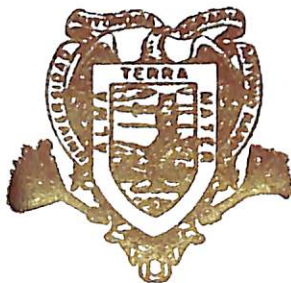


RIESGOS POTENCIALES PARA LA PROTECCION
CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN COAHUILA

ANDRES NAJERA DIAZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES



Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

DICIEMBRE DE 2002



13783

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

RIESGOS POTENCIALES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA
INCENDIOS FORESTALES EN COAHUILA

TESIS

POR

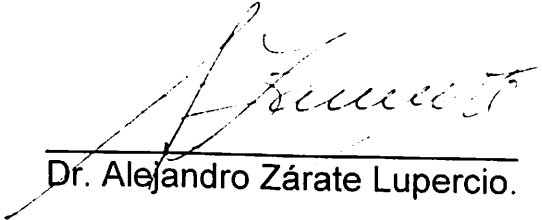
ANDRÉS NÁJERA DÍAZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada como requisito parcial para optar al grado de:


MESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

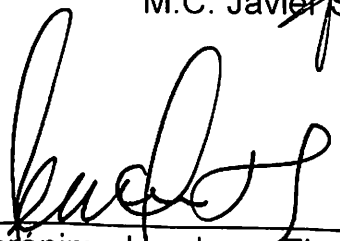

Dr. Alejandro Zárate Lupercio.

Asesor:


Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga

Asesor:


M.C. Javier Santillán Pérez


Dr. Jerónimo Landeres Flores
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2002

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres:

Julia Díaz de Nájera y Dionisio Nájera Morales

Por el ejemplo brindado, por alentarme a la superación y por la entrega de una gran parte de sus vidas para ello.

A mi esposa:

Adriana Josefina Martínez Mendoza

Con amor y agradecimiento por su ayuda incondicional brindada en todo momento y su dedicación a nuestros hijos.

A mis hijos:

Amílcar André, Adriana Melissa y Aníbal Orlando

Con alegría y por que constituyen una fuente importante de motivación en el logro de metas.

A mis Hermanas:

Natalia y Luciana.

Quienes en todo momento apoyaron ésta y otras iniciativas familiares.

A la Cofradía de la C. P.

A los evidentes combatientes de incendios forestales de América.

AGRADECIMIENTOS

AL DR. Alejandro Zárate Lupercio por sus valiosas sugerencias, motivación, apoyo y asesoría brindada durante el desarrollo del presente trabajo. Así como por compartir sus amplios conocimientos en materias afines a la investigación.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga por sus enseñanzas y atinadas sugerencias para la revisión e integración de este documento.

Al M.C. Javier Santillán Pérez por su apoyo, orientación y sugerencias en la revisión del trabajo.

Al Ing. Rodolfo Gaytán Martínez por su apoyo y colaboración en la realización del trabajo.

A mis maestros por sus conocimientos y por su apoyo en mi formación.

Al Departamento Forestal por ser el marco para la realización de la maestría.

Al C. Amílcar André por su esfuerzo y colaboración en la preparación y realización de las quemadas.

A todas aquellas personas que colaboraron en la realización del trabajo.

COMPENDIO

Riesgos Potenciales para la Protección contra
Incendios Forestales en Coahuila

POR

ANDRÉS NÁJERA DÍAZ

MAESTRÍA

CIENCIAS FORESTALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE 2002.

Dr. Alejandro Zárate Lupercio - Asesor

Palabras claves: Peligro, Índice, Incendio forestal, Siniestro, Velocidad de propagación, Manejo del fuego.

En México año con año el gobierno federal, estatal y municipal, realizan acciones dentro de la campaña de prevención y combate de los incendios forestales, demandando presupuesto suficiente, oportuno y flexible; proyectando dichas acciones para evitar el fuego en los bosques, su detección y combate, sin tomar en cuenta que el fuego forma parte integral de este

planeta. La prevención no debe pretender que una determinada área forestal sea inmune al incendio, sino más bien se trata de controlar el comportamiento del fuego, los efectos del mismo y el costo de su extinción. La importancia de la prevención, como señala Vega (1988), significa ver al fenómeno del fuego desde una perspectiva global porque abarca aspectos sociales, legales, técnicos y biológicos que permiten una visión más completa del incendio forestal.

