



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Iztacala**



**“Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal  
en la Reserva de la Biosfera el Triunfo, Chiapas.”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGO**

P R E S E N T A:

**ANAIS VIOLETA PERALTA SÁNCHEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ALEJANDRO FIDEL FLAMENCO SANDOVAL**

CO-DIRECTOR:

**DR. DARÍO ALEJANDRO NAVARRETE GUTIÉRREZ**

LOS REYES IZTACALA

TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO

-2011-





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Estoy tan absorta en las maravillas de la Tierra  
y en la vida que se halla sobre ella que no  
puedo pensar en el paraíso y en los ángeles.  
Ya tengo bastante para esta vida**

*PEARL S. BUCK*

**Y la vida me confió este secreto:**

**“Mira –me dijo-, yo soy aquello que siempre  
tiene que superarse a sí mismo”.**

*FRIEDRICH NIETZSCHE*

## DEDICATORIA

*Con el más sincero y entrañable sentimiento de amor que inunda mi ser, dedico este trabajo a:*

*Mi Mami Viki, por su amor incondicional, su infinita confianza, su incansable fe, su apoyo, su tiempo y su vida. A cada una de esas sonrisas, besos y abrazos que seguiremos compartiendo. Porque mis sueños los hiciste tuyos, porque en mi camino siempre estas, porque seguiremos juntas aunque nuestro corazón deje de latir en esta vida...te amo, hasta el más recóndito pedacito de mis átomos.*

*A ti que cuidaste de los latidos de mi corazón antes de nacer y que siempre estás conmigo, sabes que no hace falta mencionar tu nombre, porque es nuestro secreto.*

*A mi Papá por sembrar enseñanzas, gustos y sabores.*

*A mis hermanos (Braulio y Omar U.), por ser los pilares de quien soy ahora.*

*A mis asesores y maestros que me guiaron con paciencia, compromiso y fe*

*A mis amigos que sin saberlo contribuyeron en cada una de estas líneas. A cada una de esas sonrisas, silencios y sinceridades.*

*Y por último a ti que aún no te conozco y que me lees.*

# AGRADECIMIENTOS

## Agradezco a:

A mi asesor el Dr. Alejandro Flamenco Sandoval, por haberme brindado la oportunidad e infraestructura técnica y profesional para llevar a cabo esta tesis, por ser mi guía durante el desarrollo de este proyecto, por su disposición a enseñarme y contribuir en mi crecimiento profesional y personal, por sus conversaciones y aportaciones, pero sobre todo por confiar en mí.

Al Dr. Darío Navarrete Gutiérrez, por sus enseñanzas, por contribuir conmigo como persona y como profesional, por su disposición de tiempo, por fungir como mi co-asesor y hacerme reflexionar y pensar, por guiarme en el desarrollo de este proyecto con desinterés y profesionalización.

A los miembros de mi comité tutelar (Dr. Oswaldo, la M en C Mayra, el M en C Ángel y al Dr. Raymundo) por sus comentarios, su tiempo, sus observaciones, sus apreciaciones y contribuciones.

Agradezco profundamente al equipo de trabajo del Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE) de la Unidad San Cristóbal de las Casas, en especial a Diego Díaz, Miguel Castillo, Julio Llanes, Emanuel Valencia, Amparito González y Adrian, por su apoyo técnico incondicional, sus enseñanzas, por su amistad, por su calidez en el ambiente de trabajo, por haberme facilitado la infraestructura para realizar esta tesis y por estar ahí, sigan echándole ganas que su trabajo es base para cada proyecto.

Al Colegio de la Frontera Sur Unidad San Cristóbal de las Casas, por abrirme las puertas de su institución para poder llevar a cabo este proyecto dentro de su hermosa unidad. En especial a los miembros de la Biblioteca (SIBE) y a Hermilio Cruz por su amabilidad y atención prestada.

A la CONANP Región SUR en especial al Director de la REBITRI M en C. Juan Carlos Castro Hernández y al técnico Sergio Montes de Oca Ramos, por proporcionarme información específica y necesaria para este trabajo.

Así también la TNC y PRONATURA SUR, por facilitarme su información digital. De igual forma al Dr. Oswaldo Téllez quien amablemente me facilito el acceso a la información climática de gran precisión con Bioclim.

A todos y cada uno de mis profesores, de los cuales aprendí teorías, filosofías, técnicas, experiencias, procesos, expresiones y más que ciencia. Seguramente,

estas se complementaran para el resto de mi vida. Por sus defectos y virtudes que no demeritan mi profunda admiración hacia ellos.

A mis padres y hermanos por su amor incondicional, por creer en mí, por instruirme y apoyarme, por ser la fuente de mi mayor influencia, por su comprensión, por aguantarme como soy, por alimentar mis sueños y contribuirme con su realidad, por estar conmigo en cada momento, por su apoyo, paciencia, confianza, fé, corazón y compromiso. Juntos en este juego, juntos en la vida.

A mis amigos todos y cada uno de ellos con los que compartí hermosos instantes tanto en la carrera como fuera de ella. A los amigos de San cris, de Palenque, de Morelia, de Veracruz, de Tabasco, de aquí y de allá, a todos y cada uno de ellos siempre en mi corazón. A Aarón, a Eva, a Marce, a Vane (mi momuasel), a Esmeralda, a Cesar Pot, a Geras, a Abril, a Gina, a Grisel, a Jav, a Alex, a Miguel, a Carlos, a Charlotte Amelie, a Ivón, a José, a Fredy, a Mario, a Paty Berumen, a Paty, a Mauricio S., a Marco Landa, a Rosi, a Vero, a Nico, a Jacob, a Leon, a Koen, a Ana, a Rufles, a Ró, a Flow, a Tinke, a Ricardo, al Coco (armlb), a Nubia, a Yuri, a Richi, a la Chivis (Silvia), a Ara-Soara, a Noé, a Aurelio, a Alma, a Mali, a MariCarmen, a KarlaR, a Marine, a los 37(avanzadoOct09), a mis PLV2-estela, grisel, polo, eli, clau y anexas- (que pese a todo fue de lo mejor en mi vida), a ese Asís, a esos alfas y a todos los que aunque no mencione llevo en mi corazón. A toda la gente de mi país hermoso, pese a la apatía y los políticos.

A mis nuevas amigas de Aromaterapia: Ale, Viki, Jose...y las que continúan.

A mis tías y tíos, que por ser un gran número tan solo resumo en dos palabras (je je).

A ti por tú paciencia, amor, alegría, esperanza, fe, compromiso, confianza, sueños e ideas.

Y a la Beca de Movilidad Nacional Santander 2009, por otorgarme la oportunidad de poder sustentar la finalización de este proyecto de investigación en ECOSUR.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 CONTEXTO GENERAL .....	12
1.2 ANTECEDENTES .....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	20
II. OBJETIVOS.....	21
2.1 GENERAL.....	21
2.2 PARTICULARES.....	21
III. ÁREA DE ESTUDIO.....	22
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	22
3.2. NORMATIVIDAD.....	23
3.3. FISIOGRAFÍA .....	23
3.4. GEOLOGÍA .....	25
3.5. CLIMA .....	26
3.6.- HIDROGRAFÍA .....	27
3.7.- EDAFOLOGÍA.....	28
3.8.- VEGETACIÓN Y FLORA .....	31
3.9.- FAUNA.....	33
3.10.- TENENCIA DE LA TIERRA.....	33
3.11.- POBLACIÓN .....	34
3.12.- ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.....	35
3.13.- VÍAS DE ACCESO Y COMUNICACIÓN .....	35
3.14.- AMENAZAS .....	36
IV. METODOLOGÍA.....	37
4.1.- DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	40
4.2.- REVISIÓN DOCUMENTAL.....	41

4.2.1	Análisis de los Antecedentes .....	41
4.2.2	Selección de la Información .....	43
4.3.-	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS COBERTURAS DIGITALES .....	43
4.3.1	Recopilación de Información .....	43
4.3.2	Adecuación de las Coberturas Digitales.....	46
4.3.3	Selección de los Atributos por Variable .....	47
4.4.-	ANÁLISIS ESPACIAL .....	49
4.4.1	Construcción de la Matriz de Análisis.....	49
4.4.2	Homogeneización de los Datos: Estandarización o Valor z / Transformación Raíz Cuadrada.....	50
4.5.-	MODELOS DE ÁRBOL DE REGRESIÓN .....	51
4.5.1	Construcción de los Modelos de Árbol de Regresión .....	53
4.6.-	ELABORACIÓN DEL MAPA .....	55
V.	RESULTADOS .....	56
5.1.-	MODELO “A” DE ÁRBOL DE REGRESIÓN (FRECUENCIAS).....	56
5.2.-	MODELO “B” DE ÁRBOL DE REGRESIÓN (ÁREAS) .....	62
5.3.-	MAPA DE PELIGRO POTENCIAL A INCENDIO FORESTAL EN LA REBITRI ..	67
VI.	DISCUSIÓN.....	71
6.1	PRESENCIA DE INCENDIOS FORESTALES (Modelo A). .....	71
6.2	PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES (Modelo B). .....	76
6.3	INCENDIOS FORESTALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	82
6.4	ZONAS CON PELIGRO POTENCIAL A INCENDIO FORESTAL.....	88
6.5	EL MÉTODO DE ANÁLISIS: ÁRBOLES DE REGRESIÓN .....	95
VII.	CONCLUSIONES.....	98
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	101
IX.	ANEXOS .....	107
A-I.-	TIPOS DE VEGETACIÓN SEGÚN Breedlove (1981) EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	107
A-II.-	CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN SEGÚN EL PEOT (2005).....	111
A-III.-	CONSTRUCCIÓN Y ASIGNACIÓN DE IDENTIFICADOR NUMÉRICO POR CELDA. ....	116



A-IV.- PROCESAMIENTO DE LAS COBERTURAS CLIMÁTICAS GENERADAS EN BIOCLIM. ....	117
A-V.- CONSTRUCCIÓN DE LA COBERTURA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE TURC.....	119
A-VI.- PROCESAMIENTO DE LA COBERTURA DE INCENDIOS FORESTALES ...	120
A-VII.- CLAVES ASIGNADAS A LOS ATRIBUTOS DE LAS VARIABLES .....	121
A-VIII.- MODELOS DE ÁRBOL DE REGRESIÓN.....	124

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Tipos de vegetación presentes en la REBITRI y sus equivalencias con otras clasificaciones según Pérez (2004).....	32
Cuadro 2.- Estudios publicados que determinan áreas de riesgo y peligro a incendio forestal para México. ....	42
Cuadro 3.- Variables seleccionadas para el análisis de las áreas de peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI. ....	44
Cuadro 4.- Formato de la cobertura geográfica digital por variables y la fuente que proporcionó la base de datos. ....	45
Cuadro 5.- Atributos seleccionados de la base de datos según la cobertura digital proporcionada por variable. ....	48
Cuadro 6.- Comandos empleados en R 2.6.0 para la construcción de los modelos de regresión; según Crawley (2002), Dalgaard (2002) y Venables y Ripley (2002.).....	54
Cuadro 7.- Categoría de Peligro Potencial a Incendio Forestal en el área de estudio.....	55
Cuadro 8.- Variables presentes en el Modelo “A” de Árbol de Regresión.....	58
Cuadro 9.- Grupo de variables más representativas ante el peligro de que se presenten incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “A” .....	58
Cuadro 10.- Grupo de variables con el segundo valor estadísticamente más representativo ante el peligro de que se presenten incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “A” .....	58
Cuadro 11.- Variables presentes en el Modelo “B” de Árbol de Regresión.....	64
Cuadro 12.- Grupo de variables estadísticamente más representativas ante el peligro de propagación de los incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “B”.....	64
Cuadro 13.- Grupo de variables con el segundo valor estadísticamente más representativas ante el peligro de propagación de los incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “B” .....	64
Cuadro 14.- Criterios de clasificación de las áreas con peligro a incendio forestal, según los resultados de los modelos de árbol de regresión. ....	67
Cuadro 15.- Localidades cercanas a Zonas Núcleo en la REBITRI, según PEOT (2005). ....	69
Cuadro 16.- Categorías temáticas reportadas en los antecedentes en la delimitación de Zonas con Peligro a Incendio Forestal. ....	82
Cuadro 17.- Superficies con Peligro Potencial de Incendio Forestal en la REBITRI.....	93
Cuadro 18.- Parámetros generados en Bioclim. Se observan en negritas los parámetros seleccionados en base a la revisión de los antecedentes resumidos en el Cuadro 2.....	118

# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.- Ubicación Geográfica de la REBITRI. ....	22
Fig. 2a.- Provincias Fisiográficas en la REBITRI.....	24
Fig. 2b.- Subprovincias Fisiográficas en la REBITRI.....	24
Fig. 3.- Estratos Geológicos en la REBITRI .....	25
Fig. 4.- Climas en la REBITRI .....	27
Fig. 5.- Hidrología Superficial en la REBITRI .....	28
Fig. 6.- Tipos de Suelos en la REBITRI.....	30
Fig. 7.- Vegetación y Uso del Suelo en la REBITRI. ....	32
Fig. 8.- Ubicación de los poblados en base al número de habitantes en la REBITRI.	34
Fig. 9.- Densidad vial y ubicación de autopistas y caminos en la REBITRI.....	36
Fig. 10.- Diagrama metodológico general para la obtención de áreas con peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI. ....	39
Fig. 11.- Mapa del área de análisis de incendios forestales dividido en celdas de 100 ha; las celdas vacías indican la ausencia de incendios forestales. ....	41
Fig. 12.- Componentes clave que integran un Modelo de Árbol de Regresión. ....	53
Fig. 13.- En el Modelo A de Árbol de Regresión se observa el resultado del análisis de 129 variables, con respecto a la frecuencia de incendios en el área de estudio. .	57
Fig. 14.- En el Modelo B de Árbol de Regresión se observa el resultado del análisis de 129 variables, con respecto a la propagación de los incendios en el área de estudio.....	63
Fig. 15.- Mapa de Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal .....	70
Fig. 16.- Categorías Temáticas que mostraron relación a la presencia de Incendios Forestales en el área de estudio .....	72
Fig. 17.- Categorías Temáticas que mostraron relación a la propagación de los Incendios Forestales en el área de estudio.....	77
Fig. 18.- Porcentaje que comprende a los factores que influyen en la distribución espacial de los incendios forestales en la REBITRI. ....	84
Fig. 19.- Porcentaje de las categorías de Peligro Potencial de Incendio Forestal en la REBITRI. ....	94
Figura 20.- MODELO A (Frecuencias) .....	124
Figura 21.- MODELO B (Áreas) .....	125

## **RESUMEN**

En México los incendios forestales se manifiestan como el factor que causa la mayor disminución de la superficie forestal en el país. Esto enfatiza la protección de las áreas prioritarias en la protección contra incendios establecidas por la CONAFOR. Una de las áreas más afectadas es la región económica de la Frailesca, parte importante de esta región se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (REBITRI), que juega un papel fundamental en la oferta de servicios ambientales. Ante la problemática de reducir los daños ocasionados por el fuego en la REBITRI se requieren propuestas de métodos preventivos, que aporten información que contribuya a la toma de decisiones e implementación de medidas y acciones enfocadas a la prevención y control de las áreas con peligro de incendio forestal. Por lo que conocer anticipadamente la posibilidad de que ocurra un incendio, confiere importancia a la zonificación de peligro de incendio forestal en la REBITRI. El objetivo de esta investigación fue analizar las variables que influyen en la distribución espacial de los incendios para zonificar el peligro potencial de incendio forestal. La propuesta metodológica involucró el análisis de 13 trabajos en México de peligro y riesgo de incendio forestal, la recopilación y adecuación de información de la zona de estudio, así como el análisis de esa información a través de modelos de árbol de regresión y elaboración del mapa. El análisis destacó la relación de 12 variables vinculadas a las categorías Climáticas, Biológicas, Socioeconómicas, Geográficas, Topográficas y Edafológicas, siendo la primera vez que esta última se utilizó para el estado de Chiapas. Se obtuvieron un total de 104,800 hectáreas que presentaron áreas con peligro potencial de incendio forestal en alguna de las tres categorías establecidas.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 CONTEXTO GENERAL

Un incendio forestal es la propagación libre y no programada del fuego en suelos cubiertos con vegetación forestal (Padilla, 1981; Jardel *et al.*, 2005). Los incendios forestales varían considerablemente en intensidad y los principales factores que influyen en su presencia y propagación dependen de la región donde ocurren, del tipo de vegetación presente y su densidad, así como de factores del terreno tales como elevación, pendiente, relieve, exposición, tipos de suelo, y de una serie de condiciones meteorológicas tales como la humedad del ambiente, la velocidad y dirección del viento. Se distinguen básicamente tres tipos de incendios forestales: subterráneos, superficiales y de copa o corona (Cedeño, 1999).

En los incendios superficiales el fuego se propaga en forma horizontal, consumiendo los combustibles que se han depositado sobre el suelo, sin quemar todo el cuerpo de los árboles, normalmente se presentan en ecosistemas con baja densidad de vegetación. Son incendios relativamente fáciles de controlar, sin embargo, el 90% de los incendios en el país son de este tipo (Cedeño, 1999).

En los incendios subterráneos el fuego se inicia en forma superficial, propagándose bajo el suelo, quemando el mantillo y raíces así como la materia orgánica acumulada en las fracturas de afloramientos rocosos. En México, su incidencia es inferior al 3% (Cedeño, 1999).

En los incendios de copa o corona el fuego se inicia en la superficie, debido a la continuidad vertical de los combustibles del suelo hacia las copas de los árboles. Se propagan por la parte alta de los árboles y dañan severamente al ecosistema donde se presentan, causando la muerte de toda la vegetación circundante así como daño

a los diversos grupos de organismos que ahí habitan. Su ocurrencia en el país es poco frecuente ya que se estiman en menos del 7% del total (Cedeño, 1999; Villers, 2006a).

Entre los factores que intervienen en el origen de los incendios forestales, se encuentran la abundancia de material combustible y una fuente de calor para iniciarlo. Dicha fuente de calor puede provenir, por ejemplo, de causas naturales como un rayo o ser provocada por el hombre (causas antrópicas), ya sea de manera accidental, por descuido durante actividades agrícolas o pecuarias, o causado por una acción negligente o intencionada (Villers, 2006a).

El impacto del fuego en los ecosistemas naturales es variado y depende tanto del ecosistema en cuestión, como de la magnitud del evento. Pero en general, el fuego antropogénico y su alta frecuencia traen consigo una disminución en el capital nutritivo del ecosistema. Aunque se presenta un aumento en la fertilidad del sitio inmediatamente después de un incendio, este incremento es sólo transitorio ya que los fenómenos de lixiviación, erosión y volatilización de nutrientes se ven acelerados con la quema, conduciendo a un empobrecimiento a mediano y largo plazo (Maass & Jaramillo, 1999). Se deben considerar además las consecuentes pérdidas económicas en las actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas, que conllevan efectos negativos económicos y sociales.

Los incendios forestales son de los principales problemas ambientales que afectan a los diferentes ecosistemas forestales en México (Paré, 1999; INI, 2001; Flores, 2001; Muñoz *et al.*, 2005; Tchikoué *et al.*, 2005; Villers, 2006a y Juárez & Cano, 2007), manifestándose como el factor que causa la mayor disminución del coeficiente forestal en el país (Gómez & Chávez, 1999). Son la resultante de la interacción de diversos elementos de carácter socioeconómico, político y cultural que, influidos por diversos factores ambientales, incrementan la magnitud de los daños (Sánchez, 1989 en Muñoz *et al.*, 2005).

En México, durante el año 2007 se registraron 5,893 incendios que afectaron una superficie de 141,660.47 hectáreas (ha); de las cuales el 10.69% correspondieron a áreas arboladas, afectando una superficie de 15,149 ha. (CONAFOR, 2008), siendo los ecosistemas de clima templado frío y tropical los más afectados a nivel nacional por los incendios (Tchikoué *et al.*, 2005).

Acorde con los registros oficiales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el ser humano origina 98.5% de los incendios forestales en la República Mexicana. Dichos registros reportan 18 diferentes causas de los incendios, entre las que destacan las provocadas por acciones agropecuarias, fogatas y por fumadores, que en conjunto provocaron más del 66% de los incendios registrados en el 2007 (CONAFOR, 2008).

En el 2007, los estados de la República Mexicana que acumularon más de la mitad de la superficie afectada con 86,195.38 ha; equivalentes al 85.69%, son Baja California, Oaxaca, Jalisco, Chiapas y Guerrero (CONAFOR, 2008).

En el estado de Chiapas, una de las áreas prioritarias para la protección contra incendios que la CONAFOR establece, es la región económica La Frailesca. Una parte de ella está incluida dentro de la Reserva de la Biosfera el Triunfo (REBITRI). Esta reserva alberga diez de los 19 tipos de vegetación existentes en Chiapas (Breedlove, 1981), entre ellos destaca el Bosque de Niebla, que gracias a su función como receptor y aportador de agua en gran escala, juega un papel fundamental en la oferta de servicios ambientales, ya que favorece el desarrollo de la agricultura y la ganadería de cuatro regiones socioeconómicas, así como la producción de energía eléctrica (INE, 1999).

Uno de los principales problemas que enfrenta la REBITRI son los incendios forestales, principalmente de origen antrópico (INE, 1999). Ante esta problemática resulta urgente reducir los daños por el fuego, dirigiendo las acciones de prevención y combate con mejor eficiencia en el uso de los recursos humanos y materiales e

incorporando a los programas de manejo forestal estrategias de prevención y control de incendios.

En el combate de los incendios forestales, la predicción juega un papel activo y de gran relevancia dentro de las múltiples actividades de prevención, combate y control de este tipo de riesgos (Capó, 1999). Los métodos más usados para prevenirlos, están dirigidos a controlar su riesgo y peligro, por lo que su estudio aporta información necesaria para tomar medidas, normas y acciones enfocadas en las zonas que reúnen las condiciones para que este tipo de siniestro ocurra (Poulain, 2005).

El término “riesgo de incendio forestal” es definido como el conjunto de circunstancias socioeconómicas y ambientales en la zona forestal, que condicionan la intensidad con que ocurren los incendios (Pérez & Delgado, 1995). Sin embargo, el peligro comprende las variables que afectan al inicio, durante la propagación y las que dificultan controlar el siniestro. Es decir, el peligro de incendio forestal está definido por circunstancias permanentes y transitorias que hacen posible su ocurrencia (Estrada, 2006).

El potencial de ocurrencia de un incendio está definido por la intensidad y duración del estrés de las condiciones de humedad y térmicas de la vegetación, por lo que su estimación se emplea como una alarma de peligro de incendio forestal (FAO, 2001). Dichas circunstancias, así como su magnitud y las funciones con las que se relacionan son necesarias para efectuar predicciones de un indicador de peligrosidad de que ocurran incendios forestales en áreas específicas (Estrada, 2006); es decir un Índice de Peligro de Incendio Forestal (IPIF), refleja anticipadamente la posibilidad de que este se produzca, así como la facilidad de que se propague (Muñoz *et al.*, 2005).

Las metodologías empleadas para prevenir el peligro proponen áreas específicas donde el peligro de que ocurra es alto, así como la delimitación de las zonas que presentan las condiciones para que este tipo de siniestro ocurra y la ubicación de las



áreas en las que ocurren con mayor frecuencia. Los factores más empleados en la delimitación de estas áreas son la topografía, el clima, la vegetación, el material combustible muerto, las vías de acceso, el tipo de manejo que se le da a los bosques en el área de estudio y las actividades humanas en el bosque y sus vecindades (Villers, 2006b).

Una planificación real de estas áreas requiere de información detallada de los incendios forestales del área de estudio, como la frecuencia de los incendios y la determinación correcta de las causas del incendio, incluyendo la extensión dañada, tanto en el presente como en eventos anteriores. El análisis de la frecuencia de los incendios repetidos es importante ya que producen un mayor daño, presentando dificultades en su extinción debido al escaso tiempo intermedio en que se producen (Landsberg, 1997; Poulain, 2005 y Villers, 2006a).

La incorporación de todas las variables que influyen en dicho fenómeno, para la evaluación del peligro potencial a incendio forestal es un aspecto importante a considerar, que permite una aproximación específica al cálculo de las zonas con peligro potencial en un área determinada.

## 1.2 ANTECEDENTES

La necesidad de conocer en forma anticipada la posibilidad de ocurrencia de algún incendio le confiere suma importancia al sistema de índices de riesgo y peligro de incendio forestal, principalmente en áreas reconocidas como prioritarias para la protección contra incendios. A través del tiempo se han desarrollado diversos modelos para estimar el índice de peligro y riesgo en países como Canadá, Estados Unidos, Australia, ex Unión Soviética, Inglaterra, Francia, España, Argentina y Brasil (Magaña, 1983).

En México, los primeros trabajos en esta línea de acción comienzan a reportarse por Magaña (1983 y 1985), Marín (1984), Garrido (1991) y Toledo (1994), los cuales basan sus modelos e índices de peligro de incendio forestal en variables meteorológicas y en la carga de combustibles forestales.

En 1996, Flores aplicó los fundamentos de los sistemas de percepción remota al mapeo de incendios forestales en Jalisco, proponiendo un índice de riesgo con base en la cobertura vegetal, pendiente y proximidad a los caminos (Gómez & Chávez, 1998). Continuando con esta aplicación, Gómez & Chávez (1998) propusieron una metodología rápida para la estimación del riesgo de incendio forestal, aplicado a un bosque de oyamel-pino en el santuario de la mariposa monarca, con base en la topografía, los caminos y la espesura del mantillo, obteniendo así una zonificación de la distribución del riesgo de incendio y una jerarquización de las áreas empleando un SIG.

Sepúlveda *et al.* (1999) obtuvieron índices de peligro de incendios forestales, analizando espacialmente modelos de combustibles forestales y variables meteorológicas, para clasificar áreas de alto riesgo en un contexto espacial y temporal en Baja California. Con ellos se mostró la factibilidad de generar índices de peligro y simulación de incendios, integrados en un SIG, así como su aplicación en la prevención de los mismos.

En su trabajo, Alanís & Orozco (2000) detectaron las áreas más susceptibles de incendiarse en la Región Central del Macizo Boscoso de Chihuahua, a través de un índice de riesgo forestal, en el que analizaron las estadísticas de incendios, la medición de las cargas de combustibles forestales en áreas sujetas a aprovechamiento forestal y la cobertura forestal del sitio.

Miranda (2004), determinó cinco modelos de combustibles forestales que analizó junto con características fisiográficas, bióticas y antrópicas del área de estudio, generando mediante un SIG un mapa de peligros a la presencia de incendios forestales dentro del parque ecológico Chipinque en Nuevo León. Las variables utilizadas fueron pendiente, exposición, tipo de vegetación, topografía, geología, hidrología, caminos y sus categorías, líneas de conducción eléctrica, líneas de conducción de agua, tránsito en caminos, infraestructura del parque y la presencia de postes.

Muñoz *et al.* (2005) crearon un modelo para evaluar el peligro de incendios forestales en una porción del bosque de clima templado, en el estado de Nuevo León. Usaron un método de análisis espacial multicriterio para integrar y evaluar las variables que tienen alta influencia en el peligro de incendios. La estructura del índice de peligro incluyó tres componentes: combustibles forestales, meteorológicos y socioeconómicos (rasgos geográficos), integrados en una regla de decisión, que mostraron las áreas más vulnerables a incendios forestales.

Entre los trabajos reportados para la REBITRI, se encuentra el de Ramírez (2005), quien realizó como proyecto para CONABIO (DQ012), un reporte de la detección, prevención y manejo del fuego a través de la gestión local de las ANP's de la Región Frontera Sur de la CONANP, en el cual se reportan estadísticos de incendios forestales y estrato vegetal más afectado para la REBITRI. Así mismo, para el 2006, la United States Agency for International Development (USAID) en colaboración con la dirección de la REBITRI propusieron una estrategia para afrontar los incendios

forestales, mediante el combate local a través de un Plan de Atención a Incendios Forestales que tiene como fin dirigirse hacia el manejo integral de fuego en la reserva, ampliando el conocimiento estadístico de los incendios así como el conocimiento de los pobladores hacia el marco jurídico de los mismos y el uso del fuego dentro de la REBITRI. Cabe mencionar que esta propuesta de la USAID (2006), no ha finalizado.

Contreras (2007) realizó un inventario de combustibles dentro de la REBITRI proponiendo cinco modelos en los que dirigió el muestreo hacia los ecosistemas representativos de la reserva, con lo cual generó cuatro modelos de combustibles y las cargas de estos. Así mismo elaboró mapas que denominó de riesgo a incendio, para lo que consideró las variables de pendiente, orientación, vegetación, cargas de combustible, modelos de combustible, inaccesibilidad y áreas de conservación.

Sin embargo, a pesar de este tipo de propuestas y aunque actualmente se han desarrollado modelos de simulación para entender el comportamiento del fuego y tratar de responder a preguntas como: ¿cuándo se producirá?, ¿dónde se producirá?, ¿cómo se desarrollara? y ¿con qué intensidad ocurrirá?, la construcción de modelos para evaluar situaciones reales de peligro potencial a incendio requieren considerar, además de los elementos necesarios para la combustión, la historia ambiental del lugar y el tipo de manejo al que están sometidos los bosques. Así como los componentes sociales y económicos, que resultan ser realmente importantes en este tipo de proyectos (Villers, 2006a).

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Conocer las áreas con peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI es una prioridad en la prevención y control de incendios, por lo que analizar con detalle los factores que están influyendo en la distribución espacial de los incendios forestales dentro del área, resulta ser una necesidad para incorporar esta información a las iniciativas relacionadas con el manejo y conservación de los recursos naturales, como el plan de manejo forestal en las áreas prioritarias para la protección contra incendios, decretadas por CONAFOR, a fin de garantizar mayores resultados en los programas y planes establecidos. Asimismo es importante contar con esta información para el manejo de áreas representativas de uno o más ecosistemas con un grado mínimo de alteración, que requieran ser preservados y en las cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (CONANP, 2008), situación en la que se encuentra la REBITRI.

Esta investigación tuvo como propósito ampliar el conocimiento de las zonas con mayor peligro potencial de incendio forestal dentro de la REBITRI, creando una base de datos que evaluó múltiples factores físicos, ambientales, sociales y económicos del área, mediante la propuesta de un método de análisis espacial diferente y original que se administró en un SIG para definir dichas zonas.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

- Analizar las variables que influyen en la distribución espacial de las áreas con incendio forestal en la zona, para determinar y zonificar las áreas con peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI.

### **2. 2 PARTICULARES**

- Analizar y determinar las variables que están influyendo en la presencia y propagación de incendios forestales en el área.
- Establecer las zonas con peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI.
- Elaborar un mapa de las zonas con peligro potencial a incendio forestal para la REBITRI.

### III. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La REBITRI se localiza en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, entre los 15°09' 10", y 15°57' 02", latitud norte y 92°34' 04" y 93°12' 42", longitud oeste (INE, 1999) (Fig. 1).

Cuenta con una superficie total de 119,177 ha; abarcando parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villa Corzo y Siltepec, comprendidos en las regiones económicas de la Frailesca, Sierra, Istmo-Costa y Soconusco (INE, 1999).

La zona de amortiguamiento contiene cinco zonas núcleo: El Triunfo 11,595 ha; Ovando 2,143 ha; Cuxtepec 1,193 ha; El Venado 4,056 ha y La Angostura 6,776 ha. (CONABIO, 1995).

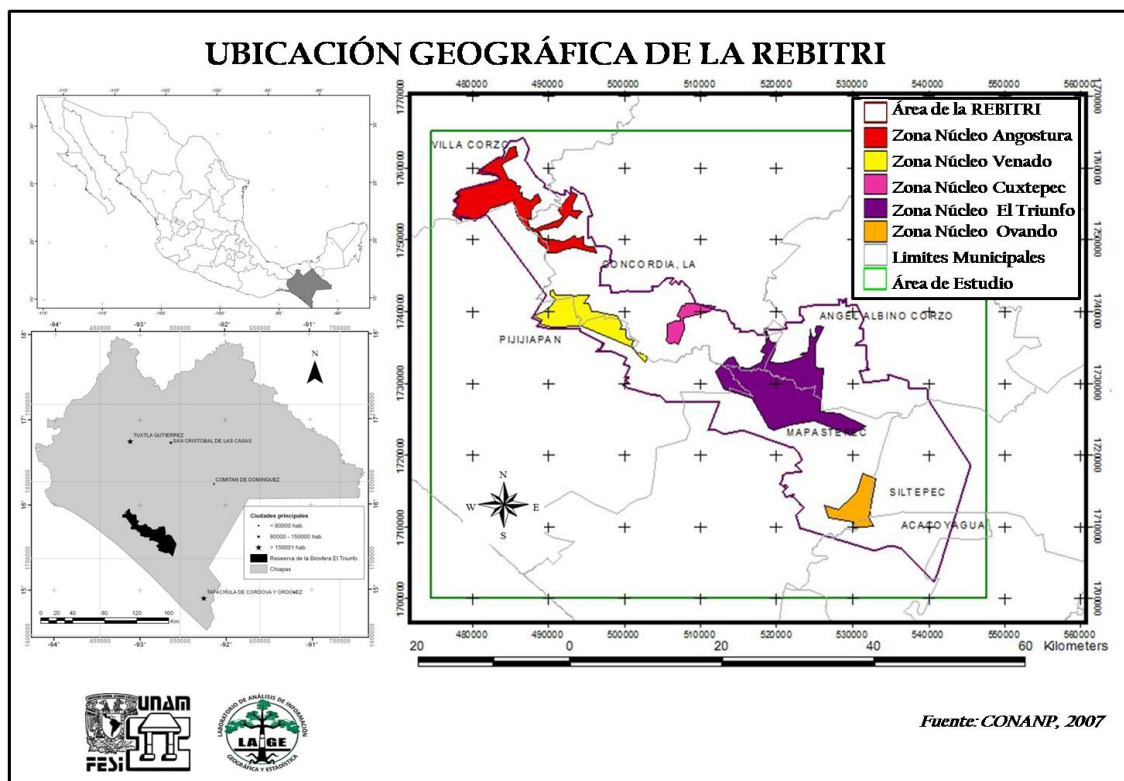


Fig. 1.- Ubicación Geográfica en la REBITRI.

