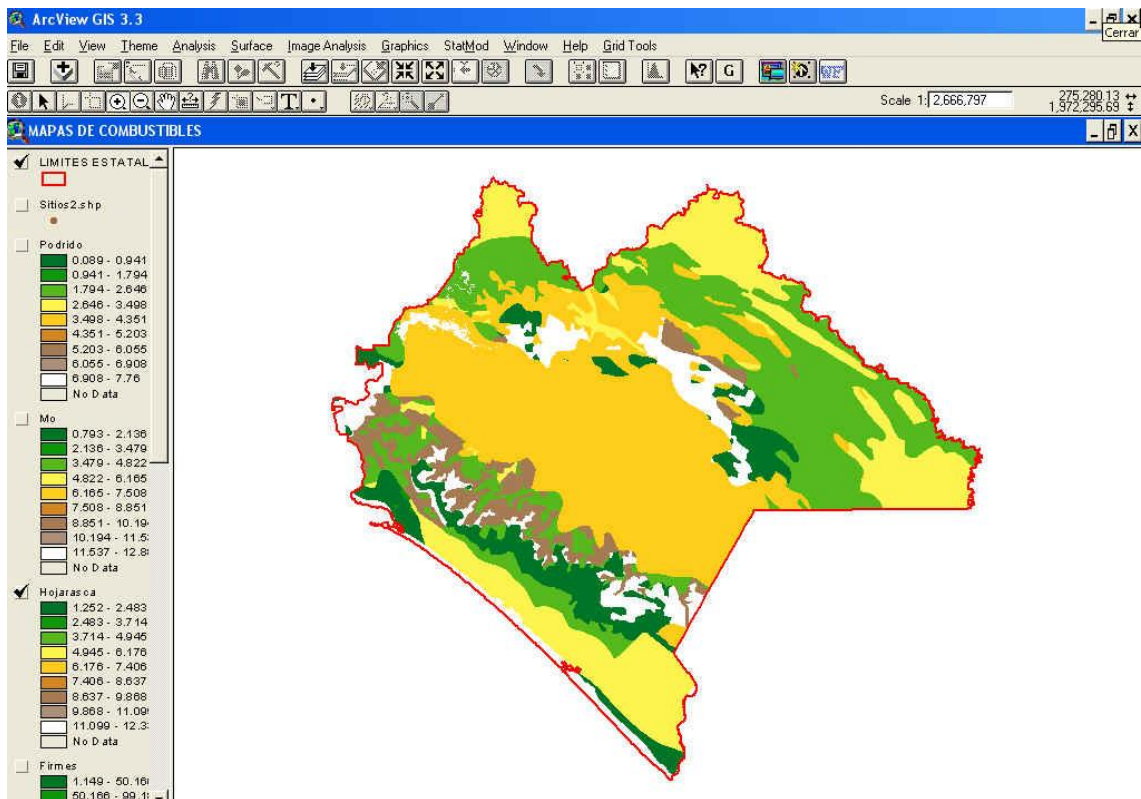


Figura 44. Módulo de combustibles forestales independientes, correspondiente al sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

4.7.4. Módulo de áreas de riesgo

En este módulo se presentan esencialmente dos mapas (Figura 45): a) áreas por niveles de riesgo de incendio; y b) áreas por impacto de incendio. Los cuales son el producto final del análisis espacial de este trabajo. Como ya se ha descrito anteriormente, esta información georeferenciada puede analizarse en forma comparativa con el propósito de definir posibles relaciones

espaciales respecto a cada uno de los niveles de riesgo, o impacto, con la información auxiliar con que se cuenta.

Una de las ventajas de contar con la información en el sistema geográfico es que, como se ha mencionado, se pueden hacer estimaciones de superficies por cada nivel de riesgo (o impacto) a varias escalas. Como lo son municipios, cuencas o regiones. De igual forma, es importante remarcar que los resultados no son definitivos, y que estos pueden mejorarse. Esto implica que si, por ejemplo, alguna reserva de la biosfera quisiera incrementar la precisión de las estimaciones espaciales solo tendrá que ubicar un mayor número de sitios de muestreo. Para esto debe considerarse que el INIFAP cuenta con material impreso y visual para el entrenamiento de grupos interesados. Siendo importante señalar que, dentro de los propósitos de este trabajo, se tiene la implementación de un taller específicamente orientado a dar a conocer la teoría y práctica de la evaluación de combustibles forestales.