Los índices de peligro, en muchos países se emplean con diversos fines: tales como organizar el control y extinción, conociendo la magnitud del incendio; para calcular la intensidad del ataque inicial; para estimar el riesgo de incendio y actuar sobre las causas posibles; como base para avisos al público y para delimitación de áreas forestales; para conceder o cancelar permisos de quema; para planear quemas controladas. Finalmente, los índices de peligro, correlacionados con el número de incendios, permiten evaluar el éxito de las diferentes fases de un programa de protección contra incendios forestales.

El estado de Coahuila, fue seleccionado por presentar un problema significativo en materia de incendios forestales, presentando de manera periódica eventos relevantes que han afectado directamente sus recursos naturales, eventos que han requerido de la asignación de apoyos especiales para su atención, combate y extinción.

Por lo anterior, el presente trabajo realizó el establecimiento de áreas con índices de peligro de incendio forestal con base a factores del medio y la frecuencia histórica de los incendios en el estado. Asimismo se elaboró una propuesta para determinar índices de peligro con base en la velocidad de propagación del fuego en pastizal- matorral.

Para el primer caso: se trabajo con información del ordenamiento ecológico del estado de Coahuila y se consideraron factores del medio, que a su vez tienen influencia en el comportamiento del fuego, tal como los tipos de vegetación, tamaños de combustibles, los factores topográficos de pendiente y orientación, el potencial forestal, usos del suelo y frecuencia histórica de los incendios forestales durante el periodo de 1993 a 2002. Estableciéndose cinco clases y rangos de los seis primeros parámetros de clasificación. Con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica y en el programa Idrisi y con la opción Reclass se realizó la clasificación de los mapas, donde se definieron los límites y valores de cada clase del factor considerado a intervalos. Una vez generados los seis mapas temáticos de las clases, se aplicó la operación Weight, que se utiliza para establecer una serie de pesos comparativos para un grupo de factores en una evaluación de criterio múltiple.

Para darle la importancia y la razón de peso a las variables consideradas, se tomaron en cuenta los aspectos que influyen en el comportamiento del fuego, una vez que se origina la ignición; se da prioridad a los factores más estables

del comportamiento para establecer los niveles de peligro de incendio, quedando ordenados de la siguiente manera: tipos de vegetación (0.3764), tamaños de combustibles (0.2617), pendientes (0.1916), orientación (0.0928), potencial forestal (0.0516) y usos del suelo (0.0259). Con lo cual se generó un mapa considerando los seis primeros factores del medio con sus respectivas clases; que al combinarse el mapa de los polígonos de clasificación por ocurrencia y categoría de riesgo por medio del cruce tabulado de los mapas, fue obtenida la modulación de los factores del medio con los polígonos de ocurrencia, resultando los grados de peligro de incendio forestal: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo para el estado de Coahuila.

Para el segundo caso: en terrenos de la Universidad Agraria se estableció una parcela experimental 2 metros X 10 metros, donde se moduló el tipo de combustible de pastizal- matorral para la realización de 17 quemas controladas, tomando lecturas de las variables: velocidad del viento (V.V), temperatura ambiente (T), humedad relativa (H.R.), humedad del combustible (H.C.) y la velocidad de propagación (V.P.), este último como indicador del peligro de incendio forestal.

Los datos fueron tomados a las 13:00 horas, la información se codificó y se grabó para su análisis.

La selección de la mejor variable se hizo en base al coeficiente de determinación (R^2).

El procesamiento de los datos se realizó con el paquete de computo S-plus. El modelo seleccionado por el procedimiento stepwise y en base al Cp Mallows, tomó las variables simples, que determina la relación de la variable y la velocidad de propagación. Asimismo, se realizó el argumento de diagnóstico del modelo lineal.

Quedando finalmente la ecuación de predicción representada por la siguiente expresión:

$$V.P. = 7.8319 - 0.3966 H.C.$$

Donde:

V.P. = Velocidad de propagación

H.C. = Humedad del combustible

Ecuación que presentó un valor de $r^2 = 0.7166$

Para la primera parte y de acuerdo con los resultados podemos decir: que empleando la metodología es posible tener una clasificación y posición de diferentes áreas con riesgo de incendio en una entidad.