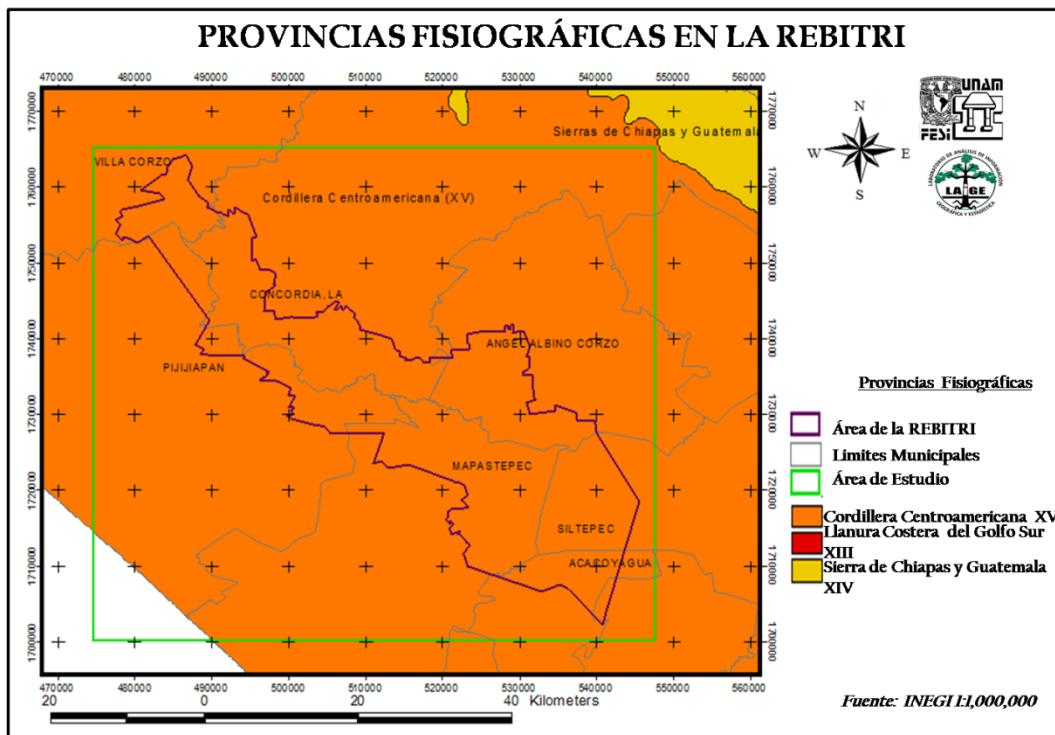
## **3.2. NORMATIVIDAD**

En mayo de 1972 se establece por Decreto Estatal, bajo la categoría de Área Natural Protegida y típica del Estado de Chiapas, con el nombre de: “Biotopo Tipo Ecológico Bosque de Niebla” el área correspondiente a la actual zona núcleo El Triunfo o Polígono I. Posteriormente, el 13 de marzo de 1990, se declara como Reserva de la Biosfera El Triunfo, abarcando una superficie de 119,177 ha. Y para el año de 1993 se integró a la Red Internacional de Reservas de la Biosfera del MAB (programa El Hombre y la Biósfera) de la UNESCO (INE, 1999).

## **3.3. FISIOGRAFÍA**

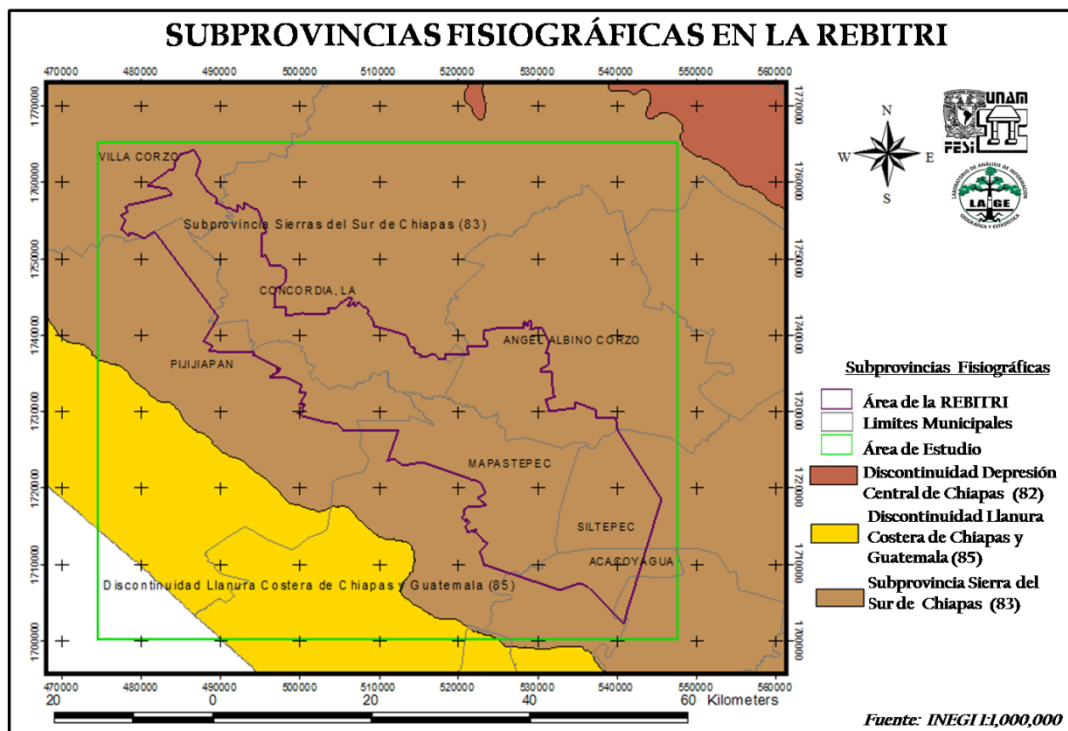
Pertenece a la provincia fisiográfica Tierras Altas de Chiapas-Guatemala, específicamente a la subprovincia Sierra de Chiapas (Müllerried, 1982) (Fig. 2a). Corresponde a una cadena montañosa que se extiende en dirección noroeste-sureste. Según la exposición de sus laderas, se distinguen en ésta las vertientes del Pacífico y de la Depresión Central (INE, 1999). En ambas vertientes se diferencian tres tipos de relieves: a) crestas alargadas, por arriba de los 2,000 m; b) macizo montañoso, de pendientes fuertes a escarpadas entre los 1,000 y los 2,000 m y c) laderas con pendientes moderadas a fuertes, bajo el límite de los 1,000 m (Ortíz *et al.*, 1992) (Fig. 2b).





**Fig. 2a.- Provincias Fisiográficas en la REBITRI**

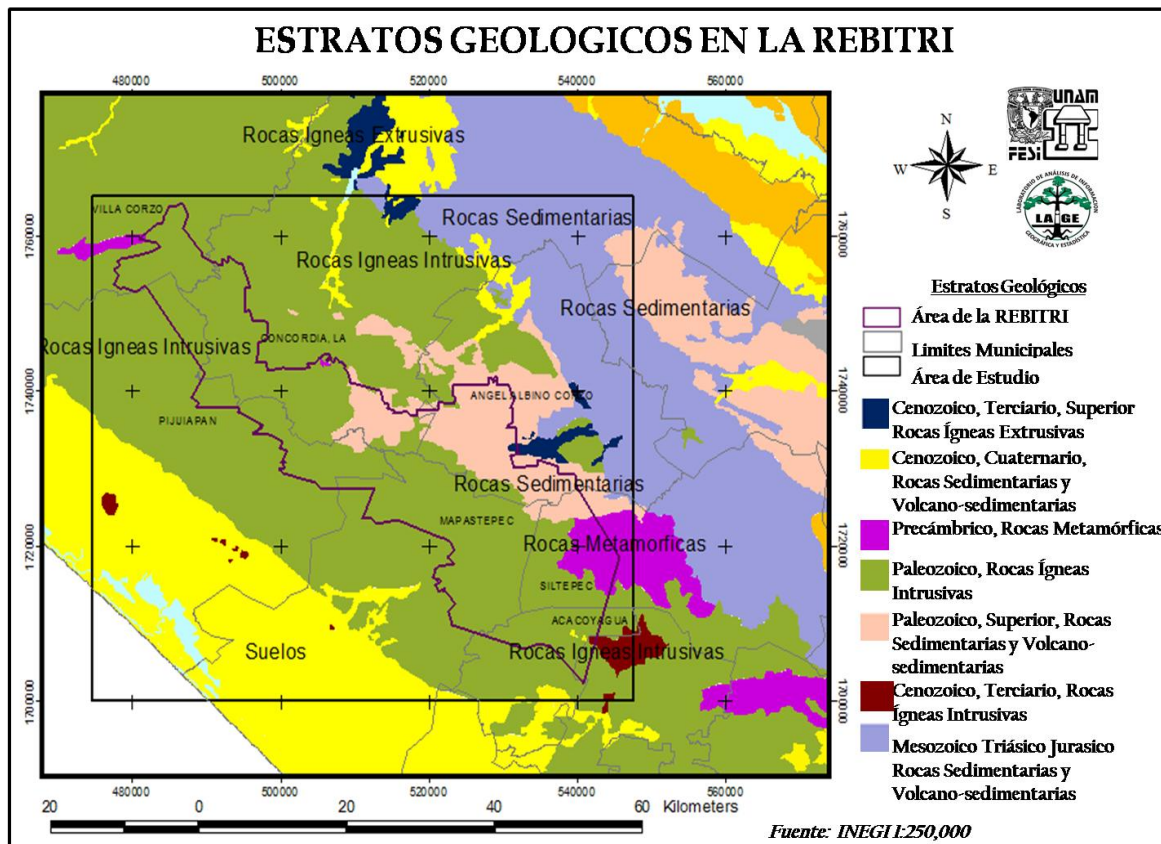
Entre los cerros con mayor altitud en la reserva están: La Angostura, El Cebú, El Triunfo y La Cumbre, El Venado, y Cordón Pico de Loro (Müllerried, 1982).



**Fig.2b.- Subprovincias Fisiográficas en la REBITRI.**

### 3.4. GEOLOGÍA

Las formaciones geológicas presentes en la REBITRI son del Precámbrico y Paleozoico (complejo basal), sin embargo existen estratos del Mesozoico y Cenozoico (Fig. 3). El área está constituida principalmente por rocas graníticas y metamórficas. Mientras que el macizo montañoso del sureste está formado por rocas volcánicas (andesitas básicamente) del Mioceno. Las cumbres y vertientes del suroeste poseen suelos complejos de montaña (pardos y podzólicos), en las partes bajas del Soconusco, son lateríticos y arcillosos (color rojizo o pardo), de espesor considerable (Müllerried, 1982).



**Fig. 3.- Estratos Geológicos en la REBITRI**

De acuerdo con Müllerried (1982), en la porción oeste de la reserva, al norte, noreste y sureste del Polígono I El Triunfo, predominan las calizas-areniscas del Paleozoico Superior. En tanto que al norte y noreste surgen afloramientos de gneis correspondientes al Paleozoico y de toba ácida del Terciario Superior.

### 3.5. CLIMA

Debido a las características físicas en donde se encuentra la reserva, existe una gran variedad de climas, destacando los del tipo templado húmedo, cálido húmedo, cálido subhúmedo y semicálido húmedo (Fig. 4). Registrándose precipitaciones anuales entre 1000 y 4500 mm; con temperaturas promedio anuales de entre 14° y 30°C. Los principales tipos climáticos presentes en la REBITRI son:

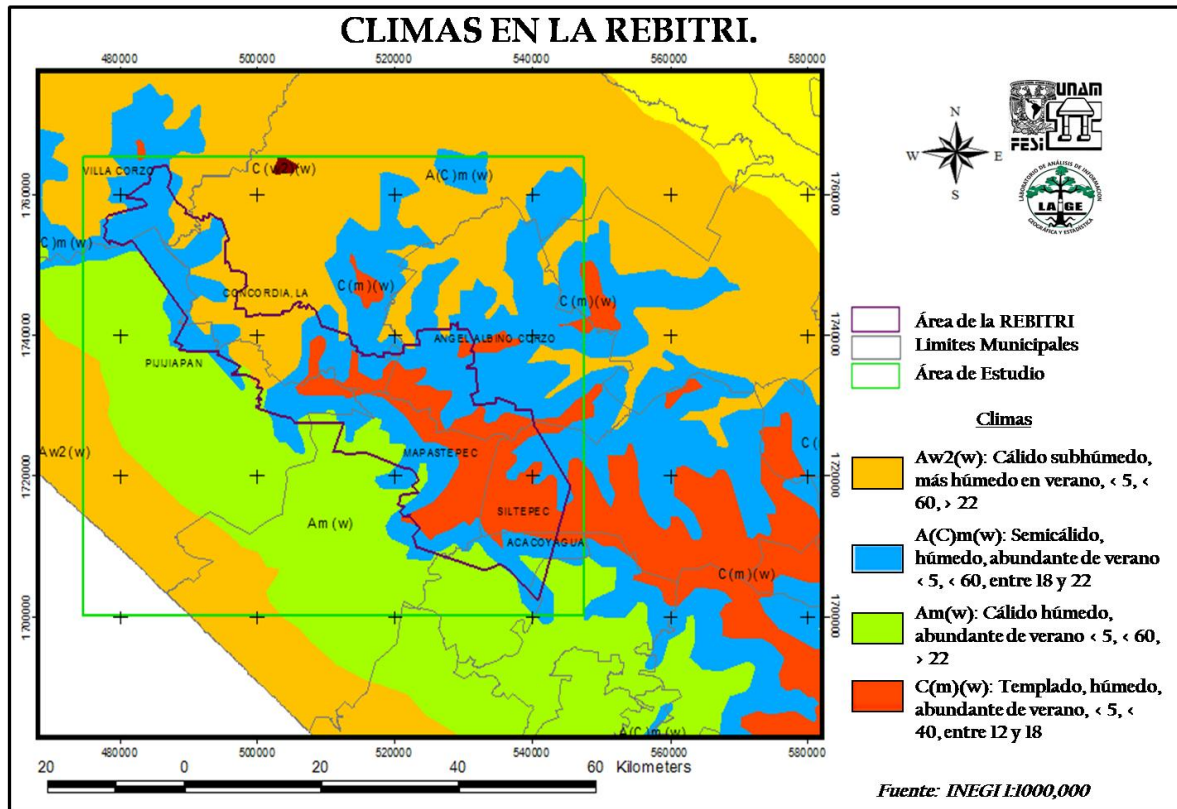
Aw2(w): Cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales que oscilan entre 22° y 26°C y una precipitación anual que varía de 1000 a 2500 mm. Este clima se presenta en altitudes de entre 1000 y 1500 m; se encuentra al noroeste de la reserva, en los municipios de la Concordia y Villa Corzo, sobre la vertiente de la Depresión Central y al noroeste de la vertiente del Pacífico (Arreola *et al.*, 2004).

Am(w): Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, temperaturas medias anuales que oscilan entre 22° y 30°C y una precipitación anual de 2500 a 4000 mm. Representa el clima de las partes bajas de la REBITRI (Arreola *et al.*, 2004).

A(e)gw: Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, temperaturas medias anuales que fluctúan entre 18° y 22°C y una precipitación total anual entre los 2000 y 3500 mm. Se distribuye entre los 1000 y los 2000 m. de altitud, en la REBITRI se localiza en ambas vertientes (Arreola *et al.*, 2004).

C(m)(w): Templado húmedo con abundantes lluvias en verano, temperaturas medias anuales que van de 14° a 18°C y una precipitación media anual de 2500 hasta los 4500 mm. Se encuentra al este de la REBITRI en alturas superiores a los 2000 m; para ambas vertientes, exceptuando en el municipio de Villa Corzo (Arreola *et al.*, 2004).

Las condiciones climáticas de la zona de estudio tienen un impacto relevante en la economía del estado de Chiapas, ya que sus regiones productivas más importantes (la Frailesca, Itsmo-Costa y Soconusco), dependen del agua captada y provista en la Sierra Madre de Chiapas (INE, 1999).



**Fig. 4.- Climas en la REBITRI**

### 3.6.- HIDROGRAFÍA

Gran parte de la economía de las regiones productivas de Chiapas se sustenta en el agua que fluye de las partes altas y medias de la Sierra Madre de Chiapas. El Triunfo está enclavado en el parteaguas de esta sierra, donde se encuentran las fronteras de dos de las tres regiones hidrográficas del estado: la del Grijalva-Usumacinta, (en la vertiente de la Depresión Central) y la de la Costa (en la vertiente del Pacífico) (Fig. 5). Debido a las altas precipitaciones alcanzadas en la reserva, numerosos arroyos y ríos descienden a las tierras bajas (INE, 1999).

La región hidrográfica Grijalva-Usumacinta, es una de las más importantes del país. A lo largo del cauce del río Grijalva se han construido cuatro centrales hidroeléctricas: Belisario Domínguez o La Angostura, Manuel Moreno Torres o Chicoasén, Netzahualcóyotl o Malpaso y Ángel Albino Corzo o Peñitas (INE, 1999). Las principales cuencas del sistema Grijalva-

Usumacinta que tienen que ver con la REBITRI son: La Angostura, El Dorado, Cuxtepec, Santa Catarina y Cajetal.

Por otra parte, la vertiente del Pacífico presenta ríos cortos y seriados, de muchas caídas hacia los fondos de los valles, localizándose siete cuencas: Pijijiapan, Coapa, Margaritas, Novillero, San Nicolás, Cacaluta y Cintalapa (Helbig, 1976).

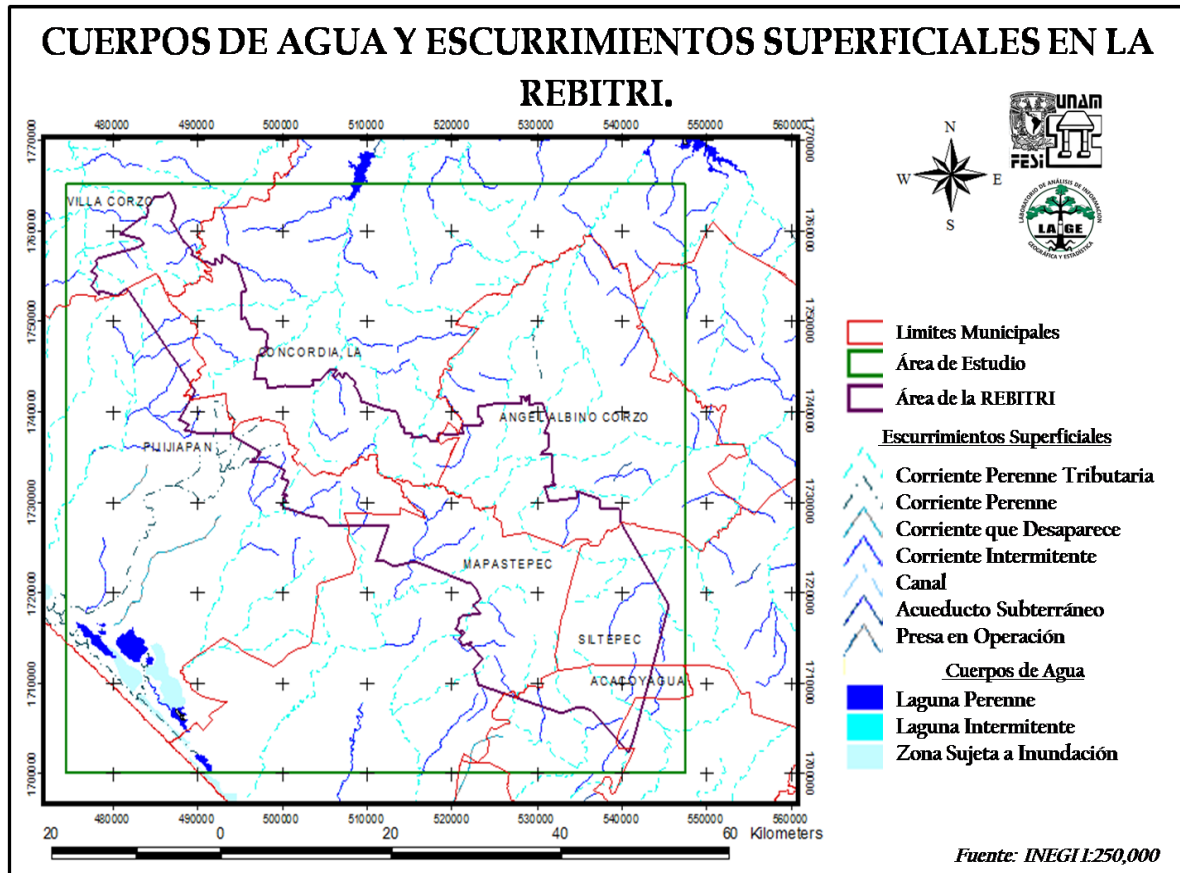


Fig. 5.- Hidrología Superficial en la REBITRI

### 3.7.- EDAFOLOGÍA

Aunque se considera que existe una importante diversidad de suelos en la REBITRI, su distribución es poco compleja, aunque se pueden registrar hasta 14 tipos diferentes (Fig. 6), básicamente son seis los tipos de suelos predominantes en la zona. Las unidades y

subunidades que se identifican en el área de estudio, según el Instituto Nacional de Ecología (INE) (1999) son:

Cambisol éútrico + Cambisol crómico + Acrisol órtico de textura media.

Litosol + Regosol éútrico + Feozem háplico de textura media.

Feozem háplico + Regosol éútrico + Litosol de textura media y fase lítica.

Acrisol plíntico + Acrisol órtico + Regosol dístrico de textura fina.

Cambisol crómico + Luvisol crómico de textura media y fase lítica.

Fluvisol éútrico + Cambisol éútrico de textura media.

El tipo de suelo que abarca mayor superficie dentro de la REBITRI es el Cambisol Eútrico, caracterizado por poseer una capa superficial de color claro y generalmente pobre en materia orgánica, consecuencia del fuerte intemperismo y tectonismo que ha derivado en la formación metamórfica de rocas. Estos suelos se encuentran intensamente alterados y empobrecidos, a pesar de tener una textura arcillo-limosa tienden a ser permeables, por lo que no son aprovechables para actividades de tipo forestal (Arreola *et al.*, 2004).

En las porciones graníticas predominan los Litosoles con menos de 25 cm de espesor sobre la roca. Presentan una textura limo-arcillosa, mostrándose excepcionalmente frágiles a la erosión, por lo que en muchas situaciones tienden a perderse en movimientos en masa si se desprotegen de su cobertura forestal o en presencia de lluvias torrenciales (Arreola *et al.*, 2004).

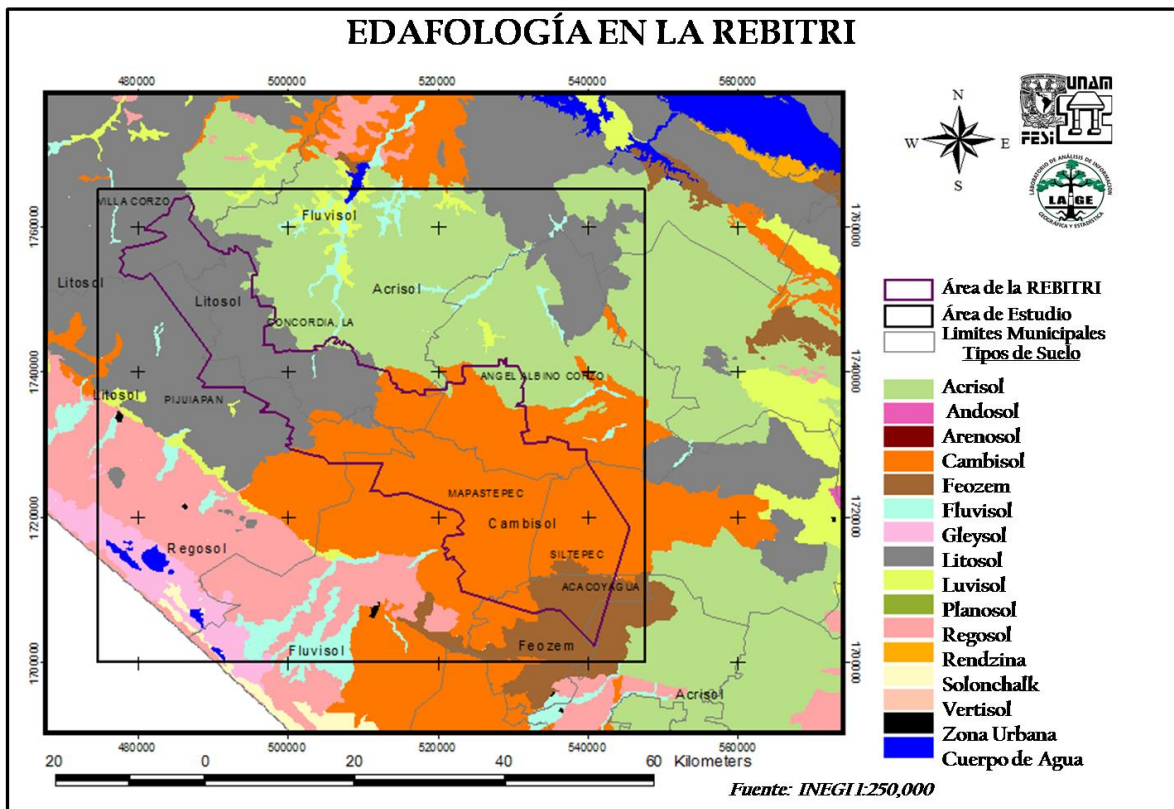
Los suelos de tipo Feozem se encuentran en menor proporción y principalmente hacia las porciones menos abruptas y en zonas en donde se han producido ciertos procesos de acumulación. Se caracterizan por una capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y pobre en nutrientes. Comparten características de intensa alteración y extrema fragilidad, sin embargo son suelos con cierta aptitud para el aprovechamiento agropecuario (Arreola *et al.*, 2004).

Los suelos de tipo Acrisol se localizan en pequeñas porciones dentro del área de estudio, presentan características similares a los suelos de tipo Cambisol como son la predominancia de una superficie clara y la escasez en nutrientes. Sin embargo, presentan un horizonte plíntico con contenidos rojizos, producto de minerales ferromagnesianos los cuales se



encuentran endurecidos de forma permanente confiriéndole una capa arcillosa, pero en general son suelos de baja productividad. Representan el cuarto lugar en extensión dentro de la zona. Las regiones que tienen bosques presentan una importante capa de humus que los hace productivos, con constante fertilización (Arreola *et al.*, 2004).

El Fluvisol se restringe principalmente en las partes bajas como los piedemontes y en asociación con los valles fluviales, por donde escurren básicamente hacia la Depresión Central. Son de origen aluvial y de formación reciente, con un contenido moderado de nutrientes y textura limo arcillosa que les otorga potencial para las actividades agropecuarias con alta producción, sin embargo están pobremente representados en el área de estudio. La mayoría de estos suelos son susceptibles a la erosión de manera moderada a alta y se encuentran distribuidos dependiendo de la inclinación topográfica. Sin embargo, su formación se encuentra condicionada al estrato geológico que a lo largo de un periodo le ha dado origen (Arreola *et al.*, 2004).



**Fig. 6.- Tipos de Suelos en la REBITRI.**

### **3.8.- VEGETACIÓN Y FLORA**

Las características geográficas de la REBITRI permiten la existencia de diferentes ecosistemas propios de los climas tropicales, templados y de la transición de ambos; estando presente una gran diversidad de comunidades vegetales (INE, 1999). Entre las publicaciones que clasifican los tipos de vegetación en la zona, se encuentran: Long & Heath (1991), que definen siete asociaciones sólo para la Zona Núcleo El Triunfo (*Gaultheria-Ugni-Vaccinium*, *Quercus-Matudaea-Hedyosmum-Dendropana*, *Liquidambar-Quercus-Pinus*, *Cupressu-Pinus*, *Ficus-Coccoloba-Diholis-Sapium*, *Garcinia-Ingas-Desmopsis* y *Quercus salicifolia*), las comparan con las asociaciones descritas con otros sistemas de clasificación.

Bachem & Rojas (1994), propusieron para la vertiente del golfo de la REBITRI, integrada por la zona de influencia y de amortiguamiento de los polígonos I, III, IV y V, cinco tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio, sabana, bosque de coníferas y bosque mesófilo de montaña, basados en la nomenclatura de Rzedowski del año 1978 (Pérez, 2004). En el análisis presentado por Pérez (2004), se definen 11 tipos de vegetación presentes en los municipios que conforman el territorio de la REBITRI (Cuadro 1).

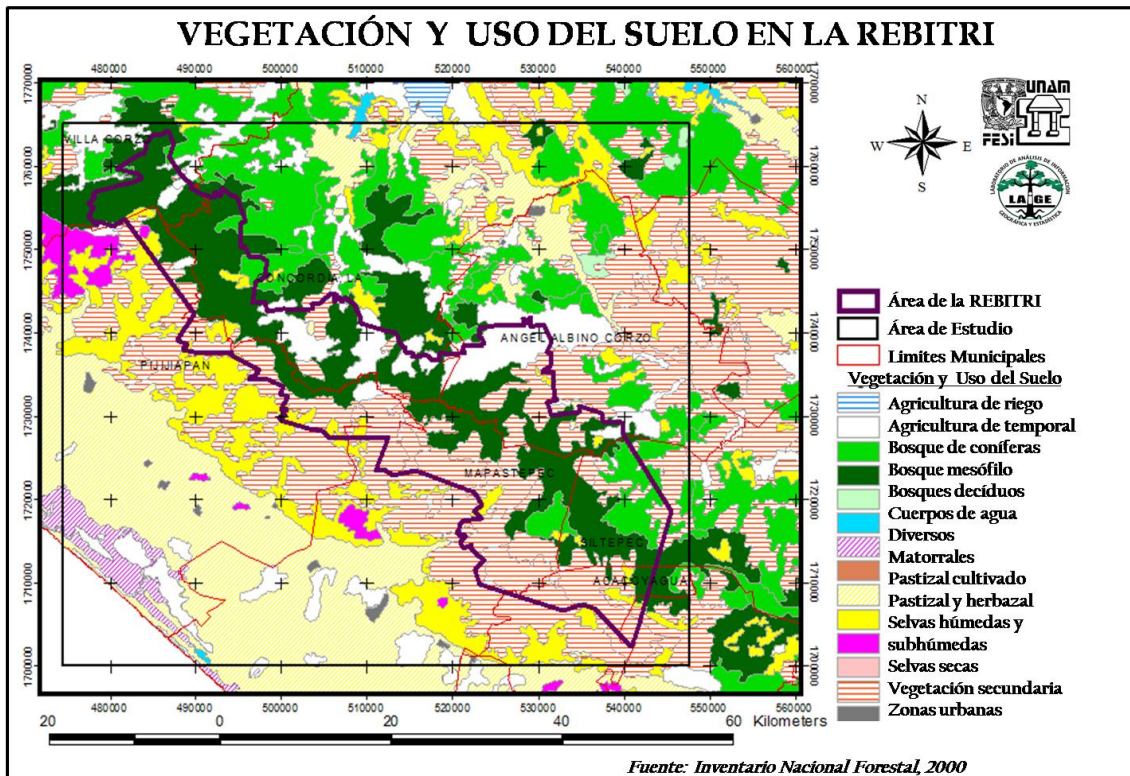
El plan de manejo presentado por el INE (1999) establece 10 tipos de vegetación, fundamentados en la clasificación de Breedlove (1981). Cada tipo de vegetación se describe en el Anexo A-I.

Sin embargo, la información sobre los tipos de vegetación empleada en el presente estudio, correspondió a la del Inventario Nacional Forestal (INF), (Palacio *et al.*, 2000) que se observa en la Figura 7, mientras que las características representativas de esos tipos de vegetación se encuentran descritas en el Anexo A-II, (se puede consultar también en PEOT, 2005). Se eligió esta clasificación por la escala del trabajo y por la disponibilidad de los datos con expresión espacial en toda el área de estudio.



**Cuadro 1.- Tipos de vegetación presentes en la REBITRI y sus equivalencias con otras clasificaciones según Pérez (2004).**

Miranda y Hdz, 1963	Breedlove, 1981	Rzedowski, 1978
Páramo de altura	Matorral perennifolio de neblina	Bosque mesofilo de montaña en parte (Páramo)
Selva mediana o baja perennifolia	Bosque lluvioso de montaña	Bosque tropical perennifolio parcialmente
Selva alta perennifolia	Bosque lluvioso de montaña baja	Bosque tropical perennifolio parcialmente
Selva alta o mediana subperennifolia	Bosque estacional perennifolio	Bosque tropical perennifolio parcialmente
Bosque caducifolio	Bosque de pino-encino-liquidambar	Bosque mesofilo de montaña
Pinares	Bosque de pino-encino	Bosque de coníferas
Encinares	Bosque de pino-encino	Bosque de quercus
-	Bosque de galería o ripario	Vegetación acuática y subacuática
Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia	Bosque tropical caducifolio
Bosque escumifolio	Bosque de ciprés	Bosque de coníferas
Comunidades secundarias (pastizales, acahuals, plantaciones de café)	Comunidades secundarias arbóreas y arbustivas	-



**Fig. 7.- Vegetación y Uso del Suelo en la REBITRI.**

### **3.9.- FAUNA**

En la REBITRI, se han registrado 548 especies de vertebrados terrestres, que representan el 56.6% de los reportados para Chiapas y el 24.8% para México, así mismo 13 especies de vertebrados endémicos de México, 7 especies endémicas de Chiapas y 3 endémicas de la Sierra Madre (Espinoza *et al.*, 1998).