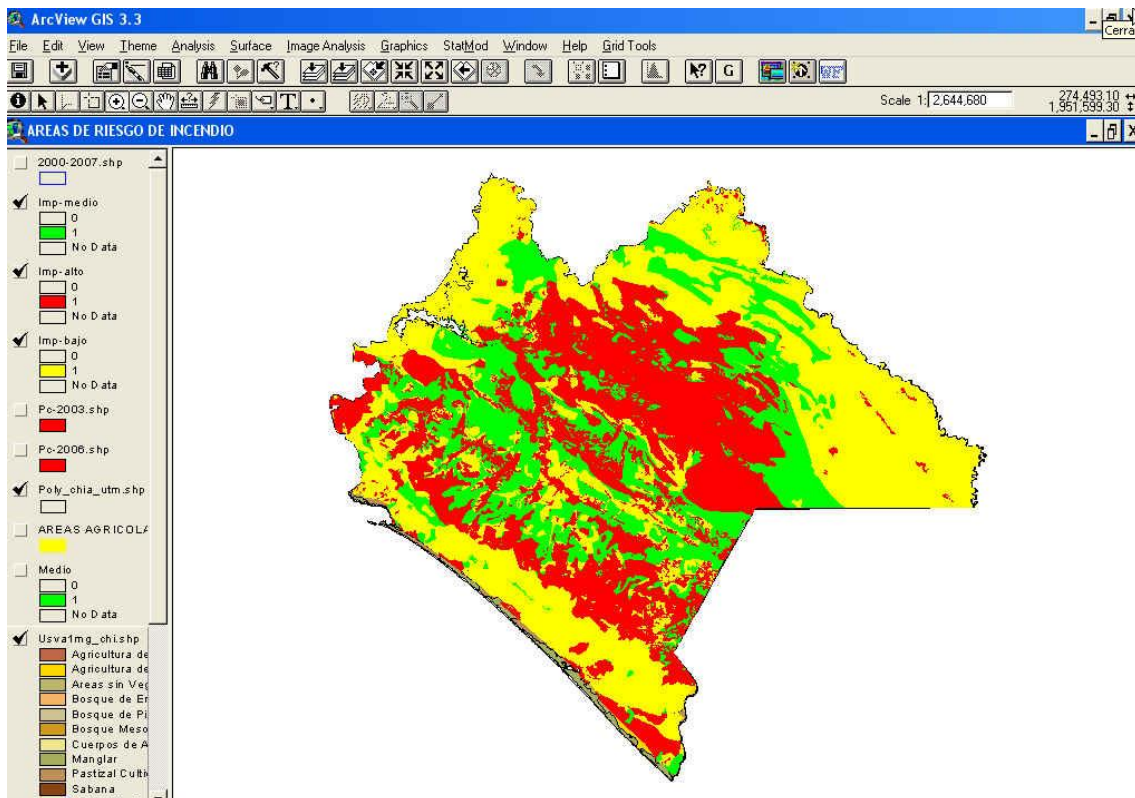


Figura 45. Módulo de áreas de riesgo, correspondiente al sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

4.7.5. Módulo de puntos de calor

El tipo de productos definidos en este tipo de trabajos debe contarse con un proceso que permita, en cierta forma validar, los resultados. Para esto se consideró pertinente usar los mapas de ubicación de los puntos de calor (Figura 46). los cuales son generados por la CONABIO. Una de las ventajas principales es que se cuenta con información de varios años. De hecho en este trabajo se usaron mapas que van desde el año 2000 hasta el año 2007. Siendo importante señalar que la página de Internet de la CONABIO contiene las imágenes de los puntos de calor de varios años, incluso a nivel mensual. En este sistema de información geográfica se consideró pertinente solo presentar los mapas correspondientes a los puntos de calor registrados en forma anual. Esto incluye tanto los puntos de calor detectados durante el día, como durante la noche. No obstante, si alguien está interesado en incluir en el sistema los mapas a nivel mensual, esto será posible ya que el INIFAP cuenta con los mapas correspondientes a Chiapas. La alternativa sería consultar directamente la página de la CONABIO.