Se establecieron seis niveles de índice de riesgo de incendio forestal.

Se lograron definir áreas con índice de riesgo extremo y muy alto, por superficie, que requieren atención inicial efectiva y de diagnóstico ecológico del fuego para reducir impacto a los recursos.

Las áreas de extrema y muy alta condición, por sus características de vegetación, combustibles, pendiente, exposición, de causas que originan los siniestros y por incluir áreas protegidas, constituyen una prioridad por los recursos amenazados.

El nivel peligro sigue la tendencia a la alza, por las características propias del Estado, en cuanto a topografía accidentada, gran acumulación de combustibles, inaccesibilidad, largas distancias a los centros de población, que sumado a la falta de una red de radiocomunicación y los frecuentes periodos de sequía establecen condiciones propicias para los incendios, aun en bosques húmedos.

Las regiones de extremo y muy alto nivel, presentan la posibilidad de atención acorde a un plan real de manejo del fuego, son las zonas que incluyen las áreas naturales protegidas de Maderas del Carmen, Valle de Cuatrociénegas y sierra Zapalinamé, por contar dichas áreas con sus propios planes de manejo.

Es urgente la necesidad de establecer acciones de manejo de combustibles en las diferentes áreas de riesgo, dando prioridad a la zona norte y sur del

Estado, haciendo el diagnóstico de las bases ecológicas requerida para un manejo integral del fuego.

Para la segunda etapa, se puede decir:

Considerando la revisión bibliográfica, el establecimiento de otras escalas de peligro de incendio y los resultados del presente trabajo, se determinó utilizar una escala de tres grados, tomando en cuenta los valores máximos y mínimos de la variable evaluada; quedando los valores:

Escala de índice de peligro de incendios.

Clase	Grado de peligro	Índice de peligro	Color asociado
I	Bajo	menos de 3.4415	Azul
II	Moderado	3.4415 a 7.0307	Amarillo
III	Alto	7.0307 a mayor	Rojo

Los factores de las condiciones meteorológicas y la humedad del combustible tienen una gran influencia en la velocidad de propagación del fuego.

Con la estimación de la velocidad de propagación, después de iniciado el fuego, se puede tener una idea del comportamiento esperado del fuego y del nivel de peligro que se tiene. La metodología debe aplicarse a otras regiones forestales mediante adaptaciones y el desarrollo de nuevas ecuaciones.

La metodología es sencilla y práctica que se puede realizar modulando diferentes tipos de combustibles, debiendo considerar un tamaño mayor de parcela para garantizar el completo desarrollo de la dinámica del fuego y con un número mayor de ensayos durante todo el año.

En estas condiciones, la ecuación de predicción y sus resultados, son una base segura para velocidades de propagación del fuego en la realización quemas prescritas en material combustible de pastizal- matorral.

Como resultado de la modulación de entre grados de riesgo con los índices de peligro, se establecen índices de alerta: moderado, alto y muy alto; lo que permite contar en Coahuila con un sistema de alerta basado en factores del medio físico y la humedad del combustible de pastizal- matorral, base para la toma de decisiones, así como, para mantener preparadas las brigadas y equipos de extinción de los incendios a fin de reducir los tiempos de eficiencia y con ello la superficie afectada.

ABSTRACT

Potentials Risks for the Protection against
Forest Fire in Coahuila

By

ANDRÉS NÁJERA DÍAZ

MASTER IN SCIENCES

FOREST SCIENCES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER 2002

Dr. Alejandro Zárate Lupercio

-Adviser-

Keys words: Danger, Index, Forest fire, Damage, Rate of spread,
Fire management.

Every year in Mexico, state and municipal government, carry out actions with a campaign of prevention and combat of the forests fire, demanding enough, opportune and flexible budget; projecting actions to avoid fire in the forests, its

detection and combat, without considering that the fire is an integral part of this planet. The fire prevention should not pretend that a determined forest area would be immune to the fire, but rather trying to control the fire behavior, the effects of the same and the cost for its extinguishment. The importance of the prevention, according to Vega (1988), means to see the fire phenomenon from a global perspective because it undertakes social, legal, technical and biological aspects that permit a global vision of the forest fire.

The indexes of danger, in many countries, are employed with diverse goal: To organize the control and extinguishment, to know about the magnitude of the fire; to calculate the intensity of the initial attack; to estimate the risk of forest fire and to act on the possible causes; as a base for preventing people and for the delimitation of forests areas; to concede or cancel permissions for burning; in order to plan controlled burns. Finally, the indexes of danger, relate to the number of blazes, allow to evaluate the success of the several phases of a program of protection against forest fire.

The state of Coahuila, was selected because due to it presents a significant problem in matter of forests fire, presenting outstanding periodic events that have affected their natural resources directly, events that have required the assignment of special resources for their attention, combat and extinguishment.

For the above, the present work established the areas with indexes of danger of forest fire based on environmental factor and the historic frequency of the fire in the state. Also a proposal was elaborated in order to determine indexes of danger based on the rate of spreading of the fire in grass- shrub.

For the first case: it involved information of the ecological arrangement of the state of Coahuila and it that considered environmental factors, that have influence in the fire behavior, as types of vegetation, sizes of fuels, the topographical factors of slope and orientation, the forest potential, uses of the floor and historic frequency of the forest fires during the period of 1993 to 2002, establishing five classes and ranges of the six first parameters of classification. With the support of the Systems of Geographical Information and the Idrisi program, and the option Reclass, the maps were classified, the limits and security of each class of factor considered to intervals were defined. Once the six thematic maps of the classes, were generated, the Weight operation, was utilized in order to establish a series of relative weight for a group of factors in an multiple-criterion evaluation.

For the assignment of the importance and weight of the considere variables, the looks that aspects influence the fire behavior were considered once that ignitionis originated providing priority to the stable factors of the behavior in order to establish the levels of danger of fire, in the following manner: types of vegetation (0.3764), sizes of fuels (0.2617), slopes (0.1916), orientation

(0.0928), forest potential (0.0516) and uses of the soil (0.0259). With was generated a map considering the six first factors of the medium with their respective classes; by combining the map of the polygons of classified by occurrence and category of risk by means of the crossroad of the maps the modulation of the factors of the medium with the polygons of occurrence was gotten, resulting the grades of danger of forest fire: very low, low, moderate, high, very high and extreme for the state of Coahuila.

For the second case: in the lands of the Universidad Agraria an experimental parcel 2 meter X 10 meter was set up, the type of fuel of grass- shub was modulated for the realization of 17 controlled burns, acquiring data as follows: speed of the wind (V.V), environmental temperature (T), comparative humidity (H.R.), humidity of the fuel (H.C.) and the rate of spreading (V.P.), this last one as an indicator of danger of forest fire.

The data were taken at 13:00 hours, the information was coded and it was recorded for its analysis.

The selection of the best variable was done in base on the (R^2).

The prosecution of the data was carried out with the package of compute S-plus.

The was selected model by the stepwise procedure based on the Cp Mallows,

taking the simple variables, that determine the relationship of the variable and the rate of spreading. Also, an the argument of diagnosis of the lineal model was done performed.

The equation of prediction was finally represented as follows:

$$V.P.= 7.8319- 0.3966 H.C.$$

Where:

V.P.= Rate of spread

H.C.= Humidity of the fuel

Equation that presented a value of $r^2 = 0.7166$

For the first part and in accordance with the results it can be said:

that through the employment of the methodology, it is possible to have a classification and position of areas with different risk of forest fire in a place.

Six levels of index of risk of forest fire, were established.

Succeeded in defining areas with index of extreme and very high watering, that require initial effective attention and of ecological diagnosis of the fire in order to reduce impact to the resources were defined. The areas of extreme and very

high condition for their characteristics of vegetation, fuels, slope, exposition, of causes that originate the damages and by including guarded areas, constitute a priority for the threatened resources.

The level of danger has an increasing tendency, and according to the characteristics of the State, uneven topography, great accumulation of fuels, inaccessibility, long distances to centers of population, the lack of a radiocomunication net of and the frequent periods of drought establish favorable conditions for the blazes, even in humid forests.