La herpetofauna registrada consta de un total de 90 especies, agrupadas en 32 especies de anfibios y 58 de reptiles, que constituyen el 31.6% para anfibios y el 26.6% para reptiles de las especies registradas para Chiapas y el 7.5% de las del país (Muñoz *et.al.*, 2004).

Respecto a la ictiofauna registrada para la Sierra Madre, destaca una especie de *Characidae*, dos de *Cyprinodontidae*, dos de *Poeciliidae* y una de *Cichlidae* (INE, 1999).

Las aves forman el grupo más diverso y estudiado de los vertebrados en la REBITRI, con un registro de 390 especies que constituyen el 56% de las registradas para Chiapas y el 37% para México (INE, 1999). De las especies que habitan en la REBITRI, 135 se encuentran bajo algún régimen de protección en la Norma Oficial Mexicana (NOM)-059-SEMARNAT-2001.

Aunque los invertebrados han sido el grupo menos estudiado de la fauna presente en la REBITRI, se han reportado 588 especies de mariposas diurnas Lepidóptera, para la Sierra Madre de Chiapas, que corresponden al 49% de las especies conocidas para Chiapas (De la Maza & De la Maza, 1993).

### **3.10.- TENENCIA DE LA TIERRA**

En la estructura de la tenencia de la tierra en la REBITRI, predominan los terrenos ejidales con alrededor de 56,572 ha; que representan el 47% del total de la superficie de la misma. El segundo tipo de tenencia de la tierra en superficie es el de la propiedad privada, con 29,350 ha; es decir cerca del 25% del total. Son propiedad federal poco más del 21%, es decir 25,403 ha; que constituyen las zonas núcleo de la REBITRI (Pérez, 2004). Sin embargo, existen asentamientos humanos irregulares dentro de la reserva (INE, 1999).

### 3.11.- POBLACIÓN

La REBITRI tiene influencia de 6 municipios que en total cuentan con una población de 222,095 habitantes, que representan el 5.7% de la población total a nivel estatal (Contreras, 2007). Esta población se encuentra distribuida en 27 ejidos, una comunidad y 221 predios privados (Fig. 8), de los cuales sólo se conocen tres comunidades indígenas provenientes de los Altos de Chiapas de origen tzotzil y tzeltal. El INE (1999), reporta que los principales asentamientos humanos dentro del área protegida son: Toluca, Puerto Rico, Santa Rita, Santa Rita las Flores, Las Palmas, Tres de Mayo, Loma Bonita, Monterrey, Plan de Ayala y Pantaleón Domínguez. Entre las rancherías y fincas están: Liquidámbar, Prusia, Santa Cruz, Cabañas, Las Nubes, Custepec, Catarinas y El Gadón. En la zona de influencia se encuentran: Buenavista, Tigrilla, Ángel Albino Corzo (Jaltenango La Paz), Pijijapan, Mapastepec, Siltepec, Villa Flores y Villa Corzo (INE, 1999).

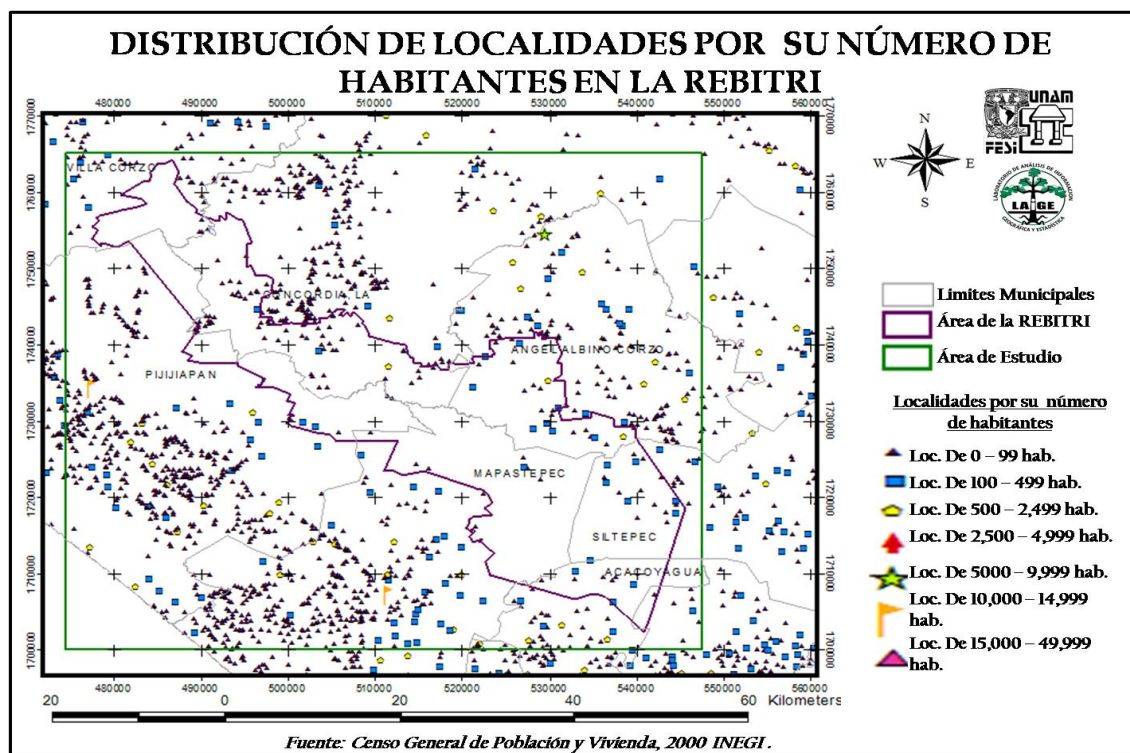


Fig. 8.- Ubicación de los poblados en base al número de habitantes en la REBITRI.

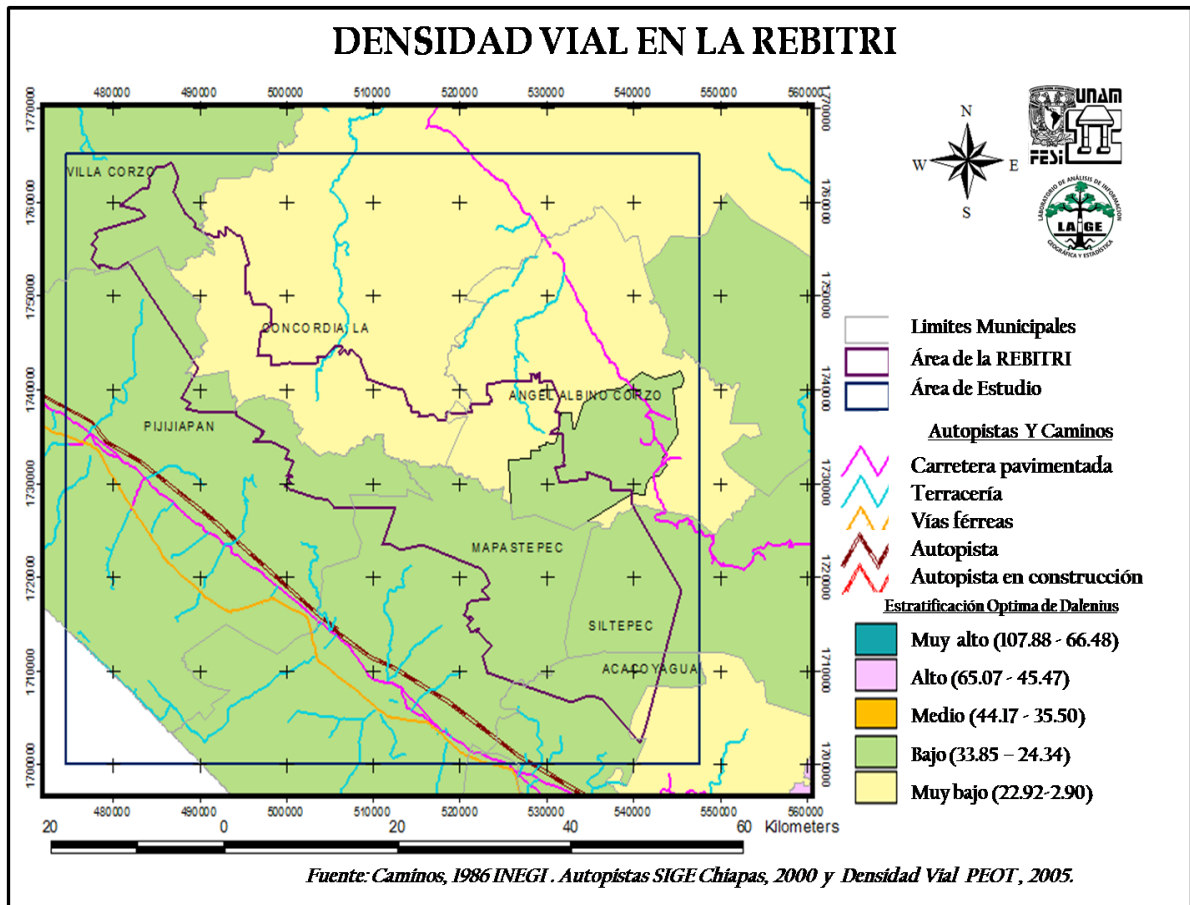
### **3.12.- ACTIVIDADES PRODUCTIVAS**

De la población reconocida para la reserva, el 50% se dedica a la agricultura, el 15% al corte de la palma, el 12% al comercio, el 4% a las faenas domésticas y el 19% a otras actividades. La economía se basa principalmente en el cultivo y la comercialización del café, la agricultura de autoconsumo y en una incipiente ganadería. En la región también se efectúan otros tipos de uso de suelo como la explotación forestal y el turismo (INE, 1999).

### **3.13.- VÍAS DE ACCESO Y COMUNICACIÓN**

En la región de influencia, las cabeceras municipales son las que cuentan con mayor comunicación. Las localidades restantes se comunican sólo a través de caminos de terracería. La región se encuentra conectada al sistema carretero a través de dos vías principales, que están asfaltadas: la carretera federal por la costa y la carretera estatal, que inicia en la capital del estado y se comunica con el municipio de Ángel Albino Corzo. Por la vertiente del Pacífico, la carretera federal, conocida como costera, comunica las cabeceras municipales de Acacoyagua, Mapastepec y Pijijiapan recorriendo la mayoría de los municipios de la planicie costera y conectando los principales centros de población como Tapachula y Tonalá (INE, 1999). La carretera estatal conecta a los cuatro municipios restantes de la región de influencia, además de seis caminos de terracería. En ambas vertientes, las localidades asentadas dentro de la reserva, que no cuentan con carretera de terracería se comunican por caminos vecinales, brechas y veredas. Diferentes líneas de transporte de carga y pasaje llegan a las cabeceras municipales, mientras que el transporte a los ejidos y comunidades se realiza en vehículos particulares (INE, 1999) (Fig. 9).

Los municipios de la región cuentan con sistemas de comunicación que incluyen correo, telégrafo, teléfono y radiocomunicación. En todas las cabeceras municipales, excepto en Acacoyagua, se encuentra instalada una oficina de telégrafos. Hay un total de 2,415 líneas telefónicas dan servicio particular en la zona. La mayoría de las localidades cuenta con sistema de caseta telefónica (INE, 1999).



**Fig. 9.-Densidad vial y ubicación de autopistas y caminos en la REBITRI.**

### 3.14.- AMENAZAS

Las amenazas a corto plazo que enfrenta la REBITRI, según el INE (1999) y la CONANP (2008), son los incendios forestales, seguido de la tala inmoderada de los bosques en el área de amortiguamiento, así como las prácticas agrícolas inadecuadas, el cultivo de estupefacientes y el asentamiento irregular de las poblaciones humanas. A mediano plazo, son el incremento de la población tanto en el área de la reserva como en el área de influencia, la aplicación de planes de desarrollo que no toman en cuenta el impacto ambiental y en los cuales el impacto es mayor que el beneficio, que traerá la falta de integración y continuidad de políticas y programas gubernamentales. Estas amenazas, constituyen un factor de riesgo para la preservación y conservación de esta zona (INE, 1999).

## IV. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para este trabajo (Fig. 10) consistió en: 1) la delimitación del área de estudio, 2) una revisión documental para seleccionar variables relevantes; 3) la recopilación y adecuación de información para su procesamiento en coberturas geográficas digitales; 4) un análisis espacial de la distribución de las diferentes variables y de los registros de incendios; e integración de la información; 5) la elaboración de modelos de regresión para determinar áreas con peligro; y 6) la elaboración del mapa de áreas con peligro potencial a incendio forestal para la REBITRI.

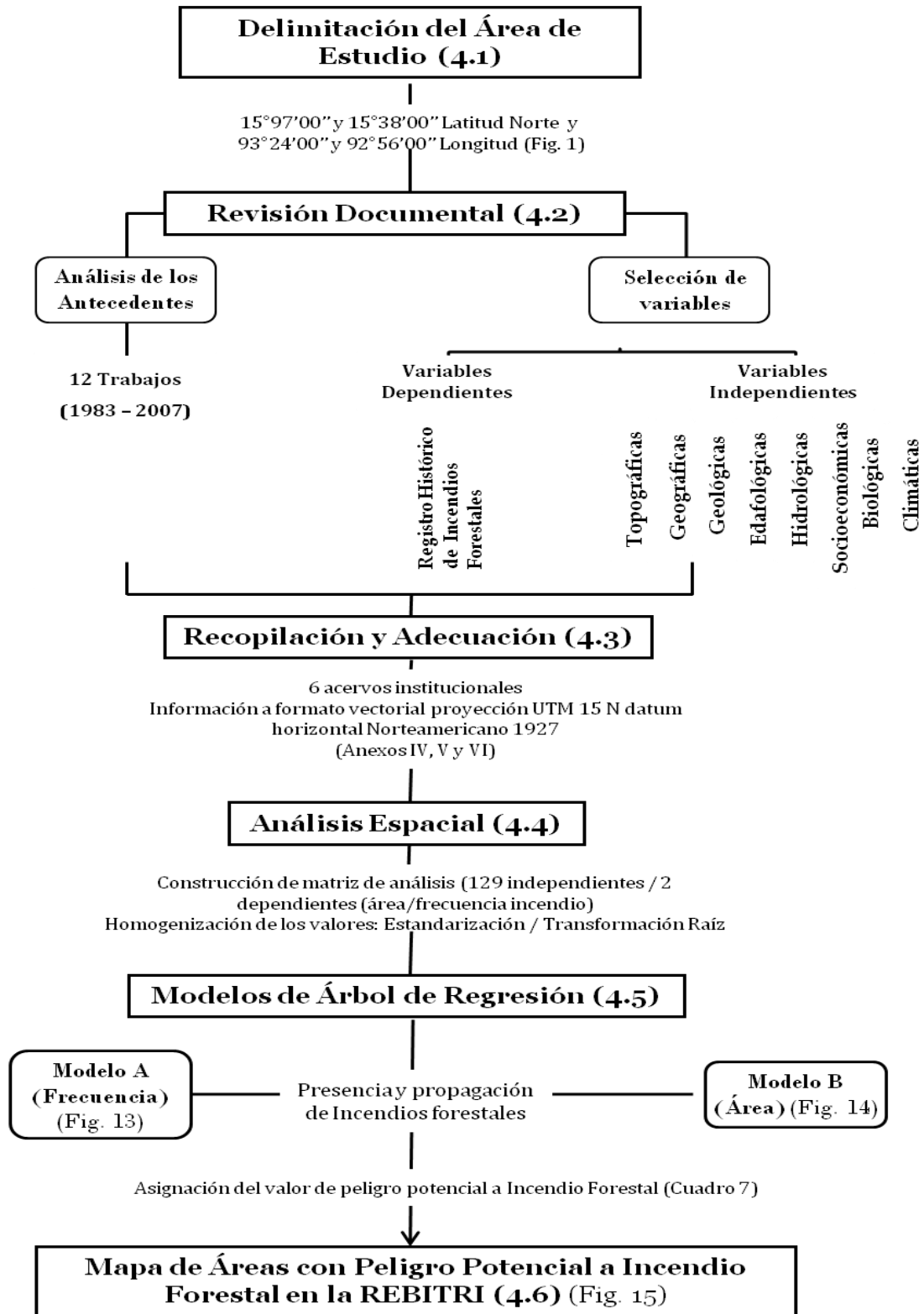
La delimitación del área de estudio se ubicó en la sección 4.1. La revisión documental, se hizo sobre trabajos reportados para México en la determinación de áreas con riesgo y peligro a incendio forestal (Cuadro 2), a partir de la cual se seleccionó una serie de variables pertenecientes a 8 categorías (sección 4.2 y Cuadro 3).

La información se recopiló de la dirección de la REBITRI-CONANP, la CONABIO, la TNC, el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (PEOT) (2005), el Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE) del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad San Cristóbal de las Casas, Chiapas, así como de la Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Iztacala UNAM (sección 4.3 y Cuadro 4). En donde, se generó la información correspondiente a las coberturas climáticas mediante el programa BIOCLIM (Téllez *et al.*, 2010), explicada en los Anexos-IV y V.

Para analizar la información, se definieron 4745 unidades de análisis en el área de estudio (sección 4.1 y Anexo A-III). Todas las capas de datos se adecuaron para procesarse en un SIG de formato vectorial con proyección Universal Transversal Mercator (UTM) (sección 4.3 y Anexos A-IV, V y VI).

La información resultante se administró en una matriz de análisis, aprovechando las capacidades de análisis de tablas de atributos de los programas ArcView 3.2 (ESRI, 1998) y ArcMap 8.2 (ESRI, 2001) (sección 4.4). El mapa de áreas con peligro potencial a incendio forestal de la REBITRI, se basó en el análisis a dos modelos de árbol de regresión elaborados en el programa estadístico R 2.6.0 (The R Project), mediante los cuales se seleccionaron las variables que potencialmente se están relacionando con la distribución espacial de los incendios forestales en el área de estudio (secciones 4.4 y 4.5). Con base en estos modelos fue posible asignar un valor de peligro potencial a incendio forestal a cada una de las 4745 unidades de análisis, asignando a cada una de ellas una de las categorías respectivas (sección 4.6).

Los métodos y materiales empleados durante este proyecto de investigación se detallan en los diferentes apartados de la metodología que se presentan a continuación, así como en los anexos.



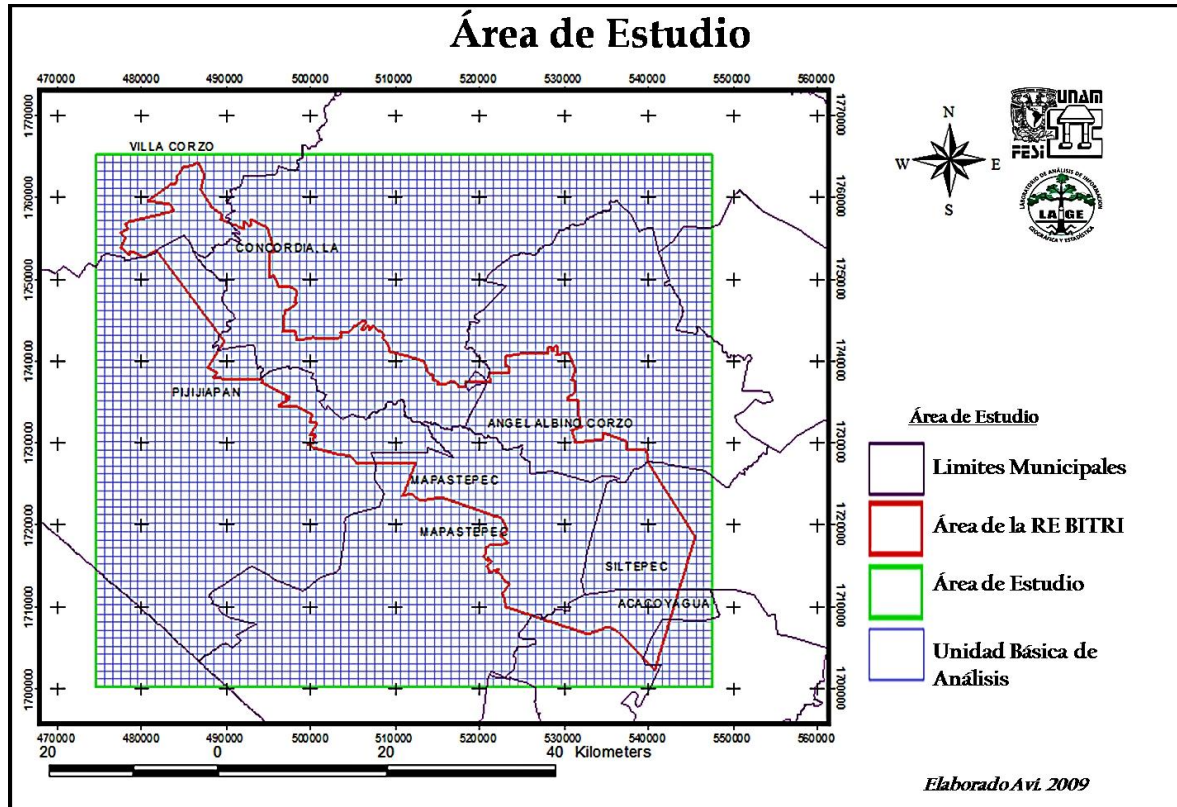
**Fig. 10.-Diagrama metodológico general para la obtención de áreas con peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI.**



## **4.1.- DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Para la determinación de las variables que influyen en la presencia y propagación de los incendios forestales se tomaron en cuenta los registros de los incendios forestales tanto del interior de la REBITRI como a sus alrededores. Se estableció como zona de estudio un área cuadrangular alrededor de la reserva cuyas coordenadas geográficas están entre los 15°97'00", y 15°38'00", latitud norte y 93°24'00" y 92°56'00", longitud oeste (Fig. 11). La delimitación de esta zona tuvo la intención de incluir la variabilidad de ambientes, así como el mayor número de incendios en la REBITRI.

Una vez delimitada el área de estudio se le asignó en ArcMap 8.2 una rejilla que la dividió en 4745 unidades de análisis, cada una de las celdas con una superficie de 100 ha. La superficie de la unidad de análisis se estableció considerando el área de la REBITRI y la extensión mínima registrada para los puntos de calor, según la información proporcionada por la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx>). Para administrar y procesar la información por unidad de análisis se les asignó un identificador alfanumérico denominado "IDXY" y una clave numérica para su identificación denominada "ID", este procedimiento se encuentra detallado en el Anexo A-III.



**Fig. 11.-** Mapa del área de análisis de incendios forestales dividido en celdas de 100 ha.

## 4.2.- REVISIÓN DOCUMENTAL

### 4.2.1 Análisis de los Antecedentes

La búsqueda bibliográfica de los antecedentes se dirigió hacia los estudios basados en la determinación de áreas con riesgo y peligro de incendio forestal para México, con énfasis en los trabajos reportados para la zona de estudio (Cuadro 2).

Se hizo un análisis a los antecedentes para elegir los factores y variables a considerar en la determinación de las zonas con peligro potencial, así como las herramientas metodológicas y análisis adecuados para el presente trabajo.

**Cuadro 2.- Estudios publicados que determinan áreas de riesgo y peligro a incendio forestal para México.**

AÑO	AUTOR (S)	VARIABLES	ANÁLISIS
1983-1994	<i>Magaña, Marín, Garrido y Toledo</i>	Meteorológicas Combustibles forestales (Cargas)	Índice de Riesgo
1996	<i>Flores</i>	Cobertura vegetal Pendiente Caminos	Índice de Riesgo
1998	<i>Gómez y Chávez</i>	Topografía Caminos Combustibles forestales (Cargas)	Índice de Riesgo (grosor hojarasca) Evaluación Multicriterio
1999	<i>Sepúlveda et al.</i>	Combustibles forestales (5 Modelos) Meteorológicas (Tma*, Tmi*, Humrel*, Velv*) Estadísticas incendios	Índice de Quema Componente de Ignición Componente de Dispersión 13 Modelos de Simulación
2000	<i>Alanís y Orzoco</i>	Combustibles forestales (Cargas) Cobertura forestal (1:50,000 1994) Meteorológicas (Tma*, Tmi*, Prec*, Evap*) Tenencia de la tierra Áreas de aprovechamiento forestal Estadísticas incendios	Índice de Riesgo
2001	<i>Rojó et al.</i>	Combustibles forestales (Porcentaje Humedad) Meteorológicas ( Tma, Humrel) Velocidad de Propagación del fuego	Coefficientes de Correlación Regresión Lineal Índice grado de Peligro

AÑO	AUTOR (S)	VARIABLES	ANÁLISIS
2004	<i>Miranda</i>	Imágenes satelitales (5 Modelos) Combustibles forestales (Cargas) Geología Topografía Pendiente Exposición Cobertura vegetal Hidrología Caminos Líneas eléctricas Drenaje Postes (luz) Infraestructura	Caracterización Ecológica: Subrodales de Vegetación Evaluación Multicriterio:
2005	<i>Muñoz et al</i>	Combustibles forestales (Cargas) Meteorológicas (Tmams*, Precmst*) Áreas de aprovechamiento forestal Caminos (distancia a vías de acceso) Poblaciones (distancia) Modelo Digital de Elevación (MDE) 30m	Índice de Peligro Evaluación Multicriterio y Combinación Lineal Ponderada
2005	<i>Ramírez</i>	Estadísticas incendios	Estadísticas Incendios
2006	<i>US.AID – CONANP- REBITRI</i>	Estadísticas incendios	Estadísticas Incendios
2007	<i>Diez de Bonilla</i>	Topografía Combustibles forestales (Cargas) Vías de acceso Zonas de recreación Vegetación Uso del suelo Meteorológicas ( Prec*, Tma*)	Índice de Peligro Evaluación Multicriterio: Combinación Lineal Ponderada
2007	<i>Contreras</i>	Ocurrencia histórica de incendios Densidad de población Caminos Actividades productivas Combustibles forestales (Modelos 4) Combustibles forestales (Cargas) Pendiente Orientación de ladera Inaccesibilidad Sensibilidad al fuego Elementos de conservación Destino de uso del área	Evaluación Multicriterio: bajo, medio, alto

**\*Abreviaturas: Tma: temperatura máxima, Tmi: temperatura mínima, Prec: precipitación, Evap: evaporación, Tmams: temperatura máxima mensual, Precmst: precipitación total mensual, Humrel: humedad relativa y Velv: velocidad del viento.**

## **4.2.2 Selección de la Información**

La selección de la información se diferenci6 en las categorías temáticas de Topografía, Geografía, Geología, Edafología, Hidrología, Biología, Climática y Socioeconómica. De cada una se eligió un grupo de variables, considerando la disponibilidad de acceso a la base de datos y su relevancia para el análisis. En el Cuadro 3, se observa el grupo de variables que integró cada tema.

## **4.3.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS COBERTURAS DIGITALES**

### **4.3.1 Recopilación de Información**

La información de las variables se recopiló de 6 diferentes acervos institucionales (Cuadro 4), disponiendo de la información en coberturas digitales con formato raster o vectorial.

Para cada cobertura se verificó la fiabilidad de la información para el análisis de la misma, revisando en ArcMap 8.2 y ArcView 3.2 que la digitalización de la información presentara congruencia y coincidencia con la información registrada en la base de datos.

**Cuadro 3.- Variables seleccionadas para el análisis de las áreas de peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI.**

<b>TEMA</b>	<b>VARIABLE</b>
<b>TOPOGRAFÍA</b>	Elevación Pendiente
<b>GEOGRAFÍA</b>	Área REBITRI Zonificación REBITRI Puntos de Calor 2000 – 2008 Incendios Forestales 1996 – 2001
<b>GEOLOGÍA</b>	Tipo de Roca
<b>EDAFOLOGÍA</b>	Tipo de Suelo
<b>HIDROLOGÍA</b>	Ríos Lagos
<b>BIOLOGÍA</b>	Tipo de Vegetación
<b>CLIMÁTICA</b>	Prom*. Oscilación Diurna de la Temperatura Prom*. Estacionalidad de la Temperatura Prom*. Precipitación Anual Prom*. Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Cálido Prom*. Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Seco Prom*. Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Cálido Prom*. Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Seco Prom*. Temperatura Máxima Promedio Periodo Más Cálido Evapotranspiración de Turc Calculada
<b>SOCIOECONÓMICA</b>	Caminos / Carreteras Potencial Ganadero Potencial Agrícola Uso de Suelo Localidades Población

\*Abreviaturas: Prom: promedio

**Cuadro 4.- Formato de la cobertura geográfica digital por variables y la fuente que proporcionó la base de datos.**

<b>VARIABLE</b>	<b>FORMATO</b>	<b>ORIGEN</b>
Elevación Pendiente	<b>RASTER</b>	MDT* - LAIGE S.C.L.C*
Área REBITRI Zonificación REBITRI Puntos de Calor 2000 - 2008 Incendios Forestales 1996 - 2001	<b>VECTOR</b>	REBITRI - CONANP* REBITRI - CONANP CONABIO* TNC*
Tipo de Roca	<b>VECTOR</b>	INEGI* (1:250,000) - PEOT*
Tipo de Suelo	<b>VECTOR</b>	INEGI (1:250,000)- PEOT
Ríos Lagos	<b>VECTOR</b>	INEGI (1:250,000) - PEOT
Vegetación	<b>VECTOR</b>	Vegetación y uso del suelo (1:250,000) (Instituto de Geografía-UNAM, 2001 - PEOT
Prom. Oscilación Diurna de la Temperatura Prom. Estacionalidad de la Temperatura Prom. Precipitación Anual Prom. Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Cálido Prom. Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Seco Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Cálido Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Seco Temperatura Máxima Promedio Periodo Más Cálido Evapotranspiración Real	<b>RASTER</b>      <b>VECTOR</b>	Téllez <i>et al.</i> , 2010      LAIGE S.C.L.C
Caminos / Carreteras Potencial Ganadero Potencial Agrícola Uso de Suelo Localidades Población	<b>VECTOR</b>	REBITRI-CONANP - PEOT PEOT Vegetación y uso del suelo (1:250,000) (Instituto de Geografía-UNAM, 2001 - PEOT PEOT

**\*Abreviaturas: MDT: Modelo Digital del Terreno (Navarrete et al., 2002), LAIGE S.C.L.C: Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística Unidad San Cristóbal de las Casas, TNC: The Natura Conservancy, PEOT: Programa Estatal de Ordenamiento (2005).**

### 4.3.2 Adecuación de las Coberturas Digitales

Considerando la disponibilidad de la información en 2 formatos diferentes, se resolvió trabajar con el formato vectorial en proyección UTM 15 Norte; con datum horizontal norteamericano de 1927; todas las coberturas digitales para fines prácticos en el manejo de la información.

La cobertura digital de cada variable se sobrepuso a la del área de estudio para realizar cortes de esta zona con ArcMap 8.2. Posteriormente se les aplicó la herramienta "Identity" con la cobertura de unidades de análisis, para asignar el "ID" de cada unidad de análisis, a cada elemento resultante.

Se realizó una reclasificación de altitud (m.s.n.m) y pendiente (grados) de acuerdo a las escalas propuestas por Mas (2005). Se obtuvieron 29 categorías para elevación y 4 para pendiente. El modelo digital de terreno (MDT) presentó una resolución a 20 m y fue desarrollado por Navarrete *et al*; (2002).

Utilizando el programa Bioclim (Téllez *et al.*, 2010) se generaron, a partir del MDT, las coberturas de los parámetros climáticos. Sin embargo, bajo una serie de pasos descritos en el Anexo A-IV se extrajo la información de los 8 parámetros (Cuadro 4) que se emplearon en este análisis.

El mapa digital de Evapotranspiración Real, se construyó con la cobertura digital de precipitación anual y de temperatura media anual, aplicando al procedimiento descrito en el Anexo A-V, la fórmula de "Evapotranspiración Real de Turc".

La cobertura digital de incendios sólo visualizaba la georreferenciación de cada incendio por año, por lo que se crearon áreas de influencia o "buffers" que representaron el área potencialmente siniestrada para cada incendio por año. La metodología que se siguió para el desarrollo de estos "buffers" se encuentra documentada en el Anexo A-VI.

Se extrajo el registro de los puntos de calor del período 2000-2008 (CONABIO, 2008), mediante un proceso de superposición de capas en ArcMap 8.2. La suma de los puntos de calor se estableció conforme al tipo de imagen en la que se registró la información, los 2 criterios para la adición fueron:

- 1.- **st\_ph**: consideró los registros (puntos de calor) de las imágenes AVHRR como MODIS durante 2000 y hasta el 2008 (CONABIO, 2008).
- 2.- **st\_ttt**: puntos de calor registrados en imágenes MODIS desde el 2003 y hasta el 2008 (CONABIO, 2008).

Ambos criterios incluyeron los puntos de calor diurnos y nocturnos.

Se recalculó el área o la longitud de cada rasgo (representado por área o línea), por unidad de análisis para las coberturas digitales de elevación, pendiente, área y zonificación de la REBITRI, tipos de suelo, tipos de rocas, ríos, lagos, caminos, vegetación y uso de suelo, potencial ganadero y potencial agrícola.

Para las coberturas digitales de ríos y caminos se calculó la densidad por unidad de análisis; mientras que para la cobertura digital de población el cálculo de la densidad se basó en el número de habitantes por localidad contenida dentro de cada unidad de análisis.

### **4.3.3 Selección de los Atributos por Variable**

Los atributos a evaluar se eligieron, en base al análisis de los antecedentes (Cuadro 2) y el método de análisis que se empleó (4.4.3), dando un total de 37 atributos enlistados en el Cuadro 5.



Cuadro 5.- Atributos seleccionados de la base de datos según la cobertura digital proporcionada por variable.

VARIABLE	ATRIBUTO
Elevación Pendiente	<i>Reclasificación (1-29) ▲</i> <i>Reclasificación (1-4) ▲</i>
Área REBITRI	<i>Zona Núcleo</i> <i>Área por zona núcleo</i>
Zonificación REBITRI	<i>Tipo de Zonificación en la REBITRI</i> <i>Área por Zonificación REBITRI</i>
Puntos de Calor 2000 – 2008 (CONABIO, 2008)	<i>Puntos de Calor 2003-2008 MODIS</i> <i>Puntos de Calor 2000 -2008 AVHRR y MODIS</i>
Incendios Forestales 1996 – 2001	<i>Suma de Frecuencia de Incendios por Año</i> <i>Suma de Área Incendiada por Año</i>
Tipo de Roca	<i>Tipo de Roca</i> <i>Área por tipo de roca</i>
Tipo de Suelo	<i>Tipo de Suelo</i> <i>Área por tipo de suelo</i>
Ríos	<i>Tipo de Corriente</i> <i>Longitud por atributo</i>
Lagos	<i>Área</i>
Vegetación	<i>Tipo de Vegetación</i> <i>Área por tipo de vegetación</i>

VARIABLE	ATRIBUTO
Promedio Oscilación Diurna de la Temperatura	<i>Valor promedio</i>
Promedio Estacionalidad de la Temperatura	
Promedio Precipitación Anual	
Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Cálido	
Precipitación Promedio Cuatrimestre Más Seco	
Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Cálido	
Temperatura Promedio Cuatrimestre Más Seco	
Temperatura Máxima Promedio Periodo Más Cálido	
Evapotranspiración de Turc Calculada	
Caminos / Carreteras	
Potencial Ganadero	<i>Clase PEOT (2005)</i> <i>Área por clase (1-5)</i>
Potencial Agrícola	<i>Clase PEOT (2005)</i> <i>Área por clase (1-5)</i>
Uso de Suelo	<i>Tipo de Uso de Suelo</i> <i>Área por tipo de uso de suelo</i>
Localidades Población	<i>Localidad</i> <i>Número de Habitantes</i>

## **4.4.- ANÁLISIS ESPACIAL**

### **4.4.1 Construcción de la Matriz de Análisis**

Para cada cobertura se exportaron los atributos seleccionados en formato de intercambio "DBase IV", utilizando las herramientas de ArcView 3.2. La información se ordenó con respecto a su clave ("ID") en Excel 2003 utilizando el manejador de tablas dinámicas. Los resultados se guardaron en formato "DBase IV" que posteriormente se trabajaron en ArcView 3.2.

Se construyó la matriz de análisis, a través de múltiples uniones entre la información de los atributos de las diferentes coberturas y la base de datos del área de estudio utilizando como vínculo el campo "ID". Se verificó que en cada unión coincidiera el "ID" con respecto a la unión anterior, copiando la información del procedimiento de unión en un campo nuevo al que se le asignó una clave.

La clave que se asignó a cada atributo fue menor a seis caracteres con el fin de facilitar su identificación en los modelos de árbol de regresión (Crawley, 2002). Cabe citar que la asignación de una clave, es requisito básico que solicita el programa estadístico (Dalgaard, 2002 y Venables & Ripley, 2002). Las claves de estas variables con sus respectivos nombres se encuentran en el Anexo A-VII.

Se obtuvieron un total de 132 campos, de los cuales 129 correspondieron a las variables independientes, 2 a las variables dependientes y 1 al identificador de unidad de análisis ("ID"). Para cada variable dependiente, se elaboró una matriz de análisis; es decir una contenía la suma de las áreas incendiadas y otra la frecuencia de incendios por año; además de sus respectivas variables independientes y su ID.

#### 4.4.2 Homogeneización de los Datos: Estandarización o Valor z / Transformación Raíz Cuadrada

Los valores de cada matriz de análisis, se transformaron a una escala homogénea, con el fin de eliminar las diferencias derivadas de las diversas escalas de medición y clasificación. A fin de maximizar la eficiencia del análisis y optimizar el desempeño de la herramienta estadística (Sokal & Rohlf, 1986; Herrera, 2000 y Kallimanis *et al.*, 2007). La fórmula para homogeneizar los valores, se eligió tomando como criterio el tipo de variable.

La fórmula de “estandarización o valor z” se aplicó para homogeneizar las escalas de las variables independientes. Al emplear esta fórmula sólo se reducen los valores a una escala en común de comparación, sin cambiar el valor del atributo e indicando la posición que tiene el valor en particular con respecto a la media (Sokal & Rohlf, 1986 y Johnson & Kuby, 2004).

Fórmula de Estandarización o Valor z:

$$Z = x - \mu x / \sigma x$$

Donde:

Z = valor estandarizado o valor z

x = valor a estandarizar

$\mu x$  = media

$\sigma x$  = desviación estándar

Al transformar las variables dependientes en raíces cuadradas las varianzas de estas, se hacen generalmente independientes de las medias (Sokal & Rohlf, 1986 y Herrera, 2000). Por lo que se decidió aplicar la fórmula de la “transformación tipo raíz cuadrada” a las variables dependientes (área y frecuencia de incendios).

Fórmula de Transformación tipo Raíz Cuadrada:

$$\mathbf{R} = \sqrt{\mathbf{x}} + \mathbf{0.5}$$

Donde:

R = valor transformación tipo raíz

x = valor a transformar

0.5 = constante preestablecida por la formula

Con el programa estadístico MVSP (MultiVariate Statistical Package) 3.13 se estandarizaron las variables independientes, importando la información de la matriz de análisis en formato de texto con la opción de campos separados por marcas de tabulación (".txt"). Las variables dependientes se procesaron en Excel 2003, aplicándoles la fórmula de la transformación tipo raíz cuadrada.

## **4.5.- MODELOS DE ÁRBOL DE REGRESIÓN**

Debido a lo complejo que resultó analizar las relaciones entre un gran número de variables, se consideró que para analizar la relación de las variables que influyen en la distribución espacial de las áreas con incendio forestal, el análisis de regresión múltiple no puede cambiar eficazmente la dirección de los efectos de una variable en la respuesta de los niveles de otra variable (Kallimanis *et al.*, 2007).

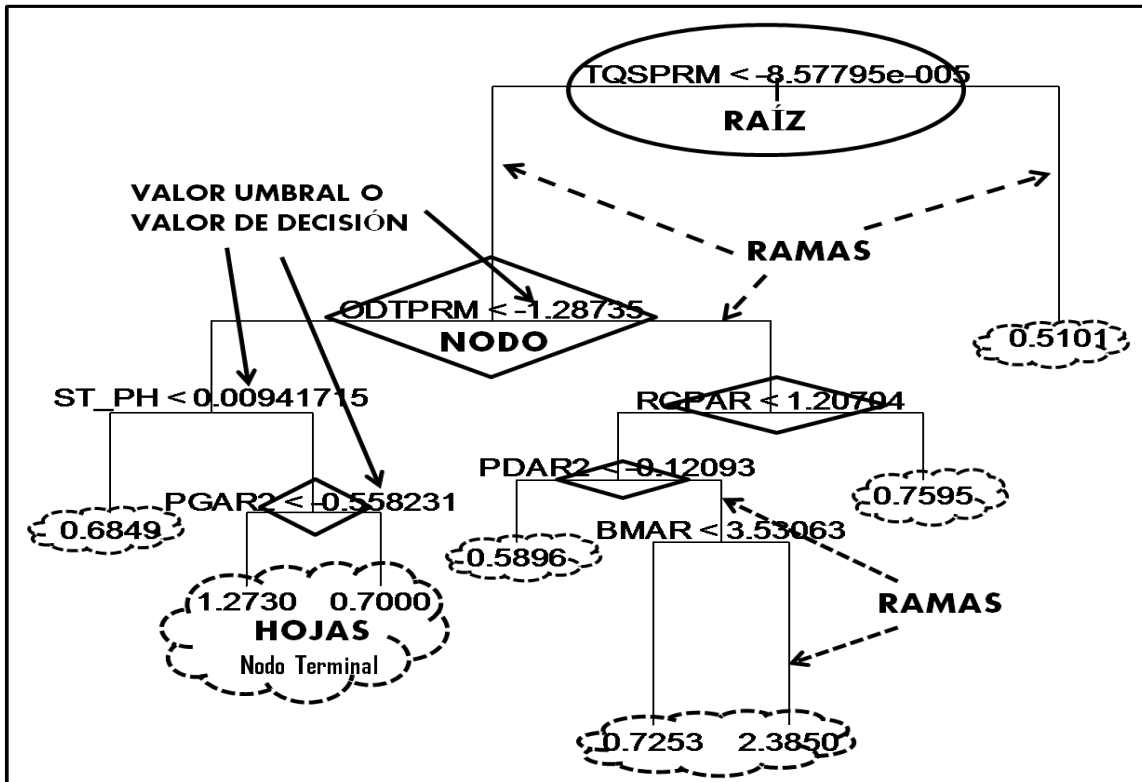
Por lo que se determinó que los modelos de árbol de regresión eran una herramienta estadística adecuada, que se aplica en situaciones que como ésta, hay muchas variables independientes y no hay indicios para decidir cuál o cuáles elegir (Crawley, 2002).

Los modelos de árbol de regresión, son flexibles en el descubrimiento de la estructura de los datos que tienen variables que pueden ser jerárquicas, no lineales y no aditivas. Siendo actualmente utilizados para capturar las relaciones no lineales de las interacciones entre predictores y especialmente en el modelado de la relación ambiente-biodiversidad (Iverson & Prasad, 1998 y Kallimanis *et al.*, 2007).

Esta metodología se basa en un particionamiento binario de los datos, dividiéndolos inicialmente en dos subgrupos sobre la base del mejor predictor a lo largo de los ejes de las coordenadas de las variables que minimizan la diferencia en la respuesta. En cada uno de los subconjuntos se repite el particionamiento binario de los datos, sucesiva y recursivamente, distinguiéndose al máximo la variable de respuesta en ramas de lado izquierdo y derecho (Iverson & Prasad, 1998; Crawley, 2002 y Kallimanis *et al.*, 2007).

El modelo de árbol de regresión inicia su camino en la cima llamada “Raíz”, procediendo con divisiones del lado izquierdo y derecho llamadas “Ramas”, que continúan hacia la salida del modelo del árbol con nodos terminales llamados “Hojas”, cuyo valor previsto para cada nodo terminal es el promedio en ese nodo (Iverson & Prasad, 1998 y Crawley, 2002) (Fig. 12).

En el modelo de árbol de regresión cada variable se evaluó seleccionando la de mayor desviación en el eje de las “y”. Esta desviación se calculó sobre la base del valor de decisión de la variable de respuesta, dos valores medios de respuesta, uno por encima del valor y otro por debajo. Ambos valores se usaron para calcular la desviación y dividir los datos en subconjuntos por encima y por debajo de la base del valor umbral de la variable. El procedimiento se repitió en cada subconjunto de datos, haciendo la selección de las variables de respuesta hacia adelante, hasta que la reducción de la desviación fue mínima o existían pocos datos para continuar con otra subdivisión (Crawley, 2002).



**Fig. 12.- Componentes clave que integran un Modelo de Árbol de Regresión.**

Abreviaturas: TQSPRM: Promedio de la Temperatura promedio del cuatrimestre más seco. ODTPRM: Promedio de la oscilación diurna de la temperatura. PGAR 2: Potencial ganadero tipo 2. RCPAR: Zona de recuperación de la REBITRI. BMAR: Área de bosque mesófilo de montaña. PDAR 2: área de la pendiente clase 2.

#### 4.5.1 Construcción de los Modelos de Árbol de Regresión

Se elaboró un par de modelos de árbol de regresión; uno evaluó las variables que influyen en la presencia de los incendios, basados en la frecuencia de los mismos y otro en la propagación, basado en el área incendiada.

En ambos modelos las matrices de análisis se procesaron en el software de libre distribución R 2.6.0 (The R Foundation for Statistical Computing, 2007). El proceso implicó tres pasos básicos: 1) incorporación de la matriz de análisis en el programa, 2) el análisis de los datos mediante el paquete para construir árboles de regresión y 3) la visualización del modelo de árbol de regresión. Se empleó una serie de comandos documentados en Crawley (2002), Dalgaard (2002) y Venables & Ripley

(2002); mediante los cuales se construyó el modelo de árbol de regresión según la variable dependiente. En el Cuadro 6, se muestran los comandos que se aplicaron en el script de R 2.6.0 para introducir las matrices de datos en formato “.txt”.

**Cuadro 6.- Comandos empleados en R 2.6.0 para la construcción de los modelos de regresión; según Crawley (2002), Dalgaard (2002) y Venables y Ripley (2002.)**

<b>COMANDOS</b>	<b>PROCESO</b>
<b>PASO 1: Introducción de los datos</b>	
<code>modeltree&lt;-read.table("C:\\a\\modeltree.txt", header = T) attach(modeltree) names(modeltree)</code>	Reconocimiento de la matriz de información Adhesión de los datos al programa Reconocimiento del universo de información por el programa
<b>PASO 2: Paquete “tree”</b>	
<code>&gt; local({pkg &lt;- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)))+ if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)}) modeltree&lt;-tree(FRIF~.,vaff) plot(modeltree) text(modeltree)</code>	Cargando paquete: tree Construcción del Árbol de Regresión por variable independiente Representación textual del Modelo de Árbol de Regresión.
<b>PASO 3: Modelo de Árbol de Regresión A/B</b>	
<code>print(modeltree)</code>	Visualización del Modelo de Árbol de Regresión

Con la paquetería “tree” de la página web del programa (<http://www.r-project.org/>), se modelaron los árboles de regresión empleando los comandos de la serie B. La visualización de los modelos de árbol de regresión, fue mediante los comandos de la serie C (Cuadro 6).

## 4.6.- ELABORACIÓN DEL MAPA

De la información generada por los modelos de árbol de regresión (A/B), se seleccionó de cada matriz las variables que evidenciaron los resultados significativos de cada modelo. Marcando con el número “1” las unidades del área de estudio que presentaron el grupo de las variables con las medias altas del análisis (Cuadros 9 y 12). Con el número “2” se identificó al grupo con el segundo valor más alto (Cuadros 10 y 13). Estos números refirieron a las zonas con mayor peligro y peligro de incendios forestales en el área de estudio (Cuadro 7).

Para las unidades del área de estudio que no presentaron los valores de decisión del nodo terminal u hoja, de los cuadros 9 y 12 se les identificó como áreas con potencial a peligro de incendio forestal, con el número “3” (Cuadro 7).

Cabe mencionar que los criterios empleados para diferenciar las características de las unidades con peligro potencial a incendio forestal, se simplificaron en categorías de peligro potencial para hacer la interpretación de los resultados más sencilla (Cuadro 7).

**Cuadro 7.- Categoría de Peligro Potencial a Incendio Forestal en el área de estudio**

<b>P.IF.A</b>	<b>P.P</b>	<b>V.I.DB</b>
Áreas de mayor peligro potencial a incendio forestal)	<b>EXTREMO</b>	<b>1</b>
Áreas con peligro potencial a incendio forestal	<b>ALTO</b>	<b>2</b>
Áreas con potencial a incendio forestal	<b>MODERADO</b>	<b>3</b>

*Abreviaturas: P.IF.A: Tipo de Peligro a incendios forestales según los modelos de árbol de regresión, P.P: Categoría de peligro Potencial a incendio forestal y V.I.DB: Valor asignado en la base de datos.*



## **V. RESULTADOS**

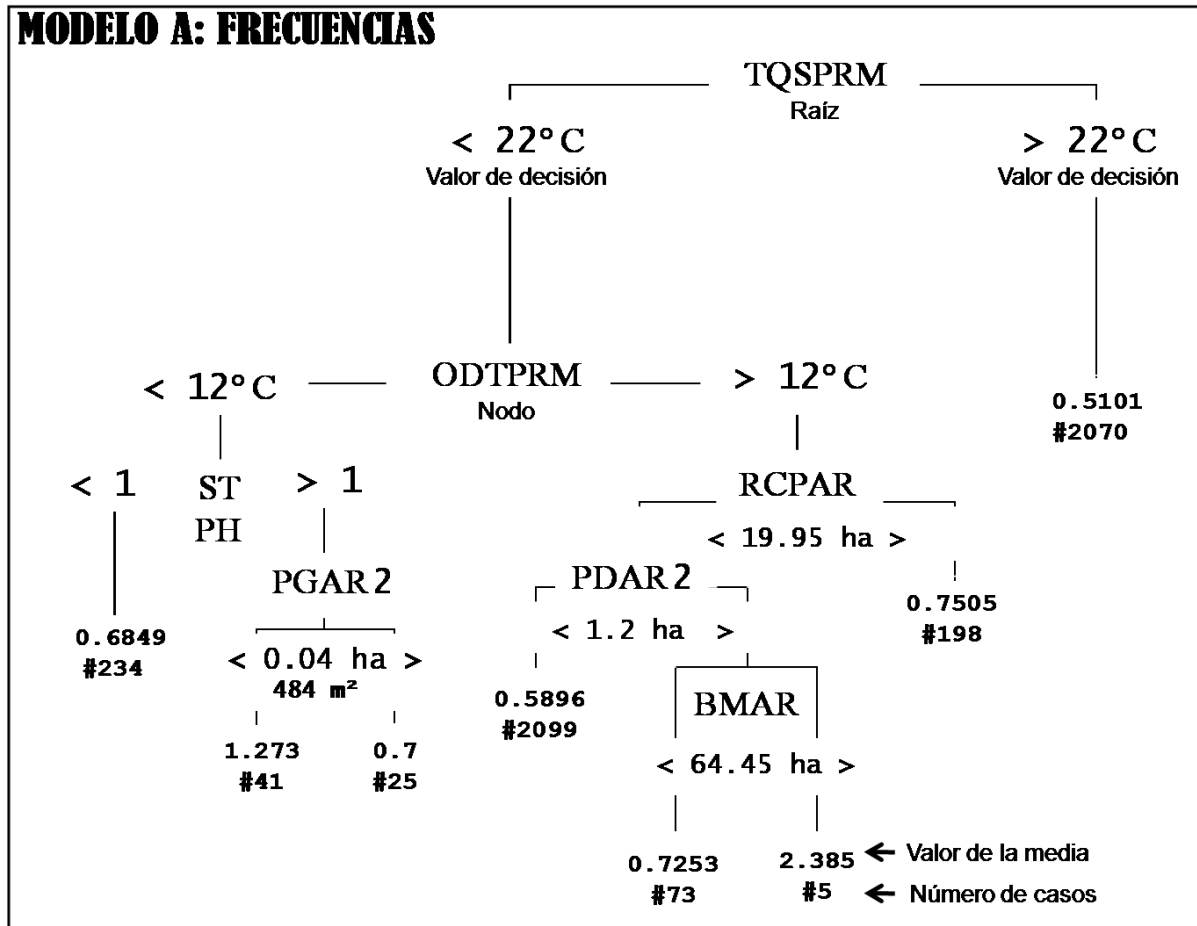
Se analizó por separado la relación de cada variable dependiente: Frecuencia (FRIF) y Área (ARIF), con respecto a las 129 variables independientes (Anexo A-VII), consideradas como factores relacionados a los incendios forestales. Obteniendo dos modelos de árbol de regresión; uno evaluó las variables que influyen en la presencia (frecuencia) (Modelo A) y otro las que influyen en la propagación (área) (Modelo B). Los modelos de árbol de regresión se presentan en las Figuras 13 (Modelo A) y 14 (Modelo B); la representación textual de cada modelo se puede revisar en el Anexo A-VIII.

### **5.1.- MODELO "A" DE ÁRBOL DE REGRESIÓN (FRECUENCIAS)**

En el Modelo "A" (Fig. 13), se observó que de las 8 categorías temáticas (Cuadro 3), que agruparon las 129 variables independientes, la presencia de los incendios forestales en el área de estudio presentó relación a 5, que comprendieron 7 variables.

Las categorías que mostraron influencia en la presencia de los incendios forestales según el árbol de regresión fueron climáticas, geográficas, socioeconómicas, topográficas y biológicas. Las variables evidenciadas fueron la temperatura promedio del cuatrimestre más seco, la oscilación diurna de la temperatura, los puntos de calor del 2000 al 2008 (imágenes AVHRR y MODIS), las áreas con potencial ganadero del tipo 2 (suelos de uso condicionado para la ganadería), las zonas de recuperación, las áreas con pendiente entre 3° y 8° y las áreas con bosque de pino-encino, que incluyeron a los bosques de encino-pino (PEOT, 2005).

El cuadro 8 detalla los resultados que el Modelo “A” mostró en la Figura 13, como el nombre de la variable a la que corresponde cada clave, la categoría a la que pertenece, el valor de decisión del árbol estandarizado (Anexo A-VIII) y su valor real (valor sin estandarizar).



**Fig. 13.- En el Modelo A de Árbol de Regresión se observa el resultado del análisis de 129 variables, con respecto a la frecuencia de incendios en el área de estudio.**

*TQSPRM: temperatura promedio del cuatrimestre más seco; ODTPRM: oscilación diurna de la temperatura; ST\_PH: Suma de puntos de calor 2000-2008 imágenes AVHRR y MODIS; PGAR2: Área potencial ganadero 2; RCPAR: Área de zonificación recuperación; PDAR2: Área de pendiente entre 3° y 8° y BMAR: Área de bosque de pino-encino (incluye encino-pino).*

Las variables estadísticamente más representativas del modelo, son aquellas que presentan las medias más altas del mismo; esto considerando que el análisis con árboles de regresión se basa en la estimación de las medias muestrales (Shiattino & Silva, 2008). Razón por la que se distinguieron dos grupos de variables que de

acuerdo con la suma de sus medias observadas, presentaron los valores más altos en sus nodos terminales u hojas (Fig. 13)

**Cuadro 8.- Variables presentes en el Modelo “A” de Árbol de Regresión.**

TEMA	CLAVE	NOMBRE DE LA VARIABLE	V. E. D.	V. D. R.
C	TQSPRM	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	-8.58E-05	22° C
C	ODTPRM	Oscilación diurna de la temperatura	-1.28735	12° C
G	ST_PH	Puntos de calor del 2000 al 2008 imágenes AVHRR y MODIS	0.00941715	1
S-E	PGAR2	Área con potencial ganadero tipo 2	-0.558231	0.04 ha. (484 m <sup>2</sup> )
G	RCPAR	Área de recuperación	1.20704	19.95 ha.
T	PDAR2	Área de pendiente entre 3° y 8°	-0.12093	1.2 ha.
B	BMAR	Área de bosque de pino-encino	3.53063	64.45 ha.

**Cuadro 9.- Grupo de variables estadísticamente más representativas ante el peligro de que se presenten incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “A”.**

Variable	C.D.	Media	No. de casos
TQSPRM	< 22° C	6.29E-01	2675
ODTPRM	> 12° C	0.6117	2375
RCPAR	< 19.95 ha.	0.5983	2177
PDAR2	> 1.2 ha.	0.8318	78
BMAR	> 64.45 ha.	2.385	5

**Cuadro 10.- Grupo de variables con el segundo valor estadísticamente más representativo ante el peligro de que se presenten incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “A”.**

Variable	C.D.	Media	No. de casos
TQSPRM	< 22° C	6.29E-01	2675
ODTPRM	< 12° C	0.7666	300
ST_PH	> 1	1.056	66
PGAR2	< 0.04 ha. (484 m <sup>2</sup> )	1.273	41

\*Abreviaturas: V. E. D.: valor estandarizado de decisión registrado en el Anexo A-VIII; V. D. R.: valor de decisión real, C: clima, G: geográfico, S-E: socioeconómico, T: topográfico y B: biológico C.D: criterio de decisión TQSPRM: temperatura promedio del cuatrimestre más seco; ODTPRM: oscilación diurna de la temperatura; ST\_PH: Suma de puntos de calor 2000-2008 imágenes AVHRR y MODIS; PGAR2: Área potencial ganadero 2; RCPAR: Área de zonificación recuperación; PDAR2: Área de pendiente entre 3° y 8° y BMAR: Área de bosque de pino-encino (incluye encino-pino).

Los grupos que mostraron las variables estadísticamente más significativas se aprecian en los cuadros 9 y 10. No obstante, la estimación de los resultados para cada conjunto de variables con las medias más altas, que siguieron el camino desde la raíz hasta el nodo terminal, constituyó un camino único para cada grupo.

Se diferenció a cada grupo de variables en las de mayor peligro y las de peligro a presencia de incendios forestales en el área de estudio. Se distinguió al primer grupo con un valor de 2.385 en su nodo terminal como el más representativo, mientras que el segundo presentó un valor de 1.273 (Fig. 13).

Para ambos grupos, la temperatura promedio del cuatrimestre más seco y la temperatura de la oscilación diurna fueron los mejores predictores seleccionados por el árbol de regresión para estimar la presencia de los incendios; por ser las más próximas a la raíz del árbol (Iverson & Prasad, 1998). Observando que las temperaturas menores de 22°C en el cuatrimestre más seco presentaron relación con las temperaturas de la oscilación diurna.

En los antecedentes se ha registrado que entre mayor sea la temperatura en el cuatrimestre más seco, mayor será la probabilidad de que se presente un incendio, el árbol de regresión refirió que a temperaturas menores del valor de decisión (22°C) la presencia de los incendios está influenciada por otras variables (Fig. 13).

En el árbol de regresión, el valor de decisión estableció a detalle el subconjunto de datos de la variable que estimó la predicción del modelo (Shiattino & Silva, 2008). En este trabajo el valor de decisión de la oscilación diurna, diferenció la influencia de los grupos de variables definidos como los de mayor peligro (Cuadro 9) y los de peligro (Cuadro 10) a presencia de incendios.

Se distinguió que las oscilaciones diurnas con valores mayores de 12°C mostraron relación a zonas de recuperación, que pese a que la media en el árbol es menor ( $0.6117 < \text{ODT } 12^{\circ}\text{C} > 0.7666$ ), si la superficie del valor de decisión es menor ( $< 19.95$

ha.), el camino que siguió desde la raíz condujo al grupo de variables con el mayor peligro de que se presente un incendio (Cuadro 9).

Las zonas de recuperación pueden ser más susceptibles a la presencia de los incendios de acuerdo con su tipo de vegetación (Rodríguez, 1996) y aún más si estas zonas estuviesen próximas a bosques mixtos (pino-encino y encino-pino), como se observa en el árbol de regresión (BMAR = 2.385) (Fig. 13).

El árbol de regresión señaló que para las zonas de recuperación de menos de 19.95 ha; la pendiente del terreno entre 3° y 8° es la variable que en conjunto con las áreas de bosque de pino-encino se asocian a un mayor peligro de presencia a incendios.

El modelo "A" sugirió que en las áreas de más de 64.45 ha; de bosque de pino-encino, las variables mejor asociadas a un mayor peligro de presencia a incendio forestal, son las zonas de recuperación menores a 11.95 ha; con pendientes entre los 3° y 8° que presenten una oscilación diaria de más de 12°C y menos de 22°C de temperatura para los cuatrimestres más secos.

Para el grupo de variables con peligro a presencia de incendio forestal (Cuadro 10), también se relacionó con las temperaturas menores de 22°C en los cuatrimestres más secos, que a diferencia del grupo anterior se vinculó con oscilaciones diurnas menores de 12°C.

En este grupo se destacó que a una oscilación diaria menor de 12°C el peligro de que se presente un incendio forestal está relacionado al registro de los puntos de calor (del 2000 al 2008 de imágenes AVHRR y MODIS). Entendiendo que ante el registro de más de un punto de calor como antecedente, en las áreas con menos de 12°C de oscilación diaria el peligro de que se presente un incendio forestal está relacionado con el potencial de uso de suelo.

Un punto de calor es definido como cualquier fuente de calor mínima en una imagen (píxel) que expide una emisión de temperatura lo suficientemente fuerte como para ser detectada (entre 25°C por la noche y 42°C en día), en un intervalo del espectro rojo-infrarrojo los puntos de calor pueden indicar incendios o quemas agrícolas, aunque a veces responden a otros eventos (CONABIO, 2008). Por ello se consideró que su previo antecedente se observó asociado a suelos con potencial ganadero tipo 2. Este tipo de suelos presenta limitaciones a cierto tipo de ganado, por lo que para llevar a cabo el pastoreo se requiere de cierto grado de tecnificación, en otras palabras son suelos de uso condicionado (PEOT, 2005). Las limitaciones que este tipo de suelos presenta para su uso, sugirió un peligro latente para la presencia de incendios, que evidenció la relación que el modelo de árbol de regresión proyectó respecto al registro de los puntos de calor a bajas temperaturas, en la oscilación diurna ( $<12^{\circ}\text{C}$ ) y en el cuatrimestre más seco ( $<22^{\circ}\text{C}$ ).

De acuerdo con esto el modelo "A" planteó que en extensiones menores de 484 m<sup>2</sup> (0.04 ha.) de suelos con potencial ganadero del tipo 2 (suelos de uso condicionado a ganadería), el registro de más de un punto de calor está vinculado al peligro de presencia a incendio forestal en el área de estudio, cuando se presente una oscilación diurna menor de 12°C y en cuatrimestres secos cuya temperatura este por debajo de los 22°C.

## **5.2.- MODELO "B" DE ÁRBOL DE REGRESIÓN (ÁREAS)**

En éste modelo, se evaluó la influencia de las 129 variables con respecto a la propagación de los incendios forestales en el área de estudio, mostrando relación a 6 variables que correspondieron a 4 categorías temáticas.

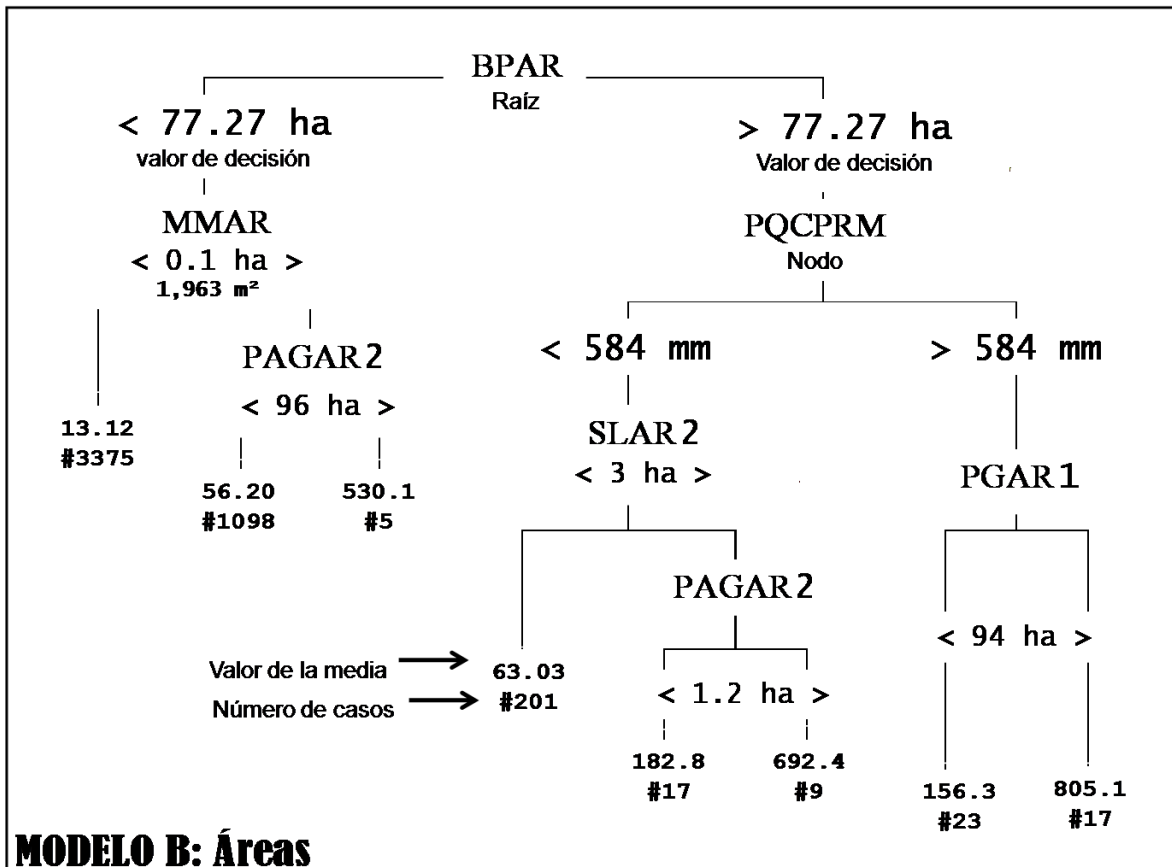
Según el Modelo "B" la propagación de los incendios forestales en el área de estudio se manifestó influenciada por las categorías biológicas, climáticas, socioeconómicas y edafológicas. Mientras que las variables expuestas por el árbol fueron: las áreas de bosque de pino, las áreas de bosque mesófilo de montaña, las áreas con potencial agrícola tipo 2 (suelos de uso condicionado para la agricultura), la precipitación promedio del cuatrimestre más cálido, las áreas de suelo tipo litosol y las áreas con potencial ganadero tipo 1 (suelos óptimos para el desarrollo de la ganadería) (Fig. 14).

La categoría a la que pertenece cada variable así como el nombre que identificó a cada clave (Anexo A-VIII) y el valor de decisión que arrojó el árbol tanto estandarizado como el real (de la base de datos), se presentan en el Cuadro 11.

Se advirtió que la variable de áreas con potencial agrícola tipo 2 se presentó en dos ocasiones; sin embargo, en ambas se refirió a dos grupos diferentes de variables reportando en cada uno un valor de decisión diferente que hizo independiente a cada grupo en la que se registró (Cuadro 11).

Se observó que las medias muestrales de las variables del lado derecho del árbol, mostraron mejor relación con la propagación de los incendios forestales, que el grupo del lado izquierdo (Fig. 14).

Se consideró a los dos grupos de variables que de acuerdo con la suma de las medias observadas, registraron los valores más altos en sus nodos terminales, como las variables estadísticamente más representativas del Modelo “B”.



*Fig. 14.- En el Modelo B de Árbol de Regresión se observa el resultado del análisis de 129 variables, con respecto a la propagación de los incendios en el área de estudio.*

*BPAR: Área de bosque de pino, MMAR: Área de bosque mesófilo de montaña, PAGAR2: Área con potencial agrícola tipo 2, PQ CPRM: Precipitación promedio del cuatrimestre más cálido, SLAR: Área de suelo tipo litosol y PGAR1: Área con potencial ganadero tipo 1.*

A las variables del Cuadro 12, se les definió como las de mayor peligro de propagación con un valor de 805.2 en su nodo terminal. Y a las del cuadro 13 como las de peligro de propagación con una media en su nodo terminal de 692.4.