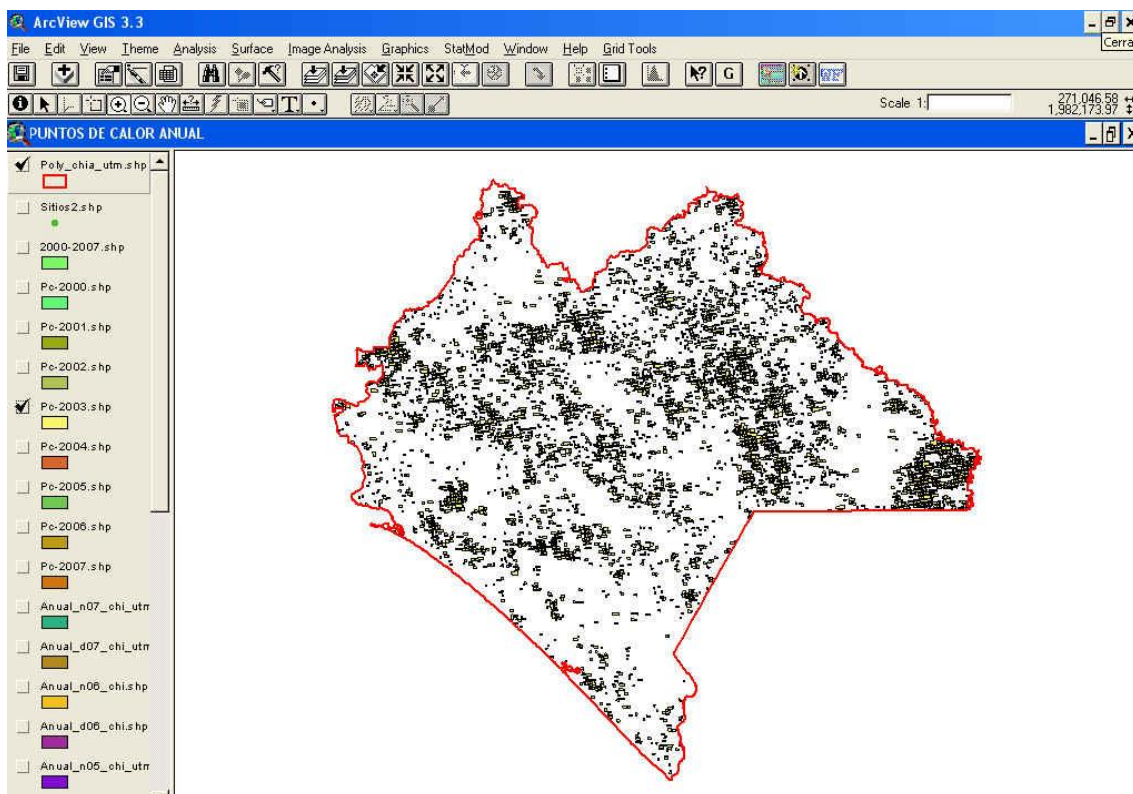


Figura 46. Módulo de puntos de calor, correspondiente al sistema de información geográfica para ubicar los niveles de riesgo e impacto de incendios forestales en el estado de Chiapas.

En secciones anteriores se ha mostrado algunos de los análisis que es posible hacer con la información proporcionada referente a la ubicación de los puntos de calor. Siendo la principal premisa el esperar que se tenga un mayor número de puntos de calor en aquellas áreas que han sido clasificadas como de nivel de riesgo de incendio alto. De acuerdo a los análisis, ya descritos en secciones anteriores, se encontró una coincidencia espacial entre la ocurrencia de un mayor número de puntos de calor con las áreas de nivel alto. No obstante, también se encontró que algunas áreas marcadas como de riesgo bajo presentaron “manchas” de puntos de calor. Principalmente al este del estado de Chiapas. Sin embargo, como se ha mencionado, el carácter dinámico de la metodología propuesta permite que las estimaciones de riesgo de incendio puedan ser ajustadas y mejoradas.

Otros de los usos que permite el contar con los mapas de la ubicación de los puntos de calor, lo es el que se pueda monitorear la frecuencia en que ocurren los incendios en un área dada. Así mismo, se puede dimensionar la superficie que ha sido afectada año con año. Una vez que se determinan las áreas de alta frecuencia, se puede caracterizar las condiciones ambientales y sociales que les puedan ser comunes. Para esto también debe considerarse los registros de incendios forestales reportados por la CONAFOR, los cuales no se incluyen en este reporte.

En cuanto al impacto que pueden causar los incendios forestales, los mapas de puntos de calor pueden permitir ubicar si aquellas áreas clasificadas como de alto impacto son afectadas por incendios forestales, y cuándo. Esto ayudará en la toma de decisiones tanto desde la perspectiva de prevención, como de restauración. En el primer caso se podrá priorizar aquellas áreas que puedan ser altamente impactadas para que se lleven las actividades preventivas correspondientes. Como lo son el establecimiento de brechas corta fuego, aplicación de quemas controladas, o la implementación de estrategias de educación ambiental. Referente a la restauración, se puede planear y ubicar cuales son las áreas que requieren de atención inmediata, en las que por ser clasificadas como de alto impacto, puedan derivarse efectos más graves (como la erosión) si no son atendidos prontamente.