The regions of extreme and very high level that present the possibility of in agreement attention based on real plan of fire management, are the zones that include the natural guarded areas of Maderas del Carmen, Cuatrociénegas Valley and Zapalinamé Mountain, by whivh have their own plans of management.

It is urgent the necessity of establishing actions of fuels management in several risk areas, giving priority to the north zone and south of the State, by making a diagnosis of the ecological bases required for an integral management of the fire.

For the second stage, it could be said they:

Considering the revisión bibliography, the established in other scales of risk

danger of fire and the results of the present work, it was determined to use a scale of three grades, considering the maximal and minimum values of the evaluated variable; remaining the following values:

Scale of index of danger of fire

Class	Grade of danger	Index of danger	Associate color
I	Low	less of 3.4495	Blue
II	Moderate	3.4495 to 7.0387	Yellow
III	High	7.0387 to senior	Red

The factors of the meteorological conditions and the humidity of the fuel have a great influence in the rate of spread of fire.

With the estimate of the rate of spread, after beginning the fire, one could have an idea of the fire behavior expected and of the level of danger. The methodology should be applied to other forests regions though of adaptations and the development of new equations.

The methodology is simple and practical that it could be applied carried out by modulating several types of fuels, considering a greater size of parcel in order to guarantee the complete development from the dynamic of the fire and with a greater number of rehearsals during all year.

In these conditions, the equation of prediction and their outputs, are a reliable base for rate of spread of the fire in the realization of prescribed burn in combustible material of grass- shrub.

INDICE DE CONTENIDO

Página	
Índice de Cuadros	xxiii
Índice de Figuras	xxv
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
El fuego como disturbio natural	4
Índice de peligro de incendios forestales	11
Conceptos de peligro e índice de peligro	11
Clases de peligro de incendio y color de código	12
Índices de peligro de incendio forestal en el mundo	17
Índice de peligro de incendio forestal en Norteamérica	19
Índice de peligro de incendio forestal en Canadá	24
Índice de peligro de incendio forestal en España	27
Otros índices utilizados	33
Índice de Nesterov	33
Índice Higrotérmico	34
Índices de peligro en México	35
Sistemas de Información Geográfica	44
Utilización de los sistemas de información geográfica	46
MATERIALES Y MÉTODOS	49
Descripción del área de estudio	49
Situación geográfica	49
Vías de comunicación	52
Clima	52
Geología	63
Vegetación	67
Tipos de vegetación	71
Potencial forestal	88
Esquema metodológico	92
Metodología	92
Primer etapa	92
Segunda etapa.....	120
Materiales	120
Área experimental	122
Toma y recopilación de datos	124
Procesamiento de datos	125

Página

Procedimiento de selección de la variable para determinar el modelo	127
Escala de índice de peligro de incendio	128
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	130
Primer etapa	130
Segunda etapa	136
Determinación de la ecuación de regresión	136
Ecuación de predicción	140
Construcción de índices de peligro	140
Método de cálculo	146
Sistema de alerta	147
Descripción e indicaciones del sistema de alerta	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
RESUMEN	154
LITERATURA CITADA	160

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
2.1	Probabilidad de ignición	30
2.2	Índice de alerta	31
2.3	Restricciones del índice de Nesterov según la precipitación	34
2.4	Escala de peligro de incendio forestal para Tlahuapan, Puebla	36
2.5	Índice de peligro de incendio forestal con base en la cuantificación de material combustible muerto	40
2.6	Índice de peligro de incendio forestal propuesto por Santillán	41
2.7	Índice de peligro de incendio forestal para la República Mexicana	42
2.8	Escala de índice de peligro de incendio forestal, usando la humedad de la probeta de <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus montezumae</i>	43
3.1	Municipios de Coahuila por ocupación territorial	50
3.2	Unidades geológicas de Coahuila	63
3.3	Tipos de vegetación y usos del suelo	72
3.4	Zonificación del potencial forestal	88
3.5	Modulación de factores del medio con Polígonos de frecuencia	118