Cuadro 11.- Variables presentes en el Modelo “B” de Árbol de Regresión.

FACTOR	CLAVE	NOMBRE DE LA VARIABLE	V. E. D.	V. D. R.
B	BPAR	Área de bosque de pino	2.83931	77.27 ha.
B	MMAR	Área de bosque mesófilo de montaña	-0.470042	0.19 ha. (1,963 m <sup>2</sup> )
S-E	PAGAR2	Área con potencial agrícola tipo 2	2.60131	96 ha.
C	PQCPRM	Precipitación promedio del cuatrimestre más cálido	0.883755	584 mm
E	SLAR	Área de suelo tipo litosol	-0.524888	3 ha.
S-E	PGAR1	Área con potencial ganadero tipo 1	-0.528659	94 ha.
S-E	PAGAR2	Área con potencial agrícola tipo 2	2.00725	1.2 ha.

Cuadro 12.- Grupo de variables estadísticamente más representativas ante el peligro de propagación de los incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “B”.

Variable	C.D.*	Media	No. de casos
BPAR	> 77.27 ha.	147.2	267
PQCPRM	> 584 mm	432	40
PGAR1	> 94 ha.	805.2	17

Cuadro 13.- Grupo de variables con el segundo valor estadísticamente más representativas ante el peligro de propagación de los incendios forestales en el área de estudio, según el Modelo “B”.

Variable	C.D.	Media	No. de casos
BPAR	> 77.27 ha.	147.2	267
PQCPRM	< 584 mm	96.95	227
SLAR	> 3 ha.	359.2	26
PAGAR2	> 1.2 ha.	692.4	9

\*Abreviaturas: V. E. D.: valor estandarizado de decisión registrado en el Anexo A-VIII; V. D. R.: valor de decisión real, B: biológico, S-E: socioeconómico, C: clima, E: edafológico, C.D: criterio de decisión, BPAR: Área de bosque de pino, MMAR: Área de bosque mesófilo de montaña, PAGAR2: Área con potencial agrícola tipo 2, PQCPRM: Precipitación promedio del cuatrimestre más cálido, SLAR: Área de suelo tipo litosol y PGAR1: Área con potencial ganadero tipo 1.

En ambos grupos, las variables seleccionadas por el árbol de regresión como los mejores predictores (por ser las más próximas a la raíz del árbol), para determinar la propagación de los incendios, fueron las áreas de bosque de pino y la precipitación promedio del cuatrimestre más cálido. Percibiendo que las superficies de más de 77.27 ha; de bosque de pino presentaron relación con la precipitación promedio del cuatrimestre más cálido (Fig. 14).

Se observó que el valor de decisión de la precipitación del cuatrimestre más cálido, detalló el mayor peligro de propagación de incendio con una media de 432 (Cuadro 12). Por lo que en precipitaciones mayores de 584 mm en el cuatrimestre más cálido en áreas de bosque de pino, hay afinidad a un mayor peligro de propagación que a precipitaciones menores ( $96.95 < 584 \text{ mm PQC} > 432$ ) (Cuadro 13).

Acorde al árbol de regresión las precipitaciones mayores de 584 mm en el cuatrimestre más cálido, se relacionaron a suelos con potencial ganadero tipo 1 (Fig. 14). Este tipo de suelos permiten el crecimiento de pastos para el ganado, es decir, son suelos óptimos para el desarrollo de actividades pecuarias (PEOT, 2005). Ante esta característica se puede considerar que este tipo de terrenos presenta abundante material combustible, en el que la presencia de un incendio representaría potencialmente un gran peligro de propagación.

En suelos de más de 94 ha; con potencial ganadero tipo 1 en donde la precipitación del cuatrimestre más cálido se registró mayor de 584 mm; y próximas a más de 77.27 ha; de bosque de pino, el peligro de que se propaguen los incendios fue mayor según el análisis de árbol de regresión (Fig. 14).

El Modelo "B", propuso que en áreas de más de 77.27 ha; de bosque de pino cuyas precipitaciones en el cuatrimestre más cálido sean mayores de 584 mm; las áreas de más de 94 ha; con potencial ganadero tipo 1 son la variable mejor asociada al mayor peligro de propagación de incendios forestales, para el área de estudio.

El grupo de variables que evidencio peligro de propagación en el árbol de regresión, se vinculó a precipitaciones menores de 584 mm. en el cuatrimestre más cálido con áreas de bosque de pino (Cuadro 13).

A una precipitación de <584 mm PQC el árbol de regresión, mostró que el peligro de propagación se asoció a la condición edafológica de la zona. Detallando que en superficies de más de 3 ha; de suelo tipo Litosol, la variable mejor vinculada con las áreas de peligro de propagación, fueron las áreas de más de 1.2 ha; con potencial agrícola tipo 2.

Los Litosoles son descritos como suelos pedregosos y poco profundos, en los que según el clima se les puede encontrar tanto en zonas montañosas como en matorrales pero en particular en zonas erosionadas, en donde la actividad humana ha sido más o menos incisiva o drástica (Cobertera, 1993 y FAO, 2007). En tanto que los suelos con potencial agrícola tipo 2 se caracterizan por presentar ciertas limitaciones que hacen necesaria la implementación de técnicas que apoyen su buen rendimiento (PEOT, 2005). De acuerdo con ambas descripciones se observó cierta relación entre los suelos de tipo Litosol y las áreas con potencial agrícola tipo 2.

Con base en lo expuesto, el Modelo “B” planteó que el peligro de propagación de incendios forestales en el área de estudio se asoció a extensiones de más de 77.27 ha; de bosque de pino en las que la precipitación del cuatrimestre más cálido fuese menor de 584 mm. de precipitación promedio y que además estuviesen relacionadas a más de 1.19 ha; con potencial agrícola tipo 2 con suelo del tipo Litosol.

### 5.3.- MAPA DE PELIGRO POTENCIAL A INCENDIO FORESTAL EN LA REBITRI

Mediante el análisis de los datos con árboles de regresión, se evaluó la posibilidad de ocurrencia o propagación de incendio forestal en el área de estudio, por lo que en base a los resultados descritos tanto en el Modelo “A” como en el “B” se presentó la propuesta de un mapa de peligro potencial de incendio forestal para el área de estudio.

De acuerdo con los resultados expuestos (5.1 y 5.2), se diferenciaron 3 criterios para el establecimiento de las áreas con peligro de incendio. Estos criterios y las escalas de peligro de los antecedentes (Cuadro 2), se tomaron en cuenta para establecer las categorías de peligro potencial a incendio forestal para el área de estudio (Cuadro 14).

**Cuadro 14.- Criterios de clasificación de las áreas con peligro a incendio forestal, según los resultados de los modelos de árbol de regresión.**

C.S.	C. P.IF	P.P
Áreas que presentan todas las variables y los valores establecidos en los cuadros 9 y 12 de los modelos A y B	<i>Áreas de mayor peligro potencial a incendio forestal</i>	<b>EXTREMO</b>
Áreas que presentan todas las variables y los valores establecidos en los cuadros 10 y 13 de los modelos.	<i>Áreas con potencial a incendio forestal</i>	<b>ALTO</b>
Áreas que no cumplen con los valores de decisión especificados por el nodo terminal de los cuadros 9 y 12.	<i>Áreas con peligro potencial a incendio forestal</i>	<b>MODERADO</b>

**Abreviaturas:** C.S.: Criterio de selección de variables y valores, C.P.IF: Tipo de Peligro a Incendio Forestal y P.P: Categoría de peligro potencial a incendio forestal en el área d estudio.

El mapa de zonas con peligro potencial a incendio forestal para la REBITRI evidenció un total de 1048 unidades (104,800 ha.) que presentaron áreas con peligro potencial a incendio forestal EXTREMO, ALTO y MODERADO (Cuadro 14).

Las unidades del área de estudio que cumplieron con las especificaciones de los cuadros 9 y 12 correspondientes a los Modelos “A” y “B” se consideraron como áreas con un peligro potencial EXTREMO de incendio forestal. Estas áreas registraron un total de 2,700 ha; observadas dentro de los municipios de La Concordia y de Ángel Albino Corzo. Cabe destacar dos terceras partes de estas zonas se presentaron en el municipio de La Concordia (Fig. 15).

En La Concordia las zonas con peligro potencial EXTREMO próximas a la REBITRI fueron un grupo de 17 unidades (1,700 ha.) localizadas al noreste de la zona núcleo La Angostura. Las localidades más cercanas a estas zonas fueron El paraíso, El Zapote, Arrollo Negro, Reparó Espino, El Cairo, Nueva Perseverancia, El Tesoro y El Girasol (PEOT, 2005). En el extremo sureste de esta zona núcleo se advirtió la presencia de 3 unidades (300 ha.), para las cuales las localidades contiguas fueron Las Nubes, Morelia y Bélgica (PEOT, 2005) (Fig. 15).

En este mismo municipio y nivel de peligro se apreciaron 2 unidades (200 ha.), cercanas a las localidades de Las Limas, El Recreo, La Unión, Pacayal y Buenavista o bien al noreste de la zona núcleo de Cuxtepec (PEOT, 2005) (Fig. 15).

Las zonas con peligro potencial EXTREMO correspondientes al municipio de Ángel Albino Corzo, se observaron fuera de la REBITRI y al noroeste del municipio, rodeadas por las localidades Querétaro, Guadalupe Victoria y Nueva Palestina (Fig. 15).

Las unidades que presentaron las relaciones y requisitos descritos en los cuadros 10 y 13, se les identificó como zonas con peligro potencial ALTO de incendio forestal. En esta categoría se evidenciaron 6,000 ha; ubicadas principalmente alrededor de la

zona núcleo La Angostura. Entre la zona núcleo y las áreas con peligro potencial ALTO, se observaron 11 localidades como las más próximas, dentro del municipio de La Concordia (PEOT, 2005).

Cercanas a la zona núcleo VENADO se advirtieron 300 ha; con peligro potencial ALTO, contiguas a las localidades de Santa Teresa, San Isidro y Cabañas (municipio de La Concordia). Mientras que ubicadas al sureste de la REBITRI se hallaron 7 unidades (700 ha.) dispersas entre los municipios de Mapastepec, Acacoyagua y Siltepec, de las cuales solo una se encontró próxima a la zona núcleo de El Triunfo (Fig. 15).

Se definió como zonas con peligro potencial MODERADO de incendio forestal, a las unidades que no alcanzaron el valor de decisión del nodo terminal correspondientes al grupo de variables con la media más alta (Cuadros 9 y 12). Reconociendo su presencia en 96,100 ha; que incluyeron parte de los 7 municipios del área de estudio. Estas abarcaron la mayor parte de las zonas núcleo de la REBITRI remarcando la importancia de estas zonas para la conservación. Las localidades ubicadas en las proximidades de las zonas núcleo, se aprecian en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.- Localidades cercanas a Zonas Núcleo en la REBITRI, según PEOT (2005).**

<b>Zona Núcleo</b>	<b>Localidad</b>	<b>Zona Núcleo</b>	<b>Localidad</b>	
<b>LA ANGOSTURA</b>	Plan de Ayala	<b>EL TRIUNFO</b>	Nueva Alemania	
	Nueva Linda		Las Ventanas	
	Arroyo Negro		El Arroyo	
	Nuevo Vergel		El Ayotal	
	Buenavista		Santa Rita	
<b>VENADO</b>	La Nueva Fortuna		Toluca	
	El Peñon		Las Palmas	
	San Luis		Loma Bonita	
	Santa Rita		Veintiuno de Marzo	
	San Isidro		<b>OVANDO</b>	Caballo Blanco
	Santa Teresa			Laguna Arenal
	San Marcos	Costa Rica		
Nueva Concepción				
<b>CUXTEPEC</b>	Nueva Guadalupe			
	Buenavista			
	Pacayal			
	San Marcos			
	Nueva Concepción			

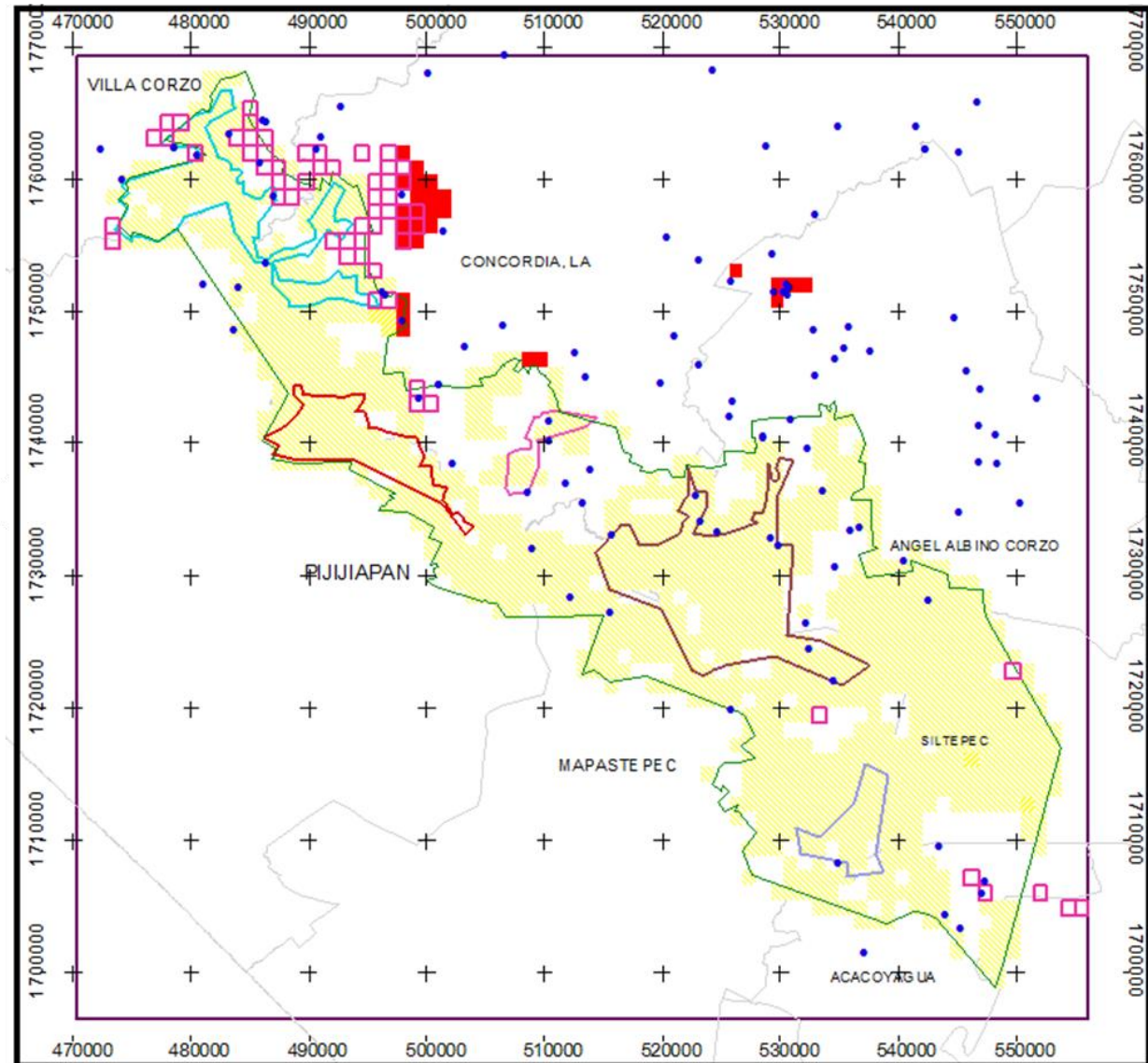
**Fig. 15 MAPA DE ZONAS CON PELIGRO POTENCIAL A INCENDIO FORESTAL**



- Área de la REBITRI
- Área de estudio
- Límites municipales
- Zona Núcleo Angostura
- Zona Núcleo Venado
- Zona Núcleo Cuxtepec
- Zona Núcleo Triunfo
- Zona Núcleo Ovando
- Incendios Forestales 1996-2001

**PELIGRO POTENCIAL**

- EXTREMO  
(mayor peligro potencial a incendio forestal)
- ALTO  
(peligro potencial a incendio forestal)
- MODERADO  
(potencial a incendio forestal)



20 0 20 40 Kilometers

## VI. DISCUSIÓN

En el análisis de los resultados se discutió por separado las variables que evaluaron la presencia y la propagación de los incendios, según el modelo de árbol de regresión (A/B), la influencia de estas variables en el área de estudio, así como los resultados del Mapa de Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal para la REBITRI y el método de análisis.

### 6.1 Presencia de Incendios Forestales (Modelo A).

En el Modelo "A", el 62.5% de las categorías temáticas fueron representadas por 7 variables (5.1). En este registro se apreció que las categorías Climáticas y Geográficas comprendieron el 67% de las variables registradas en los dos grupos estadísticamente más representativos del modelo (Cuadros 9 y 10). Las categorías expuestas por este modelo (Fig. 16), coincidieron en un 75% con lo reportado en los trabajos analizados como antecedentes (Cuadro 16).

Los dos grupos de variables estadísticamente más representativos (Cuadros 9 y 10) presentaron la temperatura del cuatrimestre más seco y la temperatura de la oscilación diurna como las variables Climáticas más influyentes a la presencia de los incendios forestales en el área de estudio. Esto considerando que los factores más próximos a la raíz del árbol exponen las variables que más influyen en la variable dependiente (Iverson & Prasad, 1998).

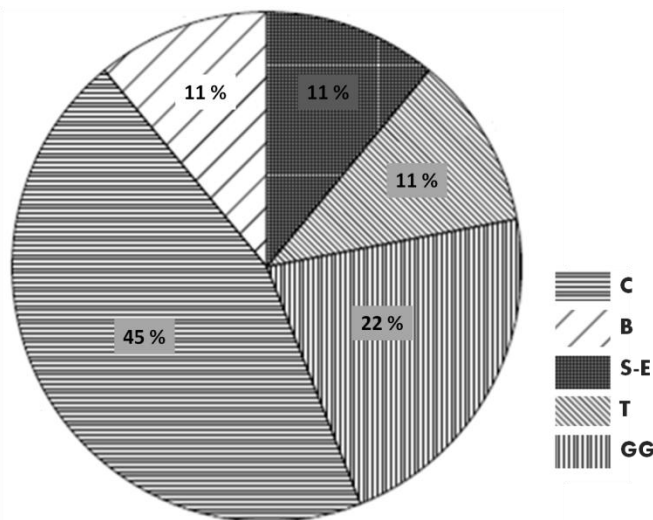
Aunque, la categoría Climática es considerada dentro de los factores constantes que determinan el peligro de incendio (Rodríguez, 1996 y Villers, 2006b) y el análisis del modelo las planteó como los mejores predictores del peligro a presencia de incendios (5.1); se deben tomar en cuenta a las variables con las que interactuarán en la zona, así como la influencia del manejo de los ecosistemas y de otras actividades para entender los efectos del clima sobre el fuego (Mckenzie, 2004).



Una característica de los modelos de árbol de regresión, es el detalle con que especifican en el criterio de decisión al subconjunto de datos con la mayor asociación, que influyen en la predicción del modelo (Iverson & Prasad, 1998). Este detalle se apreció al inicio del árbol, en la diferenciación de temperaturas del cuatrimestre más seco ( $< 22^{\circ}\text{C} >$ ) y en la oscilación diurna de la temperatura ( $< 12^{\circ}\text{C} >$ ) diferenciando los grupos de mayor peligro y de peligro (Fig. 13).

Se ha documentado que a mayor temperatura en los cuatrimestres más secos, mayor probabilidad que se presente un incendio (Sepúlveda *et al.*, 1999, Miranda, 2004 y Muñoz *et al.*, 2005). En el modelo A, las variables con el mayor peligro a presencia de incendios se distinguieron en oscilaciones diurnas mayores de  $12^{\circ}\text{C}$  que evidenciaron relación a las zonas de recuperación.

**Fig. 16.- Categorías Temáticas que mostraron relación a la presencia de Incendios Forestales en el área de estudio**



**Abreviaturas: B: Biológica, C: Climática, GG: Geográfica, S-E: Socioeconómica y T: Topográfica.**

Este tipo de áreas consideran la presencia de sitios afectados por impactos de diversa índole (incendios forestales repetidos, desmonte, sobrepastoreo, erosión, sobreexplotación, entre otros) reflejados en el estado de la vegetación (Jardel *et al.*, 2006). Sí, estas zonas se ubican próximas a sitios con uso de suelo agrícola o

ganadero existe la posibilidad de que se presentase un incendio relacionando al tipo de prácticas (Paré, 1999 y Alvarado, 2006). En cambio, si las zonas de recuperación presentan aperturas en el follaje, provocadas por algún impacto, en los sitios con bosque, se produciría un cambio en la humedad del aire y en consecuencia del material combustible del sitio, manifestándose como un peligro latente a la presencia de incendios (Sepúlveda *et al*, 1999 y Alvarado, 2006)

Por lo anterior, se propone que la asociación entre la oscilación diurna ( $>12^{\circ}\text{C}$ ) y las zonas de recuperación de la REBITRI, pueden referir al tipo de vegetación de la zona de recuperación más que a la condición geográfica de la misma. De acuerdo con el tipo de vegetación en la zona de recuperación, la influencia de peligro a presencia de incendios sería mayor si se toma en cuenta el aumento de la temperatura de la oscilación diurna ( $> 12^{\circ}\text{C}$ ). Esta condición, se advirtió en el nodo terminal de este grupo de variables, en donde se observó que las áreas con bosque de pino-encino (incluye encino-pino) manifestaron relación a la determinación de las áreas con el mayor peligro.

Se observó, que una rama antes de relacionar el tipo de vegetación a las zonas de recuperación, el árbol de regresión (Fig. 13), mostró que el factor Topográfico es congruente con un mayor peligro de que se presenten incendios. Siendo la pendiente entre  $3^{\circ}$  y  $8^{\circ}$  la variable que mostró relación a las zonas de recuperación.

Ciertamente en la determinación del peligro de incendio, uno de los factores más importantes relacionados con la topografía es la pendiente, que anticipa la exposición de los combustibles forestales a la fuente calórica, reduciendo por lo tanto la duración de la fase de precalentamiento de la combustión (Julio & Giroz, 1975). Asimismo determina la dirección y velocidad de la propagación produciendo un efecto de corrientes de aire caliente que pueden incrementar violentamente la velocidad de propagación, por lo que entre mayor sea la superficie de la pendiente mayor será el peligro de incendio (Julio & Giroz, 1975 y Rodríguez, 1996).

Por lo anterior, se esperó que el modelo reflejara una pendiente elevada, sin embargo, el análisis evidenció una pendiente entre 3° y 8°, lo cual no coincidió con lo reportado en la bibliografía. Considerando que el área de estudio se ubica dentro de una cadena montañosa (3.3) con una topografía accidentada en la que hay vertientes por arriba de los 2,000 m y pendientes escarpadas entre los 1,000 y los 2,000 m (Ortiz et al., 1992), las áreas con escasa pendiente suelen preferirse para las actividades agrícolas, sobre todo para zonas como en la REBITRI, en donde lo común son las pendientes pronunciadas. Las zonas de escasa pendiente pueden relacionarse con las actividades agrícolas o de pastoreo intensivo debido a su fácil acceso, esto representaría un impacto en el sitio, relacionando estas pendientes poco pronunciadas a las zonas de recuperación (Paré, 1999 y Alvarado, 2006).

El intervalo de pendiente (3°– 8°) también puede estar coincidiendo con la ubicación de las zonas de recuperación menores de 19.95 ha; especificadas por el criterio de decisión o en su defecto con las áreas de bosque de pino-encino. En cualquiera de los casos el tipo de vegetación boscosa (pino-encino y/o encino-pino) se mostró como el factor que influyó en la determinación de las zonas con el “mayor peligro potencial de presencia a incendios”, según se observó en el nodo terminal (Cuadro 9 y Fig. 13).

Para este grupo de variables (Cuadro 9), la última relación descrita por el nodo terminal (Fig. 13), se presentó afín a las áreas de bosque de pino-encino exponiendo su asociación con el mayor peligro potencial a presencia de incendios. En los trabajos de Miranda (2004), Villers & López (2004), Jardel *et al.* (2005 y 2006), Alvarado (2006) y Wong & Villers (2007), se citó a los bosques de pino-encino como susceptibles a la presencia de incendios forestales. Sin embargo, también se ha documentado que las especies dominantes de este tipo de vegetación (*Pinus spp.* y *Quercus spp.*) son muy inflamables durante todo el año, de acuerdo con la clasificación de inflamabilidad descrita por Arnaldos *et al.* (2003).

Por lo tanto el vínculo de las áreas con bajas temperaturas en el cuatrimestre más seco ( $< 22^{\circ}\text{C}$ ), que influyeron en la determinación de las zonas con el mayor peligro potencial a presencia de incendios para el área de estudio, fue definido por la asociación entre las zonas de recuperación con pendientes poco pronunciadas ( $3^{\circ}$ - $8^{\circ}$ ), próximas a bosques de pino-encino que registraron una temperatura elevada en la oscilación diurna ( $>12^{\circ}\text{C}$ ).

En contraste con lo anterior, las relaciones entre las variables con una oscilación diurna menor a  $12^{\circ}\text{C}$  expresaron peligro de presencia de incendios al presentar la segunda media más representativa del modelo. En este grupo, se observó que la relación entre las dos primeras variables, ambas climáticas, y sus criterios de decisión registraron bajas temperaturas ( $\text{TQS} < 22^{\circ}\text{C}$  y  $\text{ODT} < 12^{\circ}\text{C}$ ), en consecuencia, este vínculo mostró menor posibilidad de ocurrencia (Cuadro 10).

Si bien la ocurrencia de bajas temperatura disminuye el peligro potencial a presencia de incendios (Rodríguez, 1996), el árbol de regresión relacionó las oscilaciones diurnas menores de  $12^{\circ}\text{C}$  con el registro de puntos de calor. Tomando en cuenta que el origen de un punto de calor pueden ser incendios o quemas agropecuarias entre otros factores (5.1), su previo antecedente alude a la posibilidad de que se presenten incendios.

En el modelo, se apreció que pese a las bajas temperaturas de las dos primeras variables, el registro de fuentes de calor o bien temperaturas elevadas; por ejemplo los puntos de calor en determinado sitio jugaron un papel determinante en el peligro a presencia de incendios, según se apreció en el modelo (Fig. 13).

La variable mejor asociada al registro de los puntos de calor fue el suelo con potencial ganadero de uso condicionado (potencial ganadero tipo 2) (5.1), esto sugirió una probable relación de los puntos de calor con la productividad de estos suelos, que al ser de uso condicionado presentan limitaciones que hacen necesario cierto grado de tecnificación para el pastoreo (PEOT, 2005).

En los suelos con potencial de uso condicionado se presenta como una opción económica para los ganaderos, con escasez de capital e información tecnológica, la quema de pastos que se asocia con la intención de acelerar la regeneración del pasto por un lado y por el otro de erradicar las garrapatas (Paré, 1999). Por lo que el vínculo entre los sitios con registro de puntos de calor y las zonas con uso de suelo condicionado evidenció la posibilidad de peligro potencial a presencia de incendios en el área de estudio.

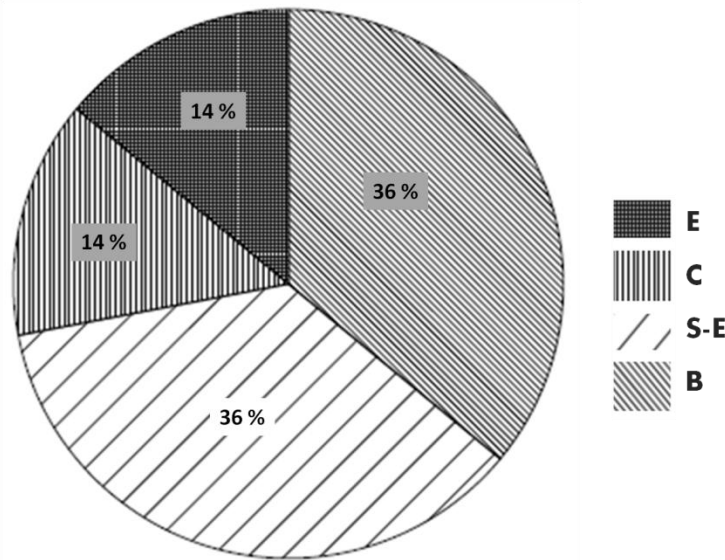
Por lo anterior el peligro a presencia de incendios forestales para el área de estudio planteó que las variables a considerar en presencia de bajas temperaturas, fueron el registro de más de un punto de calor asociado a extensiones de más de 484 m<sup>2</sup> (0.04 ha.) de suelos con potencial ganadero de uso condicionado.

## **6.2 Propagación de Incendios Forestales (Modelo B).**

Para el Modelo "B", se reconoció que el 50% de las categorías temáticas se representó por 6 variables. De estas el 72% correspondieron a las categorías Biológicas y Socioeconómicas (Fig. 17). El 40 % de las variables registradas en los dos grupos estadísticamente más representativos correspondió a la categoría Socioeconómica (Cuadros 12 y 13). De los trabajos examinados en los antecedentes, el 67 % reportó más de la mitad de las categorías evidenciadas por este modelo (Cuadro 16).

El tipo de vegetación explicó en gran medida la relación entre las variables observadas y el peligro de propagación, por estar en la raíz de árbol. Arnaldos *et al.* (2003) mencionan que la propagación de un incendio depende en buena parte del tipo de vegetación y su estructura.

Los grupos de variables con el mayor peligro y el peligro de propagación (Cuadros 12 y 13), se mostraron a fines a la categoría climática. Evidenciando la relación del clima y la vegetación, como los factores más influyentes en la predicción de peligro de propagación de incendios para el área de estudio (Fig. 14).



**Fig. 17.- Categorías Temáticas que mostraron relación a la propagación de los Incendios Forestales en el área de estudio**

**Abreviaturas: B: Biológica, C: Climática, E: Edafológica y S-E: Socioeconómica.**

Las variables correspondientes a estas categorías fueron las áreas de bosque de pino y la precipitación promedio del cuatrimestre más cálido (Cuadros 12 y 13). La relación de correspondencia entre el tipo de vegetación, la precipitación pluvial y los incendios forestales, se sumó a los trabajos de Wagner & Lenz (1948), Rzedowski (1978), Villers & Trejo (2000), Rodríguez *et al.* (2001) y De la casa & Ovando (2006).

La superficie de bosque de pino, se mostró como el mejor predictor para las variables que influyen en la propagación de las áreas con incendio forestal, no obstante se resalta que la información de la cobertura de vegetación con la que se trabajó (PEOT, 2005) se basó en el inventario nacional forestal (INF), la cual no discriminó las diferentes asociaciones de pinos que incluyen encinos, aún cuando estos no sean

dominantes (Palacio *et al.*, 2000). Por lo que al hacer referencia al bosque de pino es posible que este presente asociación con encino.

Las diferencias observadas en las categorías de mayor peligro, se pudieron ver afectadas por esto, sin embargo, los trabajos de Villers & López (2004) mencionan que aunque los bosques de pino son más vulnerables a los incendios, sus asociaciones con encino también presentan los valores más altos en los parámetros analizados para la presencia y propagación de los incendios, debido a la gran cantidad de material sobre el suelo que este tipo de asociaciones registran.

Arnaldos *et al.* (2003), clasificaron a las asociaciones de bosques de pinos y encinos dentro de las especies más inflamables durante todo el año, lo que sugiere que pese a la falta de discriminación en el tipo de vegetación, los bosques de pino–encino presentan el mayor grado de peligrosidad a la presencia y propagación de incendios forestales.

Se ha registrado que los bosques de pino son de los ecosistemas más afectados por los incendios ya que se muestran muy susceptibles a la propagación de este tipo de siniestros (Rodríguez, 1996 y Cedeño, 1999). Por lo que, entre mayor es su superficie mayor será el peligro de propagación (BPAR > 77.27 ha.) (Fig. 14).

Los bosques de pino presentan una de las tasas más altas de dispersión del fuego (Wong & Villers, 2007), debido a la alta inflamabilidad de los pinares (Arnaldos *et al.*, 2003 y Villers & López, 2004). Si, se asocian a bajas precipitaciones la desecación de las áreas con bosque de pino, serán proclives a una mayor propagación de los incendios.

La precipitación influye de en el estado de inflamabilidad de la vegetación (Pérez & Delgado, 1995, Rodríguez *et al.*, 2001 y Wong & Villers, 2007), lo que la relaciona con la presencia y/o a la propagación de los incendios forestales. Por lo que, se

esperó que en los resultados del árbol de regresión fuera evidente un mayor peligro de propagación a bajas precipitaciones (<584 mm).

El resultado expuesto por el modelo fue contrario, ya que el mayor peligro de propagación se observó en precipitaciones mayores de 584 mm en el cuatrimestre más cálido. Esta precipitación no coincidió con lo antes citado por Pérez & Delgado (1995), Rodríguez *et al.* (2003) y Wong & Villers (2007), distinguiendo que las variables que definen las zonas con peligro de incendio forestal para un determinado lugar son diferentes en cada área de estudio (Rodríguez, 1996).

Por ejemplo, Morales (1992) para el Distrito Federal no encontró relación entre la precipitación y los incendios, por lo que se abrió a la posibilidad de relacionar la influencia de otros factores, como los socioeconómicos, por ejemplo.

Las precipitaciones mayores de 584 mm en el cuatrimestre más cálido, se relacionaron a suelos con óptimo potencial ganadero (tipo 1) (Cuadro 12). Estos suelos presentan características que permiten el desarrollo de actividades agropecuarias, por lo que están asociados con pastos abundantes (PEOT, 2005). Al contar con abundante material para su aprovechamiento, también se tendría una cantidad de biomasa considerable y por lo tanto una mayor carga de combustibles (Villers, 2006b). Considerando que entre mayor es la acumulación de combustibles en grandes superficies, mayor podrá ser la intensidad y propagación del incendio (Villers & López, 2004, Villers, 2006b y Wong & Villers, 2007).

La relación entre el mayor peligro potencial de propagación y los suelos con potencial ganadero óptimo, podría sugerir que el aprovechamiento de estos suelos, involucra prácticas de recuperación en las que tradicionalmente se queman los pastos a fin de acelerar la regeneración de los mismos (Paré, 1999). Este fuego podría dispersarse hacia grandes superficies de bosque de pino, fungiendo como el mayor peligro de propagación.



Se registró que el mayor peligro de propagación de incendios para el área de estudio, se vinculó con amplias superficies de bosque de pino (>77.27 ha.), próximas a grandes extensiones de suelo con potencial ganadero optimo (tipo 1), en las cuales las precipitaciones del cuatrimestre más cálido pueden ser mayores de 584 mm (Fig. 14).

En contraste, el peligro potencial de propagación se asoció a precipitaciones menores de 584 mm en el cuatrimestre más cálido (Cuadro 13). Acorde con esta relación se ha registrado que una baja precipitación influye en un bajo contenido de humedad de los combustibles forestales (Rodríguez *et al.*, 2001 y Wong & Villers, 2007) y por lo tanto el estado de desecación, el cual determina la inflamabilidad y combustibilidad de la vegetación (Villers & López, 2004). Un alto grado de desecación en bosques de pino, considerados como altamente inflamables (Arnaldos *et al.*, 2003 y Villers & López, 2004) indicará peligro de propagación de incendios.

La precipitación pluvial se considera como una de las variables climáticas que más influye en la propagación de los incendios forestales (Julio & Giroz, 1975, Villers & López, 2004 y Wong & Villers, 2007). En el modelo, las bajas precipitaciones del cuatrimestre más cálido mostraron afinidad a superficies con suelo tipo Litosol (> 3 ha.), esta condición toma en cuenta que las circunstancias que determinan el peligro de incendio en un área y en otra no son las mismas (Fig. 14).

Esta relación sugirió que el tipo de vegetación pudo asociarse o concordar con este tipo de suelo en el área de estudio, ya que el bosque de pino fue la variable que mejor se asoció con el peligro de propagación (Fig. 14). Gonzales (2004), citó que la mayoría de los pinares con frecuencia pueden desarrollarse sobre litosoles.

En cambio, Knockaert *et al.* (1991) refirieron que las características físicas de los Litosoles así como el tipo de vegetación a la que se asocian, dificultan el control de los incendios forestales, por lo que entre mayor sea la superficie de este tipo de suelos, el vínculo con los incendios forestales expresaría peligro de propagación.

Se destacó que de los antecedentes reportados en el Cuadro 16, ninguno advirtió relación entre el tipo de suelo y los incendios forestales para delimitar las áreas con peligro. Tomar en cuenta la condición edafológica en la determinación de estas áreas, resultó ser una propuesta nueva para el estado y resaltó la importancia de conocer los patrones de distribución espacial de los incendios para cada área de estudio.

El peligro de propagación se asoció a la relación entre el tipo de suelo Litosol y los suelos con potencial agrícola limitado (>1.2 ha.), es decir del tipo 2, (Cuadro 13) (PEOT, 2005). Según Cobertera (1993), esta relación puede existir ya que al considerarse a los Litosoles como suelos heterogéneos no se les puede hacer una valoración de su vocación agrícola, sin embargo se les encuentra en donde la actividad humana ha sido intensiva o drástica (Cobertera, 1993 y FAO, 2007). Esto puede tener relación con las áreas de potencial agrícola limitado, ya que necesitan de cierto grado de tecnificación y de un constante aporte de nutrientes para su buen rendimiento (Paré, 1999), lo que implica una fuerte actividad humana.

Ante la necesidad de fertilizar a corto plazo este tipo de suelos, se suelen quemar los restos de la milpa que aparentemente aportan nutrientes al suelo. Las quemas agrícolas son una práctica común que se ha hecho tradicional (Maass & Jaramillo, 1999), lo que incrementa el riesgo de que se escape el fuego, al intensificarse el uso de la misma milpa, por más tiempo. La aplicación de esta práctica en áreas con escasa humedad (<584 mm PQC), representaría un latente peligro, que modificaría el microclima del bosque circundante haciéndolo más seco, favoreciendo la propagación de los incendios. Cedeño (1999), Paré (1999) y Estrada (2006) han documentado esta práctica, como una de las principales causas de incendios en el Estado.

Por lo anterior, se reconoció que las zonas de peligro potencial de propagación de incendios forestales para el área de estudio se asociaron a grandes extensiones de

bosque de pino-encino (>77.27 ha.), con baja precipitación en el cuatrimestre más cálido (<584 mm), próximas a Litosoles asociados con suelos cuyo potencial agrícola es limitado (tipo 2).

**Cuadro 16.- Categorías temáticas reportadas en los antecedentes en la delimitación de Zonas con Peligro a Incendio Forestal.**

AÑO	AUTOR (S)	GG	C	SE	T	B	E
1983-1994	<i>Magaña, Marín; Garrido y Toledo</i>	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊
1996	<i>Flores</i>			* ◊	* ◊	* ◊	* ◊
1998	<i>Gómez y Chávez</i>		* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊
1999	<i>Sepúlveda et al.</i>		* ◊	* ◊		* ◊	* ◊
2000	<i>Alanís y Orozco</i>			* ◊		* ◊	* ◊
2001	<i>Rojo et al.</i>		* ◊	* ◊		* ◊	* ◊
2004	<i>Miranda</i>		* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊
2005	<i>Muñoz et al</i>		* ◊	* ◊		* ◊	* ◊
2005	<i>Ramírez</i>			* ◊		* ◊	* ◊
2006	<i>USAID</i>			* ◊		* ◊	* ◊
2007	<i>Diez de Bonilla</i>	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊
2007	<i>Contreras</i>		* ◊	* ◊	* ◊	* ◊	* ◊

Abreviaturas: C: Climático, GG: Geográfico, SE: Socioeconómico, T: Topográfico, B: Biológico, E: Edafológico.

\*: influyen en la presencia de los incendios forestales ◊: influyen en la propagación de los incendios forestales.

### 6.3 Incendios Forestales en el Área de Estudio.

El estudio del papel ecológico del fuego y del contexto socioecológico de los incendios forestales, es fundamental para el diseño de prácticas de manejo con fines de conservación, restauración ecológica, rehabilitación productiva o silvicultura sustentable (Flores & Benavides, 2006). Por lo que, al conocer los patrones de distribución espacial de los incendios forestales en el área de estudio, se identifican las áreas de alta incidencia o propagación de los mismos (Jardel *et al.*, 2006).

Esto justificó la importancia del análisis objetivo de las variables, el cual evidenció los patrones de presencia y propagación de los incendios forestales para el área de estudio. Se apreció relación a 12 variables (Cuadros 9, 10, 12 y 13) que correspondieron al 75% de las categorías seleccionadas para este trabajo. Es decir, en el área de estudio los incendios forestales se vincularon a las categorías Climáticas, Biológicas y Socioeconómicas, en un 72%, el restante 28% correspondió a las categorías Geográficas, Edafológicas y Topográficas (Fig. 18).

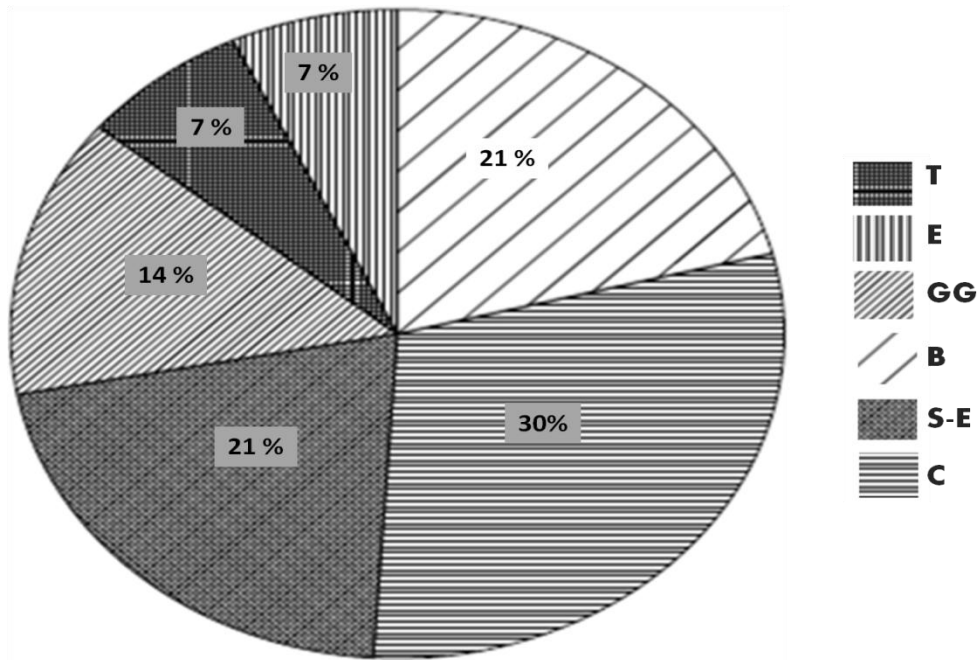
Los antecedentes que reconocieron la importancia de estas categorías en la delimitación de las áreas con peligro y riesgo de incendio, son en un 100% para las Biológicas, 92% para las Socioeconómicas, 67% para las Climáticas, 50% para las Topográficas y 17% para las Geográficas. La categoría Edafológica, no presentó reporte alguno en trabajos anteriores (Cuadro 2). Su empleo en este trabajo, como criterio para la delimitación de las zonas con peligro potencial representó un aporte al conocimiento de las áreas con peligro a incendio forestal para la REBITRI (Cuadro 16).

La presencia y propagación de los incendios forestales en el área de estudio, se observó influenciada en principio por las condiciones meteorológicas. Siendo, la temperatura promedio del cuatrimestre más seco, la oscilación diurna de la temperatura y la precipitación promedio del cuatrimestre más cálido, las variables seleccionadas por el análisis correspondientes a esta categoría. Acorde con su ubicación dentro de los modelos de árbol de regresión (Figuras 13 y 14), se observó que estas fungen como los principales predictores en la jerarquización del peligro lo que coincide con lo reportado por Iverson & Prasad (1998), por lo que su interacción con el resto de las variables complementó la predicción del peligro.

Se ha documentado que el tiempo atmosférico tiene una gran influencia en la presencia y propagación de los incendios forestales (Capó, 1999 y McKenzie, 2004). Por lo que, el éxito en la predicción del comportamiento del fuego, depende en gran

medida de la precisión y calidad de la información climática con la que se trabajó (Villers, 2006b).

La información de las variables climáticas con la que se trabajó, fue con detalle gracias al uso de Bioclim, el cual generó perfiles climáticos diferentes para cada punto y parámetro en base a la resolución del MDT (Téllez *et al.*, 2010), que en este caso fue de 20 m (Anexo IV). Probablemente algunas de las diferencias observadas a los trabajos reportados para la zona (USAID, 2006 y Contreras, 2007), pudieron relacionarse con la calidad y exactitud de la información climática, dada su relevancia en la predicción de las zonas con peligro potencial a incendio forestal.



**Fig. 18.- Porcentaje que comprende a los factores que influyen en la distribución espacial de los incendios forestales en la REBITRI.**

**Abreviaturas: B: Biológico; S-E: Socioeconómico; C: Climático, E: Edafológico, G.G: Geográfico y T: Topográfico.**

En la categoría Biológica, se describió que las áreas con bosques de pino y las de pino-encino (estás mezcladas en una sola categoría dentro del Inventario Nacional Forestal) se relacionaron con otras 10 variables en función de la presencia y propagación de los incendios en el área (6.1 y 6.2). Estos tipos de bosques están

claramente definidos como propensos a incendios en mayor o menor grado según su grado de inflamabilidad (Arnaldos *et al.*, 2003) e interacción con las otras variables (Figuras 13 y 14).

Gran parte de los antecedentes para México (Cuadro 16) caracterizan el tipo de vegetación en modelos de combustibles y utilizan la medición de cargas de combustible como un elemento contundente en la definición del comportamiento del fuego y por lo tanto para la determinación de las zonas con peligro. En contraste, el presente estudio no consideró dichos modelos ni mediciones, lo que al parecer no afectó la delimitación de las zonas, ya que en el análisis se observó la presencia de factores que influyen en el estado de los combustibles, como son los climáticos y biológicos, además de los topográficos que condicionan su inflamabilidad (Villers & López, 2004, Villers, 2006b y Wong & Villers, 2007).

Un aspecto, a considerar en este tipo de proyectos, es que la toma de mediciones de carga de combustibles en ecosistemas forestales implica evaluar grandes superficies, lo que aumenta el tiempo del proyecto y los costos de la evaluación. Ante este escenario, la presente metodología se recomienda como una alternativa práctica, con soporte científico en la exactitud de sus evaluaciones, que además es rápida y económica. Debe puntualizarse que su eficacia y validación también es posible mediante una prueba estadística que acorde con el comportamiento de los datos compruebe la información resultante (Iverson & Prasad, 1998, Crawley, 2002 y Kallimanis *et al.*, 2007).

Se percibió que las variables de la categoría Socioeconómica, tendieron hacia el uso potencial del suelo, específicamente al potencial ganadero óptimo y de uso condicionado agrícola y ganadero (Figuras 13 y 14). Esto reflejó que el uso potencial del suelo en la zona de estudio es una limitante al manifestarse relacionado a la presencia y propagación de incendios forestales en el área de estudio.

Se ha reportado que en el país cerca del 97% de los incendios forestales se atribuyen a causas de origen antropogénico, en tanto que el 60% de éstos, se aluden al uso del fuego con fines agropecuarios y silvícolas (Paré, 1999). Por ello los trabajos de esta índole otorgan importancia a los factores Socioeconómicos, considerándolos como constantes en el establecimiento de los sitios con peligro a incendio forestal (Villers, 2006b).

Este criterio ya había sido documentado por USAID (2006), la cual reportó la práctica de quemas agrícolas en la Reserva, considerándola como un riesgo para las áreas de conservación, ya que en los casos en los que la quema se salió de control, representó un problema que provocó incendios forestales, mostrándose como la principal causa de incendios en la REBITRI y en el Estado.

Asimismo, se registró que para el establecimiento de potreros, en donde antes había cobertura forestal, se utilizaba el fuego como herramienta fácil y barata, que además se empleaba para estimular el crecimiento y rebrote de pastos. Destacando que el desconocimiento de los pobladores de la REBITRI sobre el manejo de ganado y en especial del uso del fuego en los potreros (USAID, 2006), enfatizaba la necesidad de involucrar desde la planeación de las estrategias de manejo y prevención del fuego a las localidades tanto de la reserva como de sus alrededores.

Tomando en cuenta que la categoría Geográfica está representada por las variables de Zonas de Recuperación y Puntos de Calor, la afinidad de estas a un impacto causado en el sitio, sugirió relación con el uso potencial del suelo (categoría Socioeconómica), sin descartar a los demás factores. Acorde con este vínculo, se encontró que el 43% de los incendios forestales en México, se reportaron en áreas perturbadas por la acción del hombre (Paré, 1999). Por lo que, la definición y origen de los puntos de calor (CONABIO; 2008), así como el deterioro en las zonas de recuperación, distinguen que la distribución espacial de los incendios para el área de estudio, es proclive a la delimitación geográfica de estas variables.

En cuanto a sus variables, la utilización de los puntos de calor en la zonificación del peligro es empelada en los antecedentes, ya sea como variable dependiente o independiente a diferencia de las áreas definidas como Zonas de Recuperación para las cuales se descartó la posibilidad de incendio por presentar la categoría de rescate para la zona y los objetivos de manejo de estas (Jardel *et al.*, 2006). Incluir la Zona de Recuperación de la REBITRI, en la construcción del mapa resultó en un aporte fundamental, ya que esta es una de las zonas que no se reconoce como tal en ningún antecedente para el área.

Otro factor, a considerar en la delimitación de las áreas con peligro a incendio en el área de estudio es la Topografía considerada, de suma importancia en la determinación de estas áreas, ya que sus variaciones pueden causar cambios dramáticos en la conducta del fuego y en su propagación por el terreno, reconociendo su influencia en conjunto con los factores Biológicos y Climáticos del lugar (Villers, 2006b).

En este trabajo sólo se incluyó la información de pendiente y elevación del área de estudio debido a la disponibilidad de la información. El análisis de los datos expuso a la pendiente como la que más se vinculó con las de las otras categorías. Sin embargo, la relación observada entre la pendiente y otras variables no concordó con lo especificado por Rodríguez (1996) y Villers (2006b) respecto a distribución espacial de los incendios. Este resultado sugirió que la presencia y propagación de los incendios en esta zona se observaron influenciados por otros factores más que por la topografía del lugar. Esto subrayó la importancia de los estudios, cuyo enfoque es el entendimiento de las interrelaciones de diversos factores según el área de estudio (Flores & Benavides, 2006).

Los antecedentes establecen que para la determinación de las áreas con peligro y riesgo de incendio, la información topográfica debe incluir la variable de exposición de la ladera, en el análisis de los datos (Villers, 2006), es un punto que se propone



incluir en futuros trabajos para la zona de estudio, para indagar sobre su posible influencia en la presencia y/o propagación de los incendios en el área de estudio.

Por último, subrayó que el vínculo de la categoría Edafológica (tipo de suelo Litosol) y la distribución espacial de los incendios forestales refirió relación con la categoría Biológica (Knockaert *et al.*, 1991). Así como el empleo por primera vez de esta variable en la determinación de las zonas con peligro potencial a incendio forestal, tanto para la REBITRI como para el estado.

Si bien en este trabajo se analizaron las interacciones entre variables dependientes e independientes que develó el análisis de los datos a través de los modelos de árbol de regresión (Iverson & Prasad, 1998), la determinación de las causas de los incendios en el área de estudio necesita actualizarse y volverse a analizar continuamente (Jardel *et al.*, 2006), tanto en la zona de estudio como en la mayor parte del país

## **6.4 Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal**

La aportación principal del mapa, fue determinar los sitios de la REBITRI en donde existe susceptibilidad a peligro potencial de incendio forestal, con base en el análisis objetivo de resultados expuestos por los modelos de árbol de regresión “A” y “B”, es decir, de las variables que influyen en la distribución espacial de estos siniestros para el área de estudio.

Actualmente no hay un criterio específico en la amplitud o en el nombre de las categorías; aunque se subdividan en grados o clases, cada una es establecida por el autor según la propuesta metodológica y las características de los incendios (Rodríguez, 1996). En este trabajo se establecieron tres criterios bajo los cuales se identificó a las unidades con peligro potencial (Cuadro 14), basadas en los resultados

obtenidos de cada árbol, así como en el análisis de los antecedentes expuestos en el Cuadro 17.

El Mapa de Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal (Fig. 15), exhibió que de 1,353 unidades que comprendieron el área de la REBITRI, el 77% presentó alguna de las 3 categorías de peligro potencial (Cuadro 17). Del cual, el 2% correspondió a las áreas con el peligro potencial EXTREMO. Un 4%, manifestó un peligro potencial ALTO, seguido de las áreas con peligro potencial MODERADO con un 71%, siendo las de mayor representación en el Mapa, en tanto que el restante 23% se presentó fuera de algún criterio de peligro, establecido por este trabajo (Fig. 19).

Se observó que el 81% de las zonas con peligro potencial EXTREMO (Fig. 15 y Cuadro 17), se ubicaron contiguas a la REBITRI, advirtiendo que el 74 % de estas zonas, se localizó en la periferia orientada al este de la zona núcleo La Angostura. El otro 7%, se halló al noreste de la zona núcleo Cuxtepec (Fig. 15). Cabe resaltar, que en ambos casos, las unidades con este peligro se encontraron contiguas a zonas núcleo, por lo que estas áreas requerirán de especial interés para los manejadores de la REBITRI, ya que podrían ser de las principales fuentes de entrada y distribución de los incendios, a la reserva.

El hecho de que una porción importante de los incendios forestales sean antropogénicos, implica considerar la parte social y cultural de estas áreas como fundamental para cualquier estrategia de manejo o conservación (Jardel *et al.*, 2006). Se sugiere tomar en cuenta que las áreas con esta categoría de peligro (EXTREMO), se observaron próximas a 11 localidades para el área de la zona núcleo La Angostura y 5 para la de Cuxtepec (PEOT, 2005), por lo que las acciones de prevención de incendios se deben integrar a las estrategias de manejo de los recursos forestales. A este contexto, se incorporarían el 19% de las zonas que se encuentran cercanas a 4 localidades del municipio de Ángel Albino Corzo (Fig. 15).

Se distinguió que el 83% (5,000 ha.) de las unidades con peligro potencial ALTO, se situaron al rededor de la zona núcleo La Angostura (Fig. 15). De este porcentaje, el 57% se ubicó dentro del municipio La Concordia, es decir 3,400 ha. (Fig. 15), de las cuales el 42% (2,500 ha.) se apreciaron contiguas a las áreas con peligro potencial EXTREMO, localizadas al este de esa zona núcleo. Este resultado implica duplicar esfuerzos y estrategias de prevención, así como propuestas específicas de manejo del fuego dirigidas hacia las localidades circundantes a estas zonas de peligro como son Nueva Linda, Arroyo Negro, El Paraíso, Las Cruces, El Balance, Reparó Espino, Buenavista, Nuevo Vergel, Morelia, Bélgica y Los Altos de Jesús (PEOT, 2005).

Esta propuesta, se complementaria al incluir las localidades de Las Palmiras, Bolatete I y II, Las Cruces, Plan de Ayala y 24 de Febrero; que son parte del restante 31% (1,900 ha.), correspondientes a los municipios de Villa Corzo y Pijijiapan (PEOT, 2005). Tomando en cuenta que una estrategia integral de manejo de fuego debe considerar los intereses de diferentes actores, las condiciones de tenencia de la tierra, los arreglos institucionales de corto y largo plazo y los mecanismos de toma de decisiones y resolución de conflictos (Jardel *et al.*, 2006).

Se advirtió un peligro potencial ALTO cercano a las zonas núcleo Venado, El triunfo y Ovando así como a la parte de los municipios de Siltepec y Acacoyagua (Fig. 15). Para la zona núcleo Venado se registraron 300 ha; situadas aproximadamente a 2 Km; al este, siendo Cabañas, Santa Teresa y San Isidro las localidades más cercanas (PEOT, 2005). Para la zona núcleo El Triunfo, se observaron 100 ha; ubicadas aproximadamente 2 Km al suroeste, donde Las Palmas y El Ayotal son las localidades más próximas a esta zona. Aproximadamente 5 Km de la zona núcleo Ovando y a 6 Km de las localidades de Las Cruces y Rosario Zacatonal, se ubicaron 200 ha.

De acuerdo, con la zonificación del peligro potencial a incendios, se advirtió que el municipio de La Concordia reunió la mayor extensión de áreas con peligro potencial EXTREMO, próximas a las de ALTO, por lo que, dicho municipio se proyectó como

un área de atención especial para la prevención de estos siniestros, seguido del municipio de Ángel Albino Corzo en el cual se halló la segunda superficie con mayor extensión de peligro EXTREMO. USAID (2006) y Contreras (2007), también reconocieron dentro de la REBITRI al municipio de La Concordia con la mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.

Si bien, gran parte del área de la REBITRI mostró afinidad a un peligro potencial MODERADO, se resaltó que la superficie de las 5 zonas núcleo ésta influenciada por esta categoría. Tomando en cuenta que uno de los propósitos de las zonas núcleo es proteger cuencas hidrológicas y mantener la diversidad biológica así como las especies raras o amenazadas (Jardel *et al.*, 2006), la importancia de involucrar un manejo del fuego en las localidades cercanas a estas zonas se hace indispensable, para contribuir con dichos fines.

En el programa de manejo de la REBITRI también se reconoció la susceptibilidad de las zonas núcleo a ser afectadas por incendios forestales, por lo que se hacen necesarios el establecimiento de programas de prevención y control que permitan una incidencia controlada del fuego, o bien esquemas de manejo y protección especiales (INE, 1999). Jardel *et al.* (2006), recomiendan para estas zonas una estrategia mixta que combine la supresión del fuego en algunos sitios y quemas prescritas en otros, para reducir el peligro de incendios severos o mejorar la regeneración. No obstante, la funcionalidad y éxito de las técnicas o programas de manejo a emplear depende de la participación de las localidades más próximas a las 5 zonas núcleo (Cuadro 15).

Dado que la superficie de las áreas con peligro potencial MODERADO, representan el 71% (96,100 ha.) de la extensión total de la REBITRI (Fig. 19), se propone que una alternativa para la prevención de los incendios y el manejo del fuego en estas zonas, sea dividir en subcategorías el peligro potencial MODERADO, ya sea objetivamente por medio de un árbol de regresión, en donde se incluyan estas áreas con sus respectivas variables, para lo cual se tendría que definir el criterio de

análisis. O bien considerar los criterios de tipo de vegetación, uso potencial del suelo, manejo de los recursos, que fueron los criterios de selección que definieron a estas áreas en sus nodos terminales.

De la delimitación de las zonas con peligro potencial EXTREMO, ALTO y MODERADO, se identificaron un total de 67 localidades próximas a estas, de las cuales el 48% (32 localidades), requiere urgentemente de duplicar esfuerzos y estrategias de prevención por encontrarse en medio de zonas con peligro potencial EXTREMO y ALTO. Se sigue que el restante 52% (35 localidades), se integre a la planeación de las acciones y programas de manejo del fuego, ya que se encuentran alrededor de las zonas núcleo o bien próximas a zonas con peligro potencial ALTO.

USAID (2006), reportó que las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales de la REBITRI, se ubicaron de mayor a menor en los municipios de La Concordia, Villacorzo, Ángel Albino Corzo, Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Montecristo de Guerrero, Siltepec y Escuintla. El orden y número de los municipios con el mayor riesgo de ocurrencia mostró diferencia respecto a lo reportado en el presente trabajo, que probablemente correspondió al método de selección, ya que USAID (2006), determinó estas zonas en base a estadísticas generales de ocurrencia de los incendios, que a diferencia en este trabajo, fue mediante el análisis objetivo de los resultados obtenidos de los modelos de árbol de regresión.

Contreras (2007), no especificó los municipios que presentaron la mayor extensión de su máxima categoría de riesgo a incendios para la REBITRI, por lo que no se hizo comparación alguna de este antecedente y la información arrojada por el análisis de este trabajo. En cuanto a las superficies totales de su máxima categoría de riesgo a incendios, Contreras (2007) registró 17,002 ha; con el nivel más ALTO y 34,120 ha; con el nivel MEDIO, constituyendo el 43% del área de la REBITRI, es decir 51,122

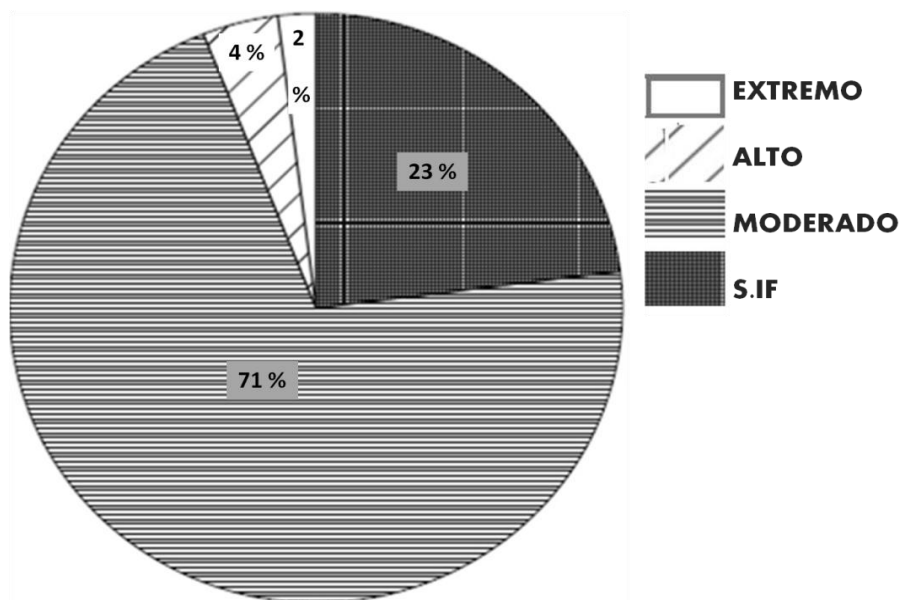
ha; localizadas en toda la periferia de la REBITRI y sobre las zonas núcleo; estas zonas se observaron influenciadas por 149 localidades (Contreras, 2007).

**Cuadro 17.- Superficies con Peligro Potencial de Incendio Forestal en la REBITRI.**

<b>CATEGORÍA DE PELIGRO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>HECTÁREAS</b>
Áreas de mayor peligro potencial a incendio forestal	<b>EXTREMO</b>	<i>2,700</i>
Áreas con peligro potencial a incendio forestal	<b>ALTO</b>	<i>6,000</i>
Áreas con potencial a incendio forestal	<b>MODERADO</b>	<i>96,100</i>
Áreas sin categoría de peligro potencial a incendio forestal	<b>S.IF</b>	<i>30,500</i>
<b>TOTAL</b>	-	<i>135,300</i>

Las superficies con las categorías de riesgo ALTO y MEDIO documentadas por Contreras (2007), presentaron considerablemente una mayor extensión a diferencia de las superficies de peligro EXTREMO y ALTO reportadas para este trabajo (Cuadro 17). Estos resultados no pudieron ser comparados directamente, pues los análisis metodológicos y los criterios de clasificación del peligro fueron diferentes en ambos estudios.

Respecto a la categoría de peligro menos alarmante reportada por Contreras (2007) y la del presente trabajo (MODERADO), se observó coincidencia en documentarla con la mayor extensión de superficie de las categorías de peligro y riesgo que integraron cada estudio. En la categoría con peligro potencial MODERADO, se delimitaron 96,100 ha., mientras que para la categoría con el nivel de riesgo más Bajo a incendios de Contreras (2007) se distinguieron 68,055 ha.



**Fig. 19.- Porcentaje de las categorías de Peligro Potencial de Incendio Forestal en la REBITRI.**

**Abreviaturas: S.IF: Sin categoría de peligro potencial a incendio forestal en la REBITRI.**

Se resalta que Contreras no reportó nivel de riesgo a incendio en las zonas núcleo, decisión que pudo estar influenciada por las variables empleadas en el análisis para determinar sus categorías, ya que sólo consideró la ocurrencia histórica de los incendios, la densidad de la población, de los caminos y de las actividades productivas. Esto, remarcó la importancia de que pese a que los antecedentes reporten cierto número de variables a considerar para la elaboración de mapas de peligro y riesgo a incendio forestal, es importante hacer un análisis objetivo de los incendios forestales en el área de estudio y las variables que interactúan de la zona, ya que los factores que determinan el peligro y el riesgo de incendio son diferentes para cada área de estudio (Rodríguez, 1996).

Para la construcción de este mapa se reunió el mayor número posible de variables de la zona de estudio, que se evaluaron objetivamente a fin de identificar las que están influyendo en la distribución espacial de estos siniestros. Ante este panorama, el Mapa de Zonas con Peligro Potencial a Incendio Forestal (Fig. 15), se muestra como una herramienta a emplear para los administradores de la REBITRI, para dirigir

estrategias basadas en la articulación de las actividades entre instituciones, comunidad y sociedad civil, cuyo fin proporcione una opción completa en la atención y prevención de los incendios forestales para la REBITRI.

## **6.5 El Método de Análisis: Árboles de Regresión**

Para el presente proyecto de investigación se empleó un método de análisis diferente a los reportados en los antecedentes, el cual identificó objetivamente las variables que se relacionan al peligro de presencia y propagación de los incendios forestales en el área de estudio.

La cantidad de información a analizar para la delimitación de las áreas con peligro potencial a incendio, en el área de estudio fue considerablemente mayor a la de los trabajos reportados para México (Cuadro 2), en los cuales la zonificación del peligro se había llevado a cabo mediante el cálculo de índices ponderados mediante análisis multicriterio, sin considerar las interrelaciones entre las diferentes variables y los incendios en el área de estudio. Acorde con este objetivo, los modelos de árbol de regresión se recomiendan para el análisis exploratorio de un gran número de datos en donde no se pueden elegir *a priori* las variables más relevantes (Crawley, 2002).

Considerando el número de variables (129 variables por unidad / 4745 unidades de análisis), los modelos de árbol de regresión se mostraron como una herramienta eficiente capaz de proporcionar estimaciones puntuales, como se observó en los modelos “A” y “B”, en donde los resultados indicaron las condiciones específicas (criterio de decisión), en las que pueden ocurrir o propagarse los incendios dentro del área de estudio (Figuras 13 y 14). Actualmente no se disponen de datos específicos para cada variable, por lo que la discusión referente a los valores evidenciados por dichas variables en el modelo no se pueden discutir a detalle, sólo de manera general.



Su capacidad para extrapolar debe utilizarse con precaución ya que sólo pueden predecir la presencia y propagación de los incendios dentro de un intervalo de valores, estableciendo conjuntos que se limitan al intervalo de extrapolación de los valores observados (Kallimanis et al., 2007).

La calidad de la información en el análisis es un punto a considerar, ya que los datos no siempre se encuentran actualizados, lo que puede sesgar el análisis, por lo que la actualización de las bases de datos es un factor que se debe cuidar a la hora de hacer análisis objetivos. La verificación en campo de la información obtenida es una opción que se recomendaría para futuros trabajos con árboles de regresión; posterior a la validación del modelo, mediante una prueba estadística que corroboré la calidad de la información obtenida por los arboles de regresión, esta prueba estará en función del comportamiento inicial de los datos.