3.6	Registro de datos de campo de las variables	125
3.6	Modulación de grados de riesgo con índices de peligro de incendio forestal	129
4.1	Frecuencia de incendios forestales del periodo 1993 a 2002 en Coahuila	133
4.2	Análisis de varianza, coeficiente de regresión y selección de la ecuación	138
4.3	Escala de índice de peligro de incendio	143
4.4	Sistema de alerta de incendio forestal	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
2.1	Estructura del Sistema de Monitoreo de Peligro de incendios forestales para E.U.A.	21
2.2	Estructura del peligro de incendios forestales Canadiense	25
2.3	Estructura básica para la evaluación del grado de peligro de incendio forestal en España	28
3.1	División política de Coahuila de Zaragoza	51
3.2	Vías de comunicación de Coahuila	53
3.3	Climas de Coahuila	55
3.4	Tipos de vegetación y usos del suelo de Coahuila	69
3.5	Potencial forestal de Coahuila	91
3.6	Tipos de vegetación y sus categorías por clases de riesgo	97
3.7	Uso del suelo y sus categorías por clases de riesgo	99
3.8	Potencial forestal y sus categorías por clases de riesgo	101
3.9	Tamaño de combustibles y sus categorías por clases de riesgo	105
3.10	Rangos de pendientes y sus categorías por clases de riesgo	107
3.11	Orientación topográfica y sus categorías por clases de riesgos	109

3.12	Polígonos de frecuencia histórica de incendios Forestales en Coahuila	110
3.13	Combinación de factores del medio	117
3.14	Clasificación y ubicación de áreas de riesgo de incendio forestal	119
4.1	Diagramas de dispersión de las variables	137
4.2	Diagrama de dispersión de la variable humedad del combustible y la velocidad de propagación	141
4.3	Ecuación de predicción	142
4.4	Bandas de confianza al 95%	144
4.5	Nomograma para determinar el grado de peligro de Incendios utilizando la humedad del combustible	145

INTRODUCCIÓN

Mucho antes de que los primeros vegetales colonizaran la superficie terrestre, el fuego ya estaba presente, lo que ocasionó tiempo después, que los vegetales, animales, el fuego y otros factores de disturbio interactuarán originando que muchas de las especies y en los diferentes tiempos, respondieran, se adaptarán, evolucionarán o fracasarán al nivel de extinguirse. La presencia del fuego era de manera natural, así mismo su control y extinción.

En el momento que el hombre descubre y utiliza el fuego, es cuando la presencia de este último deja de ser únicamente natural y se manifiesta como un elemento de disturbio inducido, afectando en diversos grados los diferentes ecosistemas.

En México, actualmente los factores que degradan e inciden en el proceso de deforestación de diferentes ecosistemas, son principalmente los desmontes y los incendios forestales, que a opinión de expertos, le siguen la falta de una adecuada política forestal, legislación y administración, así como el desempleo y la carencia de alternativas para la población que vive cerca y en las zonas forestales.

Año con año el gobierno federal, estatal y municipal, realizan acciones dentro de la campaña de prevención y combate de los incendios forestales, demandando presupuesto suficiente, oportuno y flexible; encaminando dichas acciones a evitar el fuego en los bosques, su detección y combate, sin tomar en cuenta que el fuego forma parte integrante de este planeta y que necesariamente tenemos que aprender a vivir con él.

Por lo anterior, técnicamente se debe prevenir, no evitando o excluyendo el fuego, sino más bien manejando de manera prescrita el factor y justificando su presencia en aquellos ecosistemas que requieren de él para subsistir; diferenciando las acciones de atención para los incendios de origen natural y los causados por el hombre, acompañado por un programa constante y continuo de información hacia la sociedad sobre el control y uso del fuego en el bosque.

La necesidad de aportar bases técnicas y la importancia de establecer un Sistema Nacional de Índices de Peligro de incendio forestal, el cual será el componente principal en los programas de prevención, programa de quemas prescritas y movilización de la supresión en el manejo del fuego en los diferentes ecosistemas vegetales; por ello, el presente trabajo se establece a nivel de propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal para pastizal- matorral en Coahuila, México.

Objetivo general

Presentar información básica útil de riesgo e índice de peligro de incendio forestal, para la protección de incendios forestales en el estado de Coahuila, México.

Objetivos específicos

Establecer mapas con áreas de riesgo de incendio forestal, en base a los tipos de vegetación, uso del suelo, potencial forestal, tamaño de combustibles, pendientes, exposición y ocurrencia histórica de incendios forestales, para el estado de Coahuila, México.

Elaborar una propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal para pastizal- matorral en Coahuila.

Hipótesis

Los factores, de combustibles, topográficos y condiciones atmosféricas tienen efectos diferenciales en la determinación del comportamiento del fuego en el área de estudio.

REVISIÓN DE LITERATURA

El fuego como disturbio natural

El incendio siempre ha sido un factor natural muy importante para la configuración del medio ambiente. Presenta una influencia fundamental tanto sobre las características de las especies y la historia vital como sobre las características y procesos del ecosistema, ciclo del carbono, agua, nutrientes, productividad, serie y diversidad. Específicamente, los incendios pueden ser claramente determinantes en los ecosistemas dependientes de los mismos en todo el mundo (Wright y Heinselman, 1973).

Spurr y Barnes (1982), señalan que por medio de las depresiones selectivas de los incendios recurrentes se diferenciaban determinadas características adaptativas de los bosques y arbustos forestales, particularmente en respuesta a la frecuencia e intensidad del incendio. Así mismo, considerando el rol del incendio en el ecosistema forestal, menciona que en todo el mundo el incendio se ha convertido en un factor importante en los bosques de coníferas y árboles de madera dura que son dependientes del

fuego. La vida de muchas especies forestales literalmente empieza y termina con los incendios.

Barney *et al.*, 1984, distingue tres tipos básicos de efectos de los incendios en la vegetación en su conjunto, o tres modelos de regímenes de fuego:

a) Masas reemplazadas por incendios muy intensos y poco frecuentes; son siniestros catastróficos, de copa, que acontecen cada cincuenta a quinientos años o más en promedio, matan prácticamente toda la vegetación, que generalmente corresponde a etapas serales avanzadas o clímax, el agente natural de ignición coincide con una sequía.

b) Masas mantenidas por incendios frecuentes y poco intensos; se presentan muchos incendios de baja a moderada intensidad, sobre combustibles superficiales, cada cinco a veinticinco años aproximadamente, la falta de continuidad vertical entre los combustibles, dificulta que el fuego pueda coronar, los incendios eliminan vegetación no adaptada al factor fuego. La predominancia de gramíneas, la falta de continuidad vertical entre sus estratos y entre copas de los árboles, así como la buena poda natural, caracterizan a muchos pinares. Después de la presencia del fuego, que afecta cantidades moderadas de combustible, se reduce temporalmente el peligro de incendio, hasta que nuevamente se regenere la vegetación superficial y se acumulen combustibles muertos abundantes en el terreno.

c) Masas reemplazadas por incendios muy intensos y frecuentes; típica de vegetación arbustiva, como los chaparrales, en la que los incendios catastróficos, de copa, arrasan con la vegetación.

Este fenómeno permite la recuperación de la misma a través de rebrotes de rizomas o germinación de semillas inducidas por el calor del fuego, los siniestros afectan grandes cantidades de combustibles, con frecuencias de veinticinco a cincuenta años aproximadamente.

En el mundo existen muchos ecosistemas vegetales que presentan regímenes de fuego variados; disturbios como el fuego son un importante factor ecológico, que puede detener el curso de la sucesión, e iniciar o reiniciar una sucesión secundaria, o promover una sucesión cíclica.

Es por ello que los técnicos en México deben de prevenir los incendios forestales, no evitando o excluyendo el fuego, sino más bien manejando de manera prescrita y buscando la justificación en los ecosistemas que lo requieren.

Agee (1990), considerando el papel histórico del fuego en los bosques del Noroeste del Pacífico en los Estados Unidos de Norteamérica, señala que desde hace miles de años, los incendios han quemado los bosques del Noroeste del Pacífico, evidenciado por polen y carbón de leña depositados por los primeros bosques. El fuego no es un proceso uniforme en espacio o tiempo en el paisaje. La frecuencia, intensidad y magnitud de los incendios difieren

considerablemente por el Noroeste del Pacífico; estas diferencias pueden ser categorizadas por el concepto de régimen de fuego y que están en función del incremento ambiental (temperatura y modelos de humedad), modelo de ignición (relámpagos, humanos) y características de las especies de plantas (acumulación de combustibles, adaptación al fuego). Las tres amplias categorías, que considerablemente se sobreponen una a otra, son:

Regímenes de alta severidad

Son incendios muy poco frecuentes (más de 100 años entre incendios); normalmente son de alta intensidad, son considerados incendios de reemplazo.