La predicción y capacidad explicativa de los modelos de árbol de regresión ya ha sido comparada con los modelos de regresión múltiple por Kallimanis et al. (2007), demostrando que su capacidad para describir el objetivo sobre la base de las variables, superaba a los modelos de regresión múltiple. También se evidenció que tienden a emplear un mayor número de variables Geográficas y Topográficas del conjunto de patrones espaciales (Kallimanis et al., 2007), por lo que, dentro de los aspectos relevantes que aporta el presente trabajo, está la influencia de dos variables Geográficas, una Topográfica y una Edafológica. La relación de estas categorías en la presencia y propagación de los incendios forestales se representó por las variables de: Zonas de Recuperación; Registro de Puntos de Calor; Pendiente y Suelo Tipo Litosol, consideradas como relevantes por situarse próximas a la variable Raíz (Crawley, 2002, Dalgaard, 2002 y Venables & Ripley, 2002).

Sin embargo, según Kallimanis et al. (2007), la prueba de fuego de cualquier modelo estadístico es su capacidad para predecir nuevas e imprevistas condiciones, especialmente en el caso de la extrapolación. En este sentido se resalta la eficiencia

del modelo en la descripción de la relación y la predicción de nuevas variables: las Zonas de Recuperación y el suelo Tipo Litosol, las cuales no se habían tomado en cuenta por USAID (2006) y Contreras (2007), para la REBITRI. Esto representó una contribución en la delimitación de las zonas con peligro potencial en el área de estudio.

Se pueden promover resultados más eficientes en los modelos de árbol de regresión si las bases de datos se someten a una continua actualización, depuración, mantenimiento y verificación de los datos para que el análisis sea de calidad.

Los modelos de árbol de regresión cumplieron con su cometido en este trabajo, el cual fue mejorar el conocimiento sobre los incendios en la REBITRI y averiguar si existen patrones definidos en la probabilidad de que una zona presente peligro potencial a incendio forestal, en función de ciertas variables.

## VII. CONCLUSIONES

La relación entre las doce variables y los incendios forestales, mostraron una tendencia a seis categorías temáticas. Siendo, las variables Climáticas, Biológicas y Socioeconómicas, las que en principio influyen la presencia y propagación de los incendios en el área de estudio. También se observó relación con las variables Geográficas, Edafológicas y Topográficas.

El factor con mayor representación en la delimitación de las zonas con peligro potencial a incendio forestal en el área de estudio fue el Climático, por lo que se resaltó que la calidad y precisión de esta información, para la predicción del peligro fue fundamental para el área de estudio. Parte de la calidad de los resultados obtenidos se distinguió gracias al detalle de las coberturas climáticas generadas con Bioclim (Téllez *et al.*, 2010), a partir del MDT con una resolución de 20 m; (Navarrete *et al.*, 2002).

Un punto relevante del presente análisis fue la descripción del papel que juegan los factores Geográficos y Edafológicos en la distribución espacial de los incendios, por los modelos de árbol de regresión, siendo el área de las Zonas de Recuperación y el área del suelo tipo Litosol, las variables no reportadas en los antecedentes como relevantes para la delimitación de las áreas con peligro potencial a incendios.

La influencia del tipo de suelo Litosol (FAO, 2007), en la presencia y propagación de los incendios forestales fue el primer registro para el estado, así como su empleo en la jerarquización de las zonas con peligro potencial a incendios.

El análisis de la información mediante los modelos de árbol de regresión para el establecimiento de las zonas con peligro, probó ser un método de análisis práctico, eficaz, económico y relativamente fácil de llevar a cabo para la determinación de las zonas con peligro potencial a incendios forestales. Por lo que su uso se recomendaría a los administradores de la REBITRI para el análisis de alguna otra

problemática que le esté afectando y no se disponga de la economía, el tiempo y el personal para identificar inicialmente los factores con los que se está relacionando.

Este análisis podría mejorar su calidad si la información de la base de datos fuese actualizada y mejorada. A su vez, sería necesario llevar a cabo la validación de los resultados del modelo de árbol de regresión, para la comprobación en campo de estos supuestos.

Mediante el establecimiento de las zonas con peligro potencial a incendio forestal para la REBITRI, se logró hacer una contribución al conocimiento de los incendios forestales en el área de estudio, y por ende al manejo del fuego en las localidades próximas a estas áreas. La discriminación de las áreas con peligro presentó una mayor especificidad de las categorías integradas por peligro potencial EXTREMO, ALTO y MODERADO, a diferencia de los trabajos de USAID (2006) y Contreras (2007).

Se identificó que la localización de las principales zonas que requieren de una atención especial para la prevención de estos siniestros, están en la periferia orientada al este de la zona núcleo La Angostura, en el Municipio de La Concordia. Subrayando la importancia de promover, dirigir, gestionar y supervisar urgentemente estrategias específicas que contribuyan a la atención y prevención de los incendios, en 32 localidades próximas a estas zonas.

No se logró comparar de forma directa este tipo de trabajo con alguno similar, debido a que no se encontró ningún trabajo que haya usado los modelos de árbol de regresión en la delimitación del peligro a incendios forestales, al parecer el uso de estos modelos en la distribución espacial de los incendios es pionero en el área, por lo que se espera que sea un antecedente que se complemente con nuevas propuestas para su mejoramiento.

Se propone que para futuros trabajos en el ámbito del estudio de los incendios forestales y su análisis mediante modelos de árbol de regresión, la inclusión de otras variables, como el establecimiento de modelos de combustibles, cargas de combustibles, exposición de la ladera y velocidad del viento, entre otras, para corroborar si su interrelación con otros factores es relevante para la presencia y propagación de los incendios forestales en el área de estudio. También sería recomendable hacer una subclasificación para el peligro potencial MODERADO que podría establecerse, por ejemplo en función del potencial de uso de suelo y/o tipo de vegetación.

Por último, este trabajo no solo contribuyó al conocimiento de los incendios, también significó la administración y articulación de 6 diferentes instituciones que colaboraron para que se llevase a cabo, lo que representa un aporte al manejo y gestión de los recursos en pro de la conservación, planeación y prevención de las diversas problemáticas que enfrenta la REBITRI.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís, M.H.E. y Orozco, V.F. 2000. Índice de riesgo de incendios forestales en la región central del macizo boscosos de Chihuahua. Folleto científico No. 11. INIFAP-SAGAR. México. 22 p.
- Alvarado, C.E. 2006. Consideraciones sobre incendios en bosques tropicales y templados de áreas protegidas de México y Brasil. En Flores, G.J., Rodríguez, T.D.A. Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.
- Arnaldos, V.J., Navalón, N.X., Pastor, F.E., Planas, C.E. y Zárate, L.L. 2003. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de los incendios forestales. Mundi-Prensa. España. 174 p.
- Arreola, M.A.V., Cuevas, G., Becerril, R.A., Noble, L. y Altamirano, M.A. 2004. El medio físico y geográfico de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas En Pérez, F.M.A., Martínez, M.N., Hernández, M.N., Hernández, Y.A. y Arreola, M.A.(Eds). 2004. La Reserva de la Biosfera El Triunfo, tras una década de conservación. UNICACH, Chiapas. 350 p.
- Bachem, U. y Rojas, R. 1994. Contribución al estudio ecológico de la vegetación en la región de la Frailesca, Chiapas. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 184 p.
- Breedlove, D.E. 1981. Introduction to the Flora of Chiapas. Flora of Chiapas. En Thomas F. Daniel (Ed). California Academy of Sciences. Sn. Fco. California.1-35 p.
- Capó, A.M. 1999. La estimación del riesgo como ayuda en la prevención de incendios. En Santiago, F.H., Servín, M.M., Rodarte, R.H. y Garfias, A.F.J. (Eds). Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas. UNAM-SEMARNAP-IPN. México. 178 p.
- Castro, G.C. y Reyes, Z.L.E. 2006; Desastres Naturales y Vulnerabilidad de las Mujeres en México. INMUJERES. México. D.F. 291 p.
- Cedeño, S.O. 1999. Incendios forestales en México en 1998: magnitud, extensión, combate y control. En Santiago, F.H., Servín, M.M., Rodarte, R.H. y Garfias, A.F.J. (Eds). Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas. UNAM-SEMARNAP-IPN. México. 178 p.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2006. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos químicos. Serie Atlas Nacionales. México. DF. 183 p.
- Cobertera, L. E. 1993. Edafología Aplicada. Cátedra. Madrid. 326 p.
- Compendio de Estadísticas Ambientales: [http://148.223.105.188:2222/snif\\_portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=117&Itemid=97](http://148.223.105.188:2222/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=117&Itemid=97).
- CONABIO. 1995. Reservas de la Biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE-CONABIO. México. 159 p.
- CONABIO. 2008: <http://www.conabio.gob.mx>

- CONAFOR. 2008. Reporte semanal de resultados de Incendios Forestales 2007. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2007. Información de Cierre de Estadística de Incendios. SEMARNAT-CONAFOR. 17 p.
- CONAFOR. 2008: <http://www.conafor.gob.mx>
- CONANP. 2008: <http://www.conanp.gob.mx/anp/rb.php>  
[http://www.conanp.gob.mx/anp/pagina.php?id\\_anp=11](http://www.conanp.gob.mx/anp/pagina.php?id_anp=11)
- Contreras, A.R. 2007. Estudio de inventario y modelos de combustibles en ecosistemas representativos y generación de información base para el programa de manejo integrado del fuego en la REBITRI. Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. CONANP- Pronatura Chiapas- TNC. 64 p.
- Crawley, M.J. 2002. Statistical computing: an introduction to data analysis using S-plus. 2ed. John Wiley & Sons. New York. 761 p.
- Dalgaard, P. 2002. Statistics and Computing. Introductory Statistics with R. Springer. USA. 267 p.
- De la Casa, A. y Ovando, G. 2006. Relación entre la precipitación y los índices de vegetación durante el comienzo del un ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Buenos Aires Argentina (35): 65-85 p.
- De la Maza, R. y De la Maza, J. 1993. Mariposas de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. Chiapas. México. 224 pp.
- Diez de Bonilla, S.E.A. 2007. Evaluación del peligro por incendios forestales en la Delegación de Milpa Alta, Distrito Federal. UNAM. Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. Tesis de licenciatura. 80 p.
- Espinoza, M.E., Anzures, D.A. y Cruz, A.E. 1998. Mamíferos de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Revista Mexicana de Mastozoología, 3: 79-94.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), Inc. 1998. Arc View GIS 3.2. Redlands, C.A. 358 p.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), Inc. 2001. ArcGIS 8.2. Redlands, C.A. 386 p.
- Estrada, M.E. 2006. Sistema Nacional de Protección contra Incendios Forestales. En Flores, G.J.G. y Rodríguez, T.D.A. Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.
- FAO. 2001. Incendios forestales. Reunión sobre políticas públicas que afectan a los incendios forestales: <http://www.fao.org/docrep/003/x2095s/x2095s0m.htm>.
- FAO. 2007. Base referencial del recurso suelo: un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelo No. 103. IUSS-ISRIC-FAO. Roma. 130 p.
- Flores, G.J.G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Dissertation Department For. Sc. Colorado State University. 184 p.
- Flores, G.J.G y Benavides, S.J. 2006. Avances de la investigación en incendios forestales en México (2004). En Flores, G.J.G. y Rodríguez, T.D.A. Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.

- Garrido, L.I. 1991. Propuesta de metodología para obtener un sistema de predicción de peligro de incendio forestal para la república mexicana. SARH. México. 42 p.
- Gómez, T.R.A. y Chávez, H.Y. 1999. Método rápido para la estimación del riesgo de incendio aplicado a un bosque de oyamel-pino en la región Monarca. En Santiago, F.H., Servín, M.M., Rodarte, R.H. y Garfias, A.F.J. (Eds). Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas. UNAM-SEMARNAP-IPN. México. 178 p.
- Gonzales, M.F. 2004. Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. 2ed. SEMARNAT-INE. México. 78 p.
- Helbig, C. 1976. Chiapas: Geografía de un Estado Mexicano. Gobierno del Estado de Chiapas, México. Volumen 2. 232 p.
- Herrera, M.A. 2000. La Clasificación numérica y su aplicación en la ecología. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. INTEC. República Dominicana. 88 p.
- INE. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. INE. México. DF. 109 p.
- INI. 2001. Riesgos y desastres naturales en regiones indígenas de México. INI. México. 172 p.
- Iverson, L.R. y Prasad, A.M. 1998. Predicting Abundance for 80 Tree Species Following Climate Change in the Eastern United States. *Ecological Monographs*, 68(4): 465-485
- Jardel, P.E.J., Ramírez, V.R., y Morfín, R.J.E. 2005. Principios básicos de manejo del fuego y control de incendios forestales. Universidad de Guadalajara. Autlán, Jal., México. 158 p.
- Jardel, P.E., Ramírez, V.R., Castillo, N.F., García, R.S., Balcázar, M.E., Chacón, M.JC. y Morfín, R. J. 2006. Manejo del fuego y restauración de bosques en la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán, México. En Flores, G.J. G. y Rodríguez, T.D. A. Incendios forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.
- Johnson, R. y Kuby, P. 2004. Estadística elemental: lo esencial. 3ed. Cengage Learning Editors. USA. 509 p.
- Juárez, O.S. y Cano, S.Z. 2007. El cuarto elemento y los seres vivos: Ecología del fuego. *Ciencias*. UNAM. Enero-Marzo. 85:4-12.
- Julio, A.G. y Giroz, G.G. 1975. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales. *Bosque*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ingeniería Forestal. 1:8-27.
- Kallimanis, A.S., Ragia, V., Sgardelis, S.P. y Pantis, J.D. 2007. Using regression trees to predict alpha diversity based upon geographical and habitat characteristics. *Biodiversity and Conservation*, 16(13):3863-3876.
- Knockaert, H., Ramírez, R.J., Nolasco, M.A., Islas, S.A., Tejeda, G.C. y Meléndez, V.J.L. 1991. Prevención y control de incendios forestales en la región norte del estado de Quintana Roo. Cancún, Quintana Roo, Mexico: SARH-FAO. 280 p. En Rodríguez, T.D.A. 1996. Incendios Forestales. UACH. Mundi-Prensa. México. 630 p.
- Landsberg, L. 1997. El Fuego y los bosques: el fuego puede ser un buen criado o un mal amo. Actas del XI Congreso Forestal Mundial Turquía. [www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V1S\\_T6.PDF](http://www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V1S_T6.PDF)



- Long, A. y Heath, M. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: A preliminary floristic inventory and the plant communities of polygon I. *Annales Inst. Biol. UNAM. Mexico. Serie Botánica*, 62(2):133-172.
- Maass M. y Jaramillo V. 1999. Impacto de los Incendios en el suelo. En Santiago, F.H., Servín, M.M., Rodarte, R.H. y Garfías, A.F.J. (Eds). *Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas*. UNAM-SEMARNAP-IPN. México. 178 p.
- Mckenzie, D. 2004. La historia del fuego y su relación con el clima. En Villers, R.L. y López, B.J. (Eds). *Incendios Forestales en México, métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM. México. 164 p.
- Magaña, O. 1983. Determinación de un índice de incendios forestales para el municipio de Tlahuapan, Puebla. Tesis Profesional Chapingo. México. 177 p.
- Magaña, O. 1985. Índices de peligro de incendios forestales. *Boletín divulgativo*. No. 70. INIFAP. 15 p.
- Marín, Ch.J. 1984. Los incendios forestales en el estado de México. Tesis Profesional. UACH Chapingo. México. 189 p.
- Mas, J.F. 2005. Asswsing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105: 69-80.
- Miranda, M. 1957. Vegetación de la Vertiente del Pacifico de la Sierra Madre de Chipas. En: *Lecturas Chiapanecas 6*. Gobierno del Estado de Chiapas. Chiapas. México. 79-101 p.
- Miranda, S.R. 2004. Determinación de las áreas de riesgo a incendios forestales del parque ecológico Chipinque, Nuevo León. En Villers, R.L. y López, B.J. (Eds). *Incendios Forestales en México, métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM. México. 164 p.
- Morales, H.J.L. 1992. Los incendios forestales en el Distrito Federal. Seminario de Titulación. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 65 p. En Rodríguez, T.D.A. 1996. *Incendios Forestales*. UACH. Mundi-Prensa. México. 630 p.
- Müllerried, F. 1982. La geología de Chiapas. 2Ed. Colección de Libros de Chiapas. Publicaciones del Gobierno del Estado de Chiapas. 175 p.
- Muñoz, R.C.A., Treviño, G.E.J., Verástegui, C.J., Jiménez, P.J. y Aguirre, C.O.A. 2005. Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 56:101-117.
- Muñoz, A.A., Luna, R.R., Percino, D.R. y Horvath, A. 2004. Anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera El Triunfo En Pérez, F.M.A., Martínez, M.N., Hernández, M.N., Hernández, Y.A. y Arreola, M.A.(Eds). 2004. *La Reserva de la Biosfera El Triunfo, tras una década de conservación*. UNICACH, Chiapas. 350 p.
- Navarrete, G.D.A., Sarabia, R.A., Méndez, T.D. y Llanes, M.J.C. 2002. Digitalización y Elaboración de un Modelo Digital del Terreno para la Reserva de la Biosfera el Triunfo Chiapas. Informe final para Conservación Internacional. LAIGE. ECOSUR. S.C.L.C.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federacion 06 de Marzo del 2002. 2ed. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Ortíz, E.B., Liedo, F.J.P., Cueva, G.R., García, B.J.A. y Esquinca, A.H.A. 1992. Diagnostico ecogeográfico de la región hidrológica de Acapetahua, El Soconusco, Chiapas: Informe que

presenta el Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES), Proyecto: Manejo integral de la cuenca Acapetahua, correspondiente al anexo del convenio IMTA-CIES. Tapachula, Chiapas. CIES/Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 51 p.

- Padilla, G.H. 1981. Glosario práctico de términos forestales. Catalogo 6. SARH-INIF. México. D.F. 99 p.
- Palacio, J.L., Bocco, G.A., Velázquez, J.F., Mas, F., Takaki, A., Victoria, L.L., Gómez, G.J., López, M.P., Trejo, I.A., Peralta, J., Prado, A., Rodríguez, R., Mayorga, R. y González, F. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*, 43: 183-203.
- Paré, O.L. 1999. Causas estructurales de los incendios. En Flores, G.J. G. y Rodríguez, T.D. A. Incendios forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.
- PEOT. 2005. Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México.
- Pérez, F.M.A. 2004. Flora y Vegetación de la Reserva de la Biosfera El Triunfo: Diversidad, Riqueza y Endemismo En Pérez, F.M.A., Martínez, M.N., Hernández, Y.A. y Arreola, M.A. (Eds). 2004. La Reserva de la Biosfera El Triunfo, tras una década de conservación. UNICACH, Chiapas. 350 p.
- Pérez, V.J. y Delgado, F.J.L. 1995. Análisis de riesgo de incendio forestal en Galicia. *Agricultura y Sociedad*, 77: 109-124.
- Poulain, Z. 2005. Análisis de la causalidad de incendios forestales en la zona costera de la VII región como base para futuras estrategias en prevención. Tesis Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 75 p.
- Ramírez, G.M. 2005. Detección, prevención y manejo del fuego mediante la gestión local y regional de las ANP's de la Región Frontera Sur de la CONANP. Ecobiósfera El Triunfo SC. Informe final SNIB-CONABIO Proyecto CONABIO No. DQ012. México. D.F. 37 p.
- Rodríguez, D., Romero, L. y Rapidel, B. 2001. Relación entre incendios forestales, precipitación y temperatura. Su aplicación en cuatro escenarios climáticos de Nicaragua. *Comunicación Técnica. Revista Forestal Centroamericana*. 33: 6.
- Rodríguez, T.D.A. 1996. Incendios Forestales. UACH. Mundi-Prensa. México. 630 p.
- Rojo, M.E.G., Santillán, P.J., Ramírez, M.H. y Arteaga, M.B. 2001. Propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal en bosques de clima templado en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1): 39-48.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México, en *Acta Botánica*. 14:3-21.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez, J. 1989. Los incendios forestales y las prioridades de investigación en México. *Congresos forestal mexicano*, tomo II, México 719-732 p. En Santiago, F.H., Servín, M.M., Rodarte, R.H. y Garfias, A.F.J. (Eds). *Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas*. UNAM-SEMARNAP-IPN. México. 178 p.
- SEMARNAT. 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México.

- Sepúlveda, B.J., Zúñiga, C.W., Olguín, E.M. y Gomero, P.A. 1999. Implementación de un sistema de información geográfica para la prevención de incendios forestales en Baja California. Folleto científico. No. 1. INIFAP-SAGAR. México. 44 p.
- Shiattino, L.I. y Silva, Z.C. 2008. Árboles de clasificación y regresión: Modelos CART. Ciencia y Trabajo. Facultad de Medicina de Chile. 30: 161-166 p.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. 1986. Introduction to Biostatistics. Traducido por Joaquina Gabarrón. Reverte. España. 370 p.
- Tchikoué, M.H., Rodríguez, T.D., Santillán, P.J., y Ramírez, M.H. 2005. Evaluación del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales. Ejercicio Fiscal 2004. SEMARNAT. CONAFOR. UACH-DICIFO. México. 335 p.
- Téllez, V.O., Hutchinson, M.A., Nix, H. y Peter, J. 2010. Desarrollo de Coberturas Digitales Climáticas para México. En Prensa. 25 p.
- The R Foundation for Statistical Computing. 2007. R version 2.6.0 (2007-10-03). Copyright 2007 The R Project. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.r-project.org/>
- Toledo, M. R. 1994. Caracterización de incendios forestales en el Estado de Michoacán. SARH – INIFAP. Folleto Técnico No. 29. 37 p.
- USAID, CONANP-REBITRI. 2006. Plan de Atención a Incendios Forestales. Hacia el Manejo Integral del Fuego en la REBITRI. USID. CONANP. The Natura Conservancy. Espacios Naturales. Chiapas, México. 39 p.
- Venables, W.N. y Ripley, R.D. 2002. Statistics and Computing. Modern Applied Statistics with S. 4ed. Springer. New York. 405 p.
- Villaseñor, J.L. y Téllez, V.O. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica. UNAM, 75(002): 205-220.
- Villers, R.M.L. y López, B.L. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. En Villers, R.L. y López, B.J. (Eds). Incendios Forestales en México, métodos de evaluación. Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM. México. 164 p.
- Villers, R.L.M. y Trejo, V.I. 2000. El cambio climático y la vegetación en México. En García, G.C. (Ed) México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. INE. UNAM. US Country Studies Program. México. 220 p.
- Villers, R.M.L. 2006a. Incendios forestales. Ciencias. UNAM. Enero-Marzo. 81:60-66.
- Villers, R.M.L. 2006b. Parámetros ambientales físico-bióticos y modelos para estudiar el comportamiento del Fuego. En Flores, G.J. G. y Rodríguez, T.D. A. Incendios forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR-Mundi-Prensa. México. 259 p.
- Wagner, H.O. y Lenz, H. 1948. El bosque y la conservación del suelo: Su importancia cultural y económica. México. Cultura. 189 p.
- Wong, G.J.C. y Villers, R.M.L. 2007. Evaluación de los combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el parque nacional La Malinche. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 62:87-103.

## IX. ANEXOS

### A-I.- TIPOS DE VEGETACIÓN SEGÚN Breedlove (1981) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

De acuerdo con la clasificación de Breedlove (1981) se describen a continuación los 10 tipos de vegetación presentes en la REBITRI, citados en el plan de manejo publicado por el INE (1999):

1.-Matorral perennifolio de neblina: localizado en los picos de las montañas más altas, expuesto a fuertes vientos e inmerso en densa neblina. La zona mejor conocida de la reserva es la del cerro El Triunfo, entre 2,300 y 2,450 m (INE, 1999), en donde se describió una comunidad dominada por *Gaultheria acuminata*, *Ugni myricoides* y *Vaccinium matudae*, asociadas a *Sphyraspermum majus*, *Chusquea spp.*, *Cochlidium rostratum*, *Hymenophyllum spp.*, *Elaphoglossum peltatum*, *Pleopeltis macrocarpa trichophora*, *P. loriceum*, *Thelypteris oligocarpa*, *Antrophyum ensiforme* y *Matelea aff. Velutina* (Long y Heath, 1991).

2 y 3.-Bosque lluvioso de montaña (B.LI.M.) y Bosque perennifolio de neblina (B.P.N.): el primero se presenta en altitudes entre 900 y 2,200 m, está asociado frecuentemente a pendientes pronunciadas. El segundo se ubica a los 1,900 y 3,200 m de altitud. Ambos son conocidos como nubliselva o bosque de niebla y constituyen la vegetación más exuberante de las tierras altas y húmedas de la reserva. Se distribuyen sobre ambas vertientes y también en los terrenos ondulantes y valles del parteaguas. Fisonómicamente se distinguen entre sí, porque en el B.LI.M. hay dos o tres estratos arbóreos y una mayor frecuencia y abundancia de angiospermas epífitas (como orquídeas y bromelias); mientras que el B.P.N. sólo presenta uno o dos estratos, pero los helechos arborescentes son más frecuentes, disminuyendo la presencia de fanerógamas epífitas. Entre las especies dominantes del dosel se encuentran: *Quercus oocarpa*, *Q. sapotifolia*, *Q. crispifolia*, *Matudaea trinervia*, *Dendropanax populifolius*, *Perrottetia longistylis*, *Ocotea chiapensis*, *Morus spp.*, *Trophis cuspidata*, *Symplocos hartwegii*, *Symplocarpon flavifolium*, *Drimys granadensis var., mexicana*. Del estrato medio *Hedyosmun mexicanum* parece ser la especie más abundante, otras son *Conostegia volcanalis*, *Weinmannia pinnata*, *Eugenia chiapensis*, *Drimys*

*granadensis mexicana*, *Podocarpus matudae*, *Ilex belizensis*, *Spathacanthus parviflorus*, *Amphitecna montana*, *Brunellia mexicana*, *Bernardia interrupta*, *Persea liebmannii*, *Phoebe siltepecana*, *Guarea glabra*, *Ardisia neomirandae*, *Myrsine juergensenii*, *Gentlea tacanensis*, *Parathesis nigropunctata*, *Synardisia venosa*, *Eugenia citroides*, *Picramnia matudae*, *Meliosma* spp., *Styrax glabrescens glabrescens*, *Temstroemia lineata* ssp., *chalicophila*, *Daphnopsis selerorum*, *Heliocarpus donnell-smithii*, *Lozanella enantiophylla*, *Boehmeria ulmifolia* y *Citharexylum mocinnii* (INE, 1999). Entre los arbustos y pequeños árboles, las compuestas piperáceas, rubiáceas y solanáceas están bien representadas. Los helechos arborescentes son también abundantes, principalmente las especies *Alsophila salvinii*, *Cyathea fulva* y *C. aldecrenata* (INE, 1999). Rzedowski (1991), considera ambas formaciones como bosque mesófilo de montaña representando uno de los mayores remanentes dentro de la REBITRI, así mismo lo considera el ecosistema más diverso por unidad de superficie.

4.-Bosque lluvioso de montaña baja: o bosque tropical lluvioso (Breedlove, 1981) se desarrolla en las laderas, representando el más bajo y carente del estrato superior de árboles rectos y no ramificados que caracterizan el dosel de las selvas perennifolias en terrenos planos, alcanzando alturas de 50 a 60 m (Breedlove, 1981). Fisonómicamente, se caracteriza por un dosel continuo, de 25 a 45 m de altura (INE, 1999). Entre las especies presentes están: *Terminalia amazonia*, *Aspidosperma megalocarpon*, *Calophyllum brasiliense*, *Ficus crassiuscula*, *Myroxilon balsamum*, *Sapium macrocarpum*, *Tetrorchidium rotundatum*, *Vatairea lundellii* y *Bursera simaruba*. En los estratos inferiores son frecuentes: *Alchomea latifolia*, *Coccoloba escuintlensis*, *Croton guatemalensis*, *Cupania glabra*, *Cymbopetalum penduliflorum*, *Erythroxylon tabascense*, *Faramea occidentalis*, *Gilibertia arborea*, *Guarea trompillo*, *Miconia argentea*, *Nectandra sinuata*, *Ocotea veraguensis*, *Quararibea funebris*, *Sloanea ampla*, *Stemmadenia donnell-smithii*, *Swartzia ochnacea* y *Turpinia paniculata*. La vegetación arbustiva y herbácea es exuberante y variada, abundando las palmas del género *Chamaedorea* y especies de las familias Rubiaceae, Acanthaceae, Melastomataceae, Piperaceae y Araceae (Miranda, 1957).

5.-Bosque estacional perennifolio: hallado comúnmente alrededor de los 1,200 m en pendientes con exposición hacia el oeste y noreste de la Sierra Madre (Breedlove, 1981). En la vertiente del Pacífico continuando hacia la Planicie Costera, constituyendo una formación de transición que va desde el bosque tropical lluvioso y el bosque lluvioso de montaña baja

hasta la selva baja caducifolia. Fisonómicamente, presenta un dosel discontinuo y con una proporción de árboles caducifolios, que varían de acuerdo al grado de humedad en el sitio; no obstante, la comunidad mantiene su carácter perennifolio. Algunos de los árboles alcanzan una altura de 25 a 35 m; entre las especies que se encuentran en la REBITRI están: *Albizzia caribaea*, *A. longepedata*, *Andira inermis*, *Astronium graveolens*, *Bursera simaruba*, *B. grandifolia*, *Calycophyllum candidissimum*, *Calophyllum brasiliense*, *Cederla mexicana*, *Ceiba pentandra*, *Chlorophora tinctoria*, *Couepia polyandra*, *Cybistax donnell-smithii*, *Hymenaea courbaril*, *Lafoencia puniceifolia*, *Licania arborea*, *Platymiscium dimorphandrum*, *Poeppigia procera*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Aphanante monoica*, *Sapium macrocarpum* y *Sideroxylon tempisque* (Miranda, 1957).

6.- Bosque de pino-encino-liquidámbar: se halla hacia el declive oriental de la Sierra Madre, en los límites superiores de las plantaciones de café; en alturas que van entre los 1,300 y los 1,700 m. Su dosel superior es continuo y dominado por árboles de 15 a 35 m, entre los que destacan: *Liquidambar styraciflua*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra suaveolens*, *Cornus disciflora*, *Pinus montezumae*, *Quercus candicans*, *Q. oocarpa*, *Q. Segoviensis* y *Trophis mexicana*. Las especies que lo componen son: *Vernonia polypleura*, *Vaccinium leucanthum*, *Nectandra reticulata*, *Ardisia siltepecana*, *Parathesis chiapensis*, *Rapanea myricoides* y *Phoebe siltepecana*. Destacando en el estrato arbustivo: *Aphelandra gigantiflora*, *Baccharis trinervis*, *Bocconia gracilis*, *Cestrum guatemalensis gracile*, *Miconia desmantha*, *Piper pseudo-lindenii*, e individuos aislados como *Ceratozamia matudae*, especie de cícada que no se encuentra a mayores altitudes (INE, 1999).

7.- Bosque de pino-encino: distribuido en un amplio rango altitudinal que va desde los 650 hasta los 1,900 m; se caracteriza por una formación abierta con pocas especies arbóreas. Se observan pinos y encinos mezclados, pero dependiendo de las condiciones edáficas pueden darse rodales puros de pinos o encinos. Los cipreses y pinos crecen hasta 25 m y ocasionalmente alcanzan los 30 m de altura, su dosel es discontinuo y bajo. Las especies que lo representan son: *Ilex liebmannii*, *Clethra suaveolens*, *Clusia guatemalensis*, *C. salvinnii*, *Senecio cobanensis*, *Verbesina apleura*, *Vernonia polypleura*, *Rhacoma standleyi*, *Cojoba donnell-smithii*, *C. matudae*, *Quercus lancifolia*, *Saurauia matudae* entre otras (INE, 1999).

8.- Bosque de galería o ripario: localizado en los márgenes de los arroyos que descienden hacia el noroeste de la vertiente interior de la REBITRI a altitudes cercanas a los 1,500 m. También se le encuentra en las inmediaciones de las fincas Las Cabañas, Santa Cruz, Cuxtepeques y Catarina. Con una altura que puede ser de 10 a 25 m alcanzando los 50 m de altura muy rara vez. Frecuentemente los árboles forman rodales puros caracterizados por las especies *Platanus chiapensis*, *Fraxinus chiapensis*, *Populus arizonica*; las dos últimas se encuentran en terrenos bajos y a menudo se entremezclan con *Taxodium mucronatum* en las riberas de la Depresión Central. Otras especies son *Alnus acuminata*, *Cornus excelsa*, *Cuphea hyssopifolia* y *Salix spp* (INE, 1999).

9.- Selva baja caducifolia: ubicada hacia los límites del extremo noroeste, sobre la vertiente del Pacífico. La vegetación de tierras altas entra en contacto con algunas especies de selva baja caducifolia, mismas que también invaden las áreas perturbadas donde originalmente existió bosque estacional perennifolio y bosque lluvioso de montaña baja (Miranda, 1957). Caracterizada por presentar un solo estrato arbóreo con un dosel muy cerrado, que alcanza los 12 m de altura, con individuos emergentes de algunas especies que alcanzan hasta 20 m, como: *Lafoensia puniceifolia*, *Calycophyllum candidissimum* y *Lonchocarpus rugosus*; otras especies son: *Aphelandra deppeana*, *Stemmadenia obovata*, *Cordia alliodora*, *Bursera simaruba*, *B. bipinnata*, *Byrsonima crassifolia*, *Guazuma ulmifolia* y *Styrax argenteus*. El sotobosque está dominado por hierbas, entre las que se encuentran *Ruellia inundata*, *Trixis chiapensis*, *Lasiacis ruscifolia*, *Combretum argenteum* y *Ampelocissus acapulcensis*. Las epífitas son muy escasas, pero las lianas son abundantes formando grandes marañas en algunas zonas (INE, 1999)

10.- Comunidades secundarias arbóreas y arbustivas: se halla en gran parte de las áreas que originalmente fueron boscosas y han sido taladas para realizar actividades productivas de tipo agropecuario y para obtención de leña y carbón. Como son la zona de influencia de la reserva y algunas partes en el interior de la misma. Los terrenos de la Planicie Costera, la Depresión Central y los Valles Intramontanos de la Sierra Madre que están ocupados por cultivos, pastizales y vegetación secundaria en diferentes estadios de regeneración (INE, 1999).