Regímenes de moderada severidad

Los incendios son poco frecuentes (1 a 100 años); son considerados incendios de reemplazo parcial, incluyendo áreas significativas de baja y alta severidad.

Regímenes de baja severidad

Los incendios son frecuentes (1 a 25 años); son incendios de baja intensidad con poco historial de efectos.

Así mismo, concluye que en general, el fuego es menos prevaeciente en los paisajes de hoy que en los tiempos prehistóricos, debido a la eficaz políticas de control del fuego. Irónicamente, el éxito en la supresión del fuego ha permitido más uniformidad e incremento de la carga de combustible por el paisaje, cambiando los efectos del fuego en bosques donde el historial de los

incendios forestales, eran típicamente de baja y moderada intensidad, a efectos actualmente más severos. Los objetivos del manejo del fuego deben ser más amplios a la simple supresión del fuego. El fuego prescrito y en algunos casos los incendios naturales, pueden ser estrategias útiles integradas a la supresión del fuego, unidos a los objetivos del manejo de tierras.

Kauffman (1990), tomando en cuenta las relaciones ecológicas de la vegetación y el fuego en los bosques del Noroeste del Pacífico de los Estados Unidos de Norteamérica, indica que el fuego ha afectado grandemente la composición, estructura y numerosos procesos ecológicos en los ecosistemas de bosque en el Noroeste del Pacífico. Las adaptaciones al fuego podrían ser mejores pensando como adaptaciones para sobrevivir dentro de un ecosistema con un determinado régimen de fuego. Por consiguiente, adaptaciones de una especie que facilitan su supervivencia en un régimen de fuego pueden no necesariamente asegurar lo mismo en otro. Asimismo, los cambios de estructura en los bosques causada por las actividades de uso de la tierra pueden alterar grandemente regímenes de fuego, resultando cambios en la composición de especies, funcionamiento del ecosistema y la dinámica sucesional. La supresión del fuego y pastoreo de ganado han eliminado eficazmente los frecuentes incendios superficiales que caracterizaron a los regímenes de fuego de muchos bosques de pino y bosques mixtos de coníferas. Dando como resultado que coníferas tengan tolerancia al fuego, aumento de especies tolerantes, brotes de plagas forestales y que se tengan

incrementos en la carga de combustibles, diversidad de hábitat y disminución de forraje. Ocurriendo ahora severas condiciones de incendios de reemplazo.

Por lo que manejadores de recursos forestales y público en general deben ver al fuego y a su papel en los ecosistemas de bosque como un natural componente medioambiental del ecosistema y no un factor exógeno.

Rodríguez (1996), considera que la necesidad de predecir la posibilidad de que se presenten incendios forestales, a efecto de estar preparados para su combate, o ejecutar acciones, para facilitar el combate, reducir los daños por el fuego y con mejor eficiencia en el uso de los recursos humanos, materiales y financieros, han sido las razones por las que se han desarrollado diversas ayudas, tales como los cuadros o mapas de frecuencia de incendios, los índices de ocurrencia de éstos y los índices de peligro; desarrollando también metodologías para la determinación de áreas prioritarias de protección.

Fredericksen y Kennard (1999), señalan que en Bolivia, los pueblos indígenas han utilizado el fuego desde la antigüedad, para desmontar el bosque y establecer cultivos temporales. Las quemas también se han aplicado tradicionalmente, para el desmonte con fines agrícolas y de colonización, así como revitalizar los pastos forrajeros en agostaderos. Es obvio que el uso del fuego no es algo nuevo, sin embargo, existe muy poca experiencia sobre la utilización de quemas controladas como instrumento silvicultural para el control

de vegetación competitiva y el estímulo de regeneración de árboles comerciales en bosques manejados.

Vélez (2000), señala que el fuego, como elemento natural, es un factor más entre los que definen la estación y ha contribuido, desde siempre, a