## **A-II.- CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN SEGÚN EL PEOT (2005).**

La información de vegetación que se empleo para este análisis fue la descrita en la cobertura digital de vegetación y uso de suelo del PEOT (2005) basada en el Inventario Nacional Forestal (Palacio *et al.*, 2000). A continuación se mencionan las características representativas de los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo presentes en el área de estudio:

### Bosque de Pino:

Este tipo de vegetación, se encuentra principalmente en áreas con clima semicálido y templado, en donde los suelos son de origen calizo y pobres en materia orgánica. Las especies dominantes son: *Pinus ayacahuite*, *tecunumanii*, *oocarpa*, *ochoterenai*, *pseudostrobus*, *maximinoi* y *teocote* (Breedlove, 1981). El grado de conservación de este tipo de vegetación es muy variable (Martínez *et al.*, 1999). En la región entre Jitotol y Pueblo Nuevo en las Montañas del Norte se pueden aún encontrar superficies considerables cubiertas por bosques de pinos, dominados por *P. oocarpa* y *P. teocote* (Breedlove, 1981). En la zona entre Las Margaritas, Comitán, Altamirano y de la Sierra Madre predominan un clima cálido seco en donde se encuentran áreas dominadas por *P. tecunumanni*, *P. devoniana*, *P. maximinoi*, *P. pseudostrobus*, (Miranda, 1998). Esta comunidad se encuentra en relativo buen estado de conservación cerca de Las Margaritas, Altamirano, Comitán y Villa Las Rosas (Rzedowski, 1991).

### Bosque de Pino-Encino:

Este tipo de bosque se localiza en las laderas de exposición sur y oeste de las Montañas del Norte de la Meseta Central y en el declive oriental de la Sierra Madre (Breedlove, 1981); predomina entre los 1300 y 2500 m. El dosel alcanza una altura de 15-40 m y está representado por las siguientes especies arbóreas: *Pinus oocarpa*, *pseudostrobus*, *devoniana*, *oaxacana*, *Quercus acatenangensis*, *corrugata*, *crassifolia*, *mexicana* y *rugosa*. Mezclados con otras especies como *Arbutos xalapensis*, *Buddleia skutchii*, *Crataegus pubescens*, *Ceanothus coeruleus*, *Garrya laurifolia*, *Litsea neesiana*, *Monnina xalapensis*, *Myrica cerifera*, *Rhus schiedeana*, *Solanum spp.* y *Viburnum jucundum* (Breedlove, 1981 & Rzedowski, 1991).



### Bosque Mesófilo de Montaña:

Este tipo de vegetación se encuentra representado en las Montañas del Norte, en Los Altos de Chiapas (Tila-Yerbabuena, Rayón-Coapilla y Tapalapa) y las montañas de la Sierra Madre de Chiapas (El Triunfo, Encrucijada-Palo Blanco). En estas regiones se encuentra un clima templado con precipitaciones anuales de 2000-4000 mm, con temperaturas medias anuales de alrededor de 18°C. En altitudes entre 1300 a 2550 msnm, ocupando sitios restringidos (cañadas, laderas protegidas) en los que prevalece un clima fresco con una humedad relativa del ambiente alta (Breedlove, 1981). Esto crea las condiciones óptimas para el surgimiento de una alta diversidad de plantas epífitas; no obstante este tipo de vegetación se encuentra sujeto a una acelerada fragmentación debido a las actividades agropecuarias: café tecnificado, roza-tumba-quema, ganadería extensiva, incendios forestales y extracción ilegal de madera.

La comunidad arbórea alcanza 25-35 m de altura y está representada por los géneros *Alnus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Cornus*, *Liquidambar*, *Ilex*, *Nyssa*, *Miconia*, *Turpinia*, *Clethra*, *Magnolia*, *Podocarpus*, *Ostrya*, *Platanus*, *Quercus* y *Persea*. Los helechos arbóreos son elementos bastante característicos en esta comunidad vegetal.

### Selva Alta Perennifolia:

Este tipo de vegetación se encuentra mejor representada en la parte centro y noreste de la Selva Lacandona, principalmente dentro de la reserva de la Biosfera Montes Azules (Rzedowski, 1978 & Breedlove, 1981). Existen pequeños fragmentos en la vertiente del Pacífico en la región del Soconusco (Miranda, 1998). Esta comunidad vegetal se caracteriza por presentar un estrato superior de 30 m de alto y con frecuencia existen árboles de 65 a 75 m como *Guatteria anomala*, *Licania platypus*, *Swietenia macrophylla*, *Nectandra leucocome*, *Brosimum alicatrum*, *Aspidosperma megalocarpon*. Otros elementos presentes son: *Dialium guianense*, *Erblichia odorata*, *Manilkara zapota*, *Pouteria sapota*, *Talauma mexicana*, *Vatairea lundellii*, *Poulsenia armata*, *Ilex costaricensis*, *Terminalia amazonia* y *Ceiba pentandra* (Breedlove, 1981 & Rzedowski, 1991). Casi todos presentan fustes largos y limpios, con las ramas situadas al extremo superior de los troncos. Las copas son redondeadas y ampliamente piramidales y son muy frecuentes los contrafuertes bien desarrollados (Rzedowski, 1991).

En el estratos medio e inferior se encuentran árboles de 12 a 15 m, con especies como *Beilschmiedia hondurensis*, *Compsonera sprucei*, *Cymbopetalum mayanum*, *Guarea glabra*, *Guarea grandifolia*, *Hirtella racemosa*, *Licaria peckii*, *Orthion subsessile*, *Pouteria durlandii*, *Quararibea funebris*, *Rheedia intermedia*, *Stemmadenia donnell-smithii*, *Tabernaemontana spp.* y *Zuelania guidonia*. El tercer estrato se encuentra entre los 5 y 12 m con *Rinorea guatemalensis*, *Quararibea funebris*, *Guarea spp.* y los géneros de palmas como *Astrocaryum spp.* *Cryosophila spp.* y *Chamaedorea spp.*

#### Selva Baja Caducifolia:

Es una formación vegetal que se caracteriza por presentar árboles caducifolios y subcaducifolios en época de sequía. Al comienzo de la temporada de lluvias lo que parecía un semidesierto, se convierte con la lluvia en una selva exuberante (Rzedowski, 1991). Se encuentra en los climas subtropicales secos principalmente en la Depresión Central, Planicie Costera del Pacífico y en las colinas bajas de la Sierra Madre de Chiapas (Breedlove, 1981). El dosel alcanza de 10 a 20 m de altura y tiene un sotobosque que se asemeja a matorral. Los árboles más frecuentes son: *Annona spp.*, *Bucida macrostachya*, *Bursera excelsa*, *Bursera simaruba*, *Calycophyllum candidissimum*, *Cecropia peltata*, *Cedrela oaxacensis*, *Ceiba aesculifolia*, *Cochlospermum vitifolium*, *Cordia alliodora*, *Hauya elegans*, *Plumeria rubra* y *Tabebuia chrysantha*. Existen cientos de especies de plantas herbáceas que en época de lluvia cubren el terreno hasta 1-2 m de altura (Breedlove, 1981).

#### Vegetación Secundaria derivada de Bosques Templados:

En la región de Montañas del Norte, Altos y las Montañas de la Sierra Madre de Chiapas existen aún extensas superficies cubiertas de vegetación con bosques maduros de Pino-Encino, Encino y Bosque Mesófilo de Montaña que han sufrido severos cambios por el patrón de uso del suelo. Estos bosques se han transformado en áreas con vegetación secundaria, que incluyen bosques de pino-encino-liquidambar, bosques de pino-encino y bosques de pino (Breedlove, 1981). Las principales especies pioneras en bosques secundarios derivados de bosque de coníferas son: *Baccharis vaccinioides*, *Calliandra spp.*, *Lantana spp.*, *Tithonia spp.*, *Vernonia spp.*, *Rubus spp.*, *Moninna xalapensis*, *Solanum spp.* y algunas especies arbóreas como *Quercus spp.*, *Alnus acuminata*, *Liquidambar*, *Cornus disciflora*, *Acacia angustissima*, *Carpinus caroliniana*, *Oreopanax xalapensis*, *Ostrya virginiana*, *Rhamnus capreaefolia*, *Saurauia spp.*, *Crataegus pubescens*, *Myrica cerifera*,

*Prunus serotina*, *Buddleia spp.* y prácticamente todas las especies de *Pinus* (Rzedowski, 1991).

#### Vegetación Secundaria Arbórea derivada de Selvas Húmedas:

Esta vegetación es muy variable en composición florística y depende principalmente del tipo de bosque tropical y subtropical y grado de disturbio del mismo. En la Selva Lacandona se presenta la mayor superficie del estado, cubierta por diferentes tipos de selvas y la vegetación secundaria se caracteriza por ser un mosaico de vegetación con diferentes series sucesionales. Las especies pioneras en estas etapas son: *Cecropia obtusifolia*, *Dalbergia glabra*, *Guazuma ulmifolia*, *Heliocarpus spp.*, *Muntigia calabura*, *Ochroma pyramidale*, *Schizolobium parahybum*, *Senna atomaria*, *Trema micrantha* y *Trichospermum spp.*, entre otras.

#### Matorrales o Chaparral de Encinos:

Esta vegetación se encuentra en la Meseta de Comitán y al este de Las Margaritas, sobre una altitud de 1500-1800 m. Está compuesta por arbustos con alturas entre 2 a 4 m.; las especies dominantes son: *Quercus sebifera*, *Rhus schiedeana*, *Bursera bipinnata*, *Xylosma flexuosum*, *Ilex discolor*, *Ternstroemia tepezapote*, *Acacia spp.*, *Agave ghiesbreghtii*, *Ficus spp.*, las cuales crecen sobre sustratos calizos. En la actualidad estas áreas son utilizadas para ganadería extensiva (Miranda, 1957).

#### Pastizales y Herbazales:

Los pastizales se encuentran de manera natural en las elevaciones altas de la Meseta Central y en el sur de la Sierra Madre de Chiapas, como extensas áreas de pastos amacollados. Entre las especies comunes están: *Briza rotundata*, *Bromus carinatus*, *Festuca amplissima*, *Muhlenbergia gigantea*, *Muhlenbergia macroura*, *Stipa spp.* y *Trisetum irazuense* (Breedlove, 1981).

#### Diversos tipos de vegetación (Palmar, Manglar, Sabanas, Tular y Popal):

Los palmares se encuentran a lo largo de las planicies de la parte superior de la Depresión Central y al sur de la Planicie Costera del Pacífico. Las palmas alcanzan de 24 a 40 m de altura. Las especies predominantes son: *Sabal mexicana*, *Attalea butyracea* y *Attalea preussii* (Miranda, 1957).

Las sabanas son pastizales naturales con pequeños árboles espaciados que por lo general no rebasan alturas mayores de 20 m. Los árboles presentes son: *Byrsonima crassifolia*, *Crescentia cujete*, *Crescentia alata* y *Curatella americana*. Las sabanas cubren grandes extensiones en las llanuras del norte del estado, en las de la Depresión Central y en la Planicie Costera del Pacífico (Miranda, 1957).

Los manglares se encuentran en toda la Costa Chiapaneca del Pacífico, abarcando varios kilómetros hacia la parte norte de esta región. La vegetación es uniforme y densa con árboles soportados por raíces zancudas, la altura que alcanzan es de 10 a 20 m. Las especies dominantes son: *Avicinnia germinans*, *Conocarpus erecta*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora samoensis* (Breedlove, 1981; Miranda, 1957).

El Tular y popal se encuentran cubriendo cuerpos de agua estancada, como lagos y lagunas en las cuencas cerradas de la Meseta Central y áreas templadas de la Sierra Madre. Las plantas comunes se encuentran *Carex spp.*, *Cladium jamaicense*, *Cyperus*, *Juncus spp.*, *Rhynchospora spp.*, *Scirpus californicus* y *Typha latifolia* (Breedlove, 1981).

### **A-III.- CONSTRUCCIÓN Y ASIGNACIÓN DE IDENTIFICADOR NUMÉRICO POR CELDA.**

Al área de estudio, se le creó una rejilla mediante la aplicación del comando "Create Fishnet" de ArcMap 8.2. Se activaron las opciones para construir un índice "x" y "y", que se registrará en la base de datos; posteriormente se adhirió un campo de texto al cual se le denominó "IDXY". En este se unificaron los índices "x" (columnas) y "y" (filas) en un solo índice, aplicando en "Calculate" la fórmula:

**[x-index].AsString+ "-" +[y-index].AsString**

No obstante para su posterior análisis, se decidió simplificar el "IDXY" en una sola clave numérica para lo que se generó un nuevo campo al que se le nombró "ID". Para la asignación de esta clave, se procedió a ordenar el índice "IDXY" y en base a este orden se asignó un número entre "1" y el "4745". Cada uno de estos números identificó a cada unidad de análisis que comprendió 100 ha.

## **A-IV.- PROCESAMIENTO DE LAS COBERTURAS CLIMÁTICAS GENERADAS EN BIOCLIM.**

A partir del MDT (Navarrete *et al.*, 2002), Bioclim (Téllez *et al.*, 2004) generó 19 coberturas digitales; a una resolución de 20 m según el MDT; en formato raster correspondientes a los parámetros especificados en el Cuadro 18. De estos se seleccionaron sólo los más representativos para el presente estudio, tomando en cuenta la revisión de los antecedentes del Cuadro 2.

Una vez seleccionados los parámetros a utilizar (Cuadro 4 y 18), se consideró que el formato de la información, hacia necesaria extraerla para cada unidad de análisis e integrarla a una matriz de análisis. Los procedimientos realizados para extraer la información se hicieron con ArcView 3.2 y activando las extensiones “Spatial Analyst” y “Grid Analyst”.

La cobertura digital del área de estudio se convirtió a formato raster, para aplicar la herramienta “Combine”, a esta cobertura y cada una de las coberturas seleccionadas de Bioclim. A partir de este procedimiento se obtuvieron coberturas temporales a partir de las cuales se exportó la tabla de información en formato “.dbf”.

Una vez exportada la base de datos, se procedió a unirla entre sí por el identificador de unidad de análisis (“ID”) mediante la herramienta “Joins” con la base de datos de la cobertura del área de estudio.

Considerando que el número de celdas con el mismo “ID” presentaban diferentes valores, se decidió trabajar con los promedios de los valores promedio, para cada parámetro por unidad de análisis, es decir por las celdas con el mismo “ID”. Para esto se emplearon las herramientas “Summarize” y “Calculate”. Cabe mencionar que se agregó el valor promedio de cada campo de atributos por cobertura temporal generada. La clave asignada a cada campo del atributo se observa en el Cuadro 19. A cada cobertura se le aplicó el mismo procedimiento, excepto para la de “Temperatura estacional” en la cual los valores presentaban decimales, razón por la que primero se multiplicó por 10,000 con “Map Calculator” y posteriormente se continuó con el mismo procedimiento antes citado. Sin

embargo, al final el campo del atributo correspondiente a este parámetro se le aplico una división entre 4 considerando el número de ceros que se agregaron en la multiplicación.

**Cuadro 18.- Parámetros generados en Bioclim. Se observan en negritas los parámetros seleccionados en base a la revisión de los antecedentes resumidos en el Cuadro 2.**

<b>CLAVE</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>SELECCIÓN</b>
<b>TPA</b>	<b>Temperatura promedio anual</b>	-*
<b>ODT</b>	<b>Oscilación diurna de la temperatura</b>	<b>X</b>
ISO	Isotermalidad	-
<b>TS</b>	<b>Estacionalidad de la temperatura</b>	<b>X</b>
<b>TMC</b>	<b>Temperatura máxima promedio del periodo más cálido</b>	<b>X</b>
TMF	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	-
ODA	Oscilación anual de la temperatura	-
TQW	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	-
<b>TQS</b>	<b>Temperatura promedio del cuatrimestre más seco</b>	<b>X</b>
<b>TQC</b>	<b>Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido</b>	<b>X</b>
TQF	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	-
<b>PAN</b>	<b>Precipitación anual de la temperatura</b>	<b>X</b>
PPW	Precipitación del periodo más lluvioso	-
PPS	Precipitación del periodo más seco	-
PES	Estacionalidad de la precipitación	-
PQW	Precipitación promedio del cuatrimestre más lluvioso	-
<b>PQS</b>	<b>Precipitación promedio del cuatrimestre más seco</b>	<b>X</b>
<b>PQC</b>	<b>Precipitación promedio del cuatrimestre más cálido</b>	<b>X</b>
PQF	Precipitación promedio del cuatrimestre más frío	-

*\*La temperatura media anual se incluyo dentro del procesamiento de las capas para extraer su información debido a que se empleo en la construcción de la cobertura de evapotranspiración.*

## **A-V.- CONSTRUCCIÓN DE LA COBERTURA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE TURC**

La cobertura digital de “Evapotranspiración real”, se calculó en base a la fórmula de Turc, diseñada para determinar la evapotranspiración real; representada por la fórmula:

$$\mathbf{ETR = P / \text{SQRT} (0.9 + (P^2/L^2))}$$

Donde:

**ETR:** evapotranspiración real en mm / año

**P:** precipitación en mm / año

**L:**  $300 + 25 t + 0.05 t^3$

**T:** temperatura media anual en C

Empleando las coberturas de: “Temperatura promedio anual” y “Precipitación promedio anual” generadas por Bioclim (Anexo A-IV), se generó la cobertura de “Evapotranspiración” en formato raster, aplicando la formula abajo citada a la herramienta “Map Calculator”.

$$\mathbf{[PAN]/(((([PAN]/(((([TPA].\text{Pow}(3))+0.05)+([TPA]*25))+300)).\text{Sqrt})+0.9).\text{Sqrt})}$$

Una vez construida la cobertura, se siguió el procedimiento antes citado para extraer la información para cada unidad de análisis, de igual forma se procesó con la cobertura del área experimental de estudio, mediante la herramienta “Combine” para aplicarle a la cobertura temporal un Join con la cobertura de la rejilla y rescatar los valores por “ID”. Los valores promedio de Evapotranspiración obtenidos para cada unidad de análisis, se agregaron como un campo nuevo con la clave “EVPT”.



## **A-VI.- PROCESAMIENTO DE LA COBERTURA DE INCENDIOS FORESTALES**

La cobertura de incendios forestales en el área de estudio proporcionada por la TNC, visualizaba digitalmente solo la georreferenciación de los mismos; razón por la que se decidió establecer “buffers” que representarán la distribución potencial del área siniestrada. Sin embargo, a fin de considerar las áreas expuestas a más de un incendio por año en la misma unidad de análisis, se construyeron buffers para cada año; cabe citar que todo el procedimiento realizado se hizo en ArcView 3.2.

Considerando que la base de datos contenía la información necesaria para llevar a cabo el procedimiento, se agregó un campo numérico llamado “ARI”. En el cual se convirtió la superficie incendiada a metros cuadrados, empleando el comando “Calculate”. Al campo “ARI”, se le calculó el radio con el área previamente trabajada, a fin de trazar un buffer circular introduciendo en “Calculate” la fórmula:

$$\mathbf{([\acute{a}rea\_m]/3.13159).Sqrt}$$

Con la extensión “Geoprocessing”, se crearon buffers para cada año a partir de la distancia del radio en metros cuadrados. Tomando en cuenta que no se disolvieran las barreras si se sobreponían otros buffers, conjuntando la información generada por año en un solo campo.

Del proceso anterior se obtuvieron mapas cuya tabla de atributos contenía solo el registro de información para ese año, por lo que cada cobertura se convirtió con ayuda de la extensión “Xtools” de multipartes a una sola (singlepart). Se recalculó el área del buffer para cada unidad de análisis y se agregó a cada base de datos un campo con el nombre del “año” que identificó el incendio según el año.

Creadas las coberturas de buffers para cada año se sumó con “Calculator” la información de las áreas incendiadas y el número de incendios registrados, por separado en un par de campos a los que se les nombró como “ARIF” (área incendiada) y “FRIF” (frecuencia de incendios).

## A-VII.- CLAVES ASIGNADAS A LOS ATRIBUTOS DE LAS VARIABLES

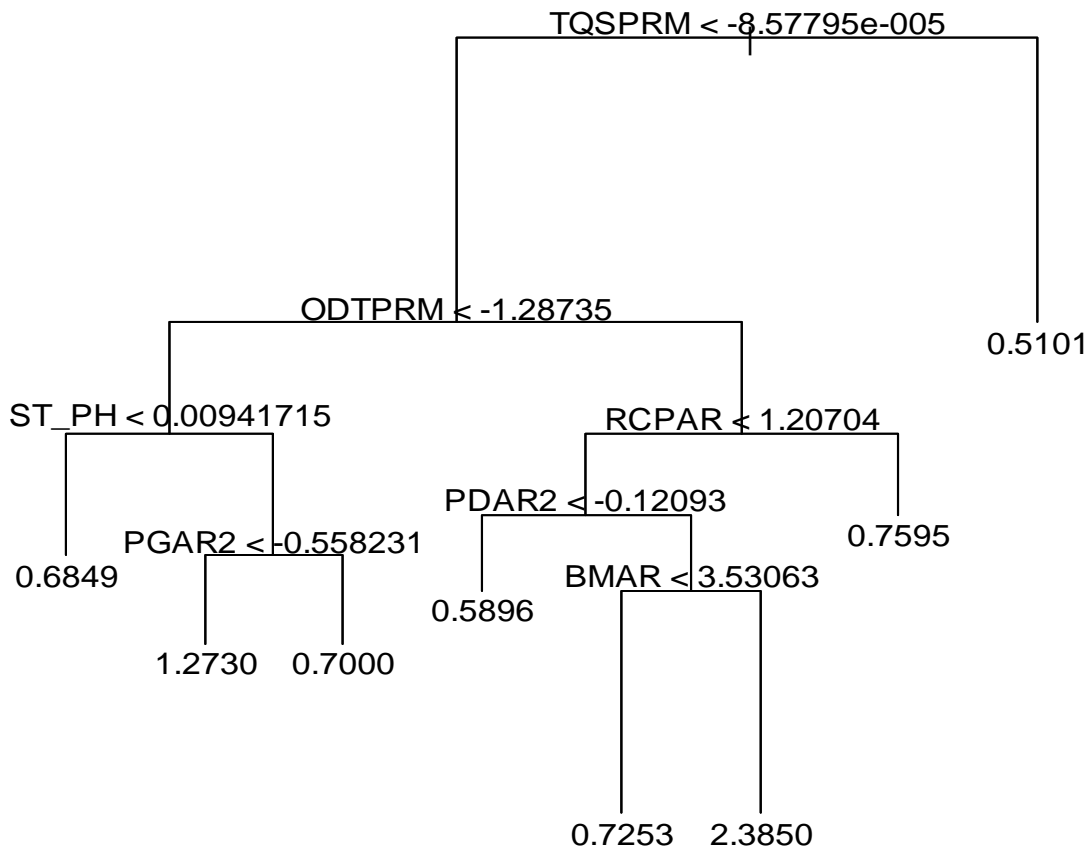
CLAVE	NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE	CLAVE	NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE
<b>ID</b>	identificador numérico único	<b>ELVAR19</b>	de 1900 msnm
<b>FRIF</b>	conteo total de incendios 95-05	<b>ELVAR20</b>	de 2000 msnm
<b>ARIF</b>	área total de incendios según conteo	<b>ELVAR21</b>	de 2100 msnm
<b>AERLG</b>	longitud aeropuerto local en operación	<b>ELVAR22</b>	de 2200 msnm
<b>CLLLG</b>	longitud calle	<b>ELVAR24</b>	de 2400 msnm
<b>PDLG</b>	longitud carretera pavimentada 2 carriles	<b>ELVAR25</b>	de 2500 msnm
<b>PCLG</b>	longitud carretera pavimentada 4 carriles	<b>ELVAR4</b>	de 400 msnm
<b>PPLG</b>	longitud carretera pavimentada en construcción	<b>ELVAR5</b>	de 500 msnm
<b>TDLG</b>	longitud terracería 2 carriles	<b>ELVAR6</b>	de 600 msnm
<b>TLG</b>	longitud terracería un carril	<b>ELVAR7</b>	de 700 msnm
<b>TPLG</b>	longitud terracería en construcción	<b>ELVAR8</b>	de 800 msnm
<b>VRLG</b>	longitud vereda	<b>ELVAR9</b>	de 900 msnm
<b>FLG</b>	longitud vía férrea	<b>ELVAR10</b>	de 1000 msnm
<b>SACRAR</b>	área suelo Acrisol	<b>ELVAR23</b>	de 2300 msnm
<b>SAWAR</b>	áreas suelo cuerpo de agua	<b>ELVAR11</b>	de 1100 msnm
<b>SCMAR</b>	área suelo cambisol	<b>ELVAR12</b>	de 1200 msnm
<b>SFVAR</b>	área suelo fluvisol	<b>ELVAR26</b>	de 2600 msnm
<b>SFZAR</b>	área suelo feozem	<b>ELVAR27</b>	de 2700 msnm
<b>SGYAR</b>	área suelo gleysol	<b>ELVAR28</b>	de 2937 msnm
<b>SLTAR</b>	área suelo litosol	<b>RIEAR</b>	área rocas ígneas extrusivas
<b>SLVAR</b>	área suelo luvisol	<b>RIIAR</b>	área rocas ígneas intrusivas
<b>SRGAR</b>	área suelo regosol	<b>RMAR</b>	área rocas metamórficas
<b>SSKAR</b>	área suelo solonchalk	<b>RSDAR</b>	área rocas sedimentarias
<b>SZBAR</b>	área suelo zona urbana	<b>RSUAR</b>	área rocas suelo
<b>ELVAR0</b>	de 0 msnm	<b>RDLG</b>	longitud corriente que desaparece ríos
<b>ELVAR1</b>	de 100 msnm	<b>CTLG</b>	longitud corriente perenne tributaria ríos
<b>ELVAR2</b>	de 200 msnm	<b>CPLG</b>	longitud corriente perenne ríos
<b>ELVAR13</b>	de 1300 msnm	<b>CILG</b>	longitud corriente intermitente ríos

<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE</b>	<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE</b>
<b>ELVAR14</b>	de 1400 msnm	<b>ASLG</b>	longitud acueducto subterráneo ríos
<b>ELVAR15</b>	de 1500 msnm	<b>LPAR</b>	área de laguna perenne lagos
<b>ELVAR16</b>	de 1600 msnm	<b>INAR</b>	área de zona sujeta a inundación lagos
<b>ELVAR17</b>	de 1700 msnm	<b>ST_PH</b>	suma de puntos de calor 2000-2008 diurnos y nocturnos imágenes AVHRR y MODIS
<b>ELOVAR3</b>	de 300 msnm	<b>ST_TTT</b>	suma de puntos de calor 2003-2008 diurnos y nocturnos solo imágenes MODIS
<b>ELVAR18</b>	de 1800 msnm	<b>PAGAR0</b>	área potencial agrícola 0
<b>MMAR</b>	área de bosque mesófilo de montaña	<b>PAGAR1</b>	área potencial agrícola 1
<b>PAGAR2</b>	área potencial agrícola 2	<b>MMSHAR</b>	área de bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
<b>PAGAR3</b>	área potencial agrícola 3	<b>MGAR</b>	área de manglar
<b>PAGAR4</b>	área potencial agrícola 4	<b>BPAR</b>	área de bosque de pino
<b>PAGAR5</b>	área potencial agrícola 5	<b>BPSHAR</b>	área de bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
<b>PDAR1</b>	de 0° a 3°	<b>BOAR</b>	área de bosque de oyamel (incluye ayarin y cedro)
<b>PDAR2</b>	de 3° a 8°	<b>BMAR</b>	área de bosque de pino-encino (incluye encino-pino)
<b>PDAR3</b>	de 8° a 30°	<b>BMSAR</b>	área de bosque de pino-encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria
<b>PDAR4</b>	de 30° a 78°	<b>BEAR</b>	área de bosque de encino
<b>PGAR0</b>	área potencial ganadero 0	<b>BESHAR</b>	área de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
<b>PGAR1</b>	área potencial ganadero 1	<b>ATAR</b>	área de agricultura temporal con cultivos anuales
<b>PGAR2</b>	área potencial ganadero 2	<b>ATPSAR</b>	área de agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes
<b>PGAR3</b>	área potencial ganadero 3	<b>ASHAR</b>	área de asentamiento humano
<b>PGAR4</b>	área potencial ganadero 4	<b>ARAR</b>	área de agricultura de riego (incluye riego eventual)
<b>PGAR5</b>	área potencial ganadero 5	<b>ZFLUAR</b>	área de zonificación influencia
<b>TFOAR</b>	área de la reserva de la biosfera el triunfo	<b>APECAR</b>	área de zonificación aprovechamiento sustentable del ecosistema
<b>ZNAR</b>	área zona núcleo	<b>APRNAS</b>	área zonificación aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE</b>	<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE DEL ATRIBUTO POR VARIABLE</b>
<b>ANGAR</b>	área zona núcleo angostura	<b>PUEAR</b>	área zonificación asentamientos humanos
<b>OVAR</b>	área zona núcleo ovando	<b>PRSAR</b>	área zonificación preservación
<b>QZTAR</b>	área zona núcleo quetzal	<b>PRTAR</b>	área zonificación protección
<b>TRIFAR</b>	área zona núcleo triunfo	<b>RCPAR</b>	área zonificación recuperación
<b>VDOAR</b>	área zona núcleo venado	<b>UPBAR</b>	área zonificación uso público
<b>CTLC</b>	conteo de localidades	<b>URSTAR</b>	área zonificación uso restringido
<b>PBT</b>	población total por localidades	<b>ODTPRM</b>	promedio oscilación diurna de la temperatura
<b>WBAR</b>	área de cuerpo de agua	<b>ESTPRM</b>	promedio de estacionalidad de la temperatura
<b>ZIAR</b>	área de pastizal inducido	<b>PROMPAN</b>	promedio de la precipitación anual
<b>ZCAR</b>	área de pastizal cultivado	<b>PQCPRM</b>	promedio de precipitación promedio de trimestre más cálido
<b>SPAR</b>	selva alta y mediana perennifolia	<b>PQDPRM</b>	promedio de precipitación promedio de trimestre más seco
<b>SPSHAR</b>	área de selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	<b>TMCPRM</b>	promedio de temperatura máxima promedio del periodo más cálido
<b>SESHAR</b>	área de selva baja espinosa con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	<b>TQCPRM</b>	promedio de la temperatura promedio del trimestre más cálido
<b>SCSHAR</b>	área de selva mediana caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	<b>TQSPRM</b>	promedio de temperatura promedio del trimestre más seco
<b>PTAR</b>	área de popal tular	<b>EVPT</b>	mm de evapotranspiración de Turc calculada

## A-VIII.- MODELOS DE ÁRBOL DE REGRESIÓN

Figura 20.- MODELO A (Frecuencias)



- 1) root 4745 395.700 0.5772
- 2) TQSPRM < -8.57795e-005 2675 358.400 0.6291
- 4) ODTPRM < -1.28735 300 71.680 0.7666
- 8) **ST\_PH < 0.00941715 234 44.000 0.6849 \***
- 9) ST\_PH > 0.00941715 66 20.590 1.0560
- 18) **PGAR2 < -0.558231 41 11.480 1.2730 \***
- 19) **PGAR2 > -0.558231 25 4.000 0.7000 \***
- 5) ODTPRM > -1.28735 2375 280.300 0.6117
- 10) RCPAR < 1.20704 2177 234.000 0.5983
- 20) **PDAR2 < -0.12093 2099 192.100 0.5896 \***
- 21) PDAR2 > -0.12093 78 37.420 0.8318
- 42) **BMAR < 3.53063 73 16.290 0.7253 \***
- 43) **BMAR > 3.53063 5 8.226 2.3850 \***
- 11) RCPAR > 1.20704 198 41.660 0.7595 \*
- 3) TQSPRM > -8.57795e-005 2070 20.790 0.5101 \*

**TQSPRM:** promedio de temperatura máxima promedio del periodo más seco

**ODTPRM:** promedio oscilación diaria de la temperatura

**ST\_PH:** suma de puntos de calor 2000-2008 diurnos y nocturnos imágenes AVHRR y MODIS

**PGAR2:** área potencial ganadero 2

**RCPAR:** área zonificación recuperación

**PDAR2:** de 3° a 8°

**BMAR:** área de bosque de pino-encino (incluye encino-pino)

**Figura 21.- MODELO B (Áreas)**

**SLTAR:** área suelo litosol  
**PGAR1:** área potencial ganadero 1

**BPAR:** área de bosque de pino  
**MMAR:** área de bosque mesófilo de montaña  
**PAGAR2:** área potencial agrícola 2  
**PQCPRM:** promedio de precipitación promedio de cuatrimestre más cálido

- 1) root 4745 89510000 31.17
- 2) BPAR < 2.83931 4478 60980000 24.26
- 4) **MMAR < -0.470042 3375 22630000 13.12 \***
- 5) MMAR > -0.470042 1103 36650000 58.35
- 10) **PAGAR2 < 2.60131 1098 34510000 56.20 \***
- 11) **PAGAR2 > 2.60131 5 1018000 530.10 \***
- 3) BPAR > 2.83931 267 24720000 147.20
- 6) PQCPRM < 0.883755 227 13520000 96.95
- 12) **SLTAR < -0.524888 201 7584000 63.03 \***
- 13) SLTAR > -0.524888 26 3915000 359.20
- 26) **PAGAR2 < -0.528659 17 1425000 182.80 \***
- 27) **PAGAR2 > -0.528659 9 961600 692.40 \***
- 7) PQCPRM > 0.883755 40 7381000 432.00
- 14) **PGAR1 < 2.00725 23 1922000 156.30 \***
- 15) **PGAR1 > 2.00725 17 1343000 805.20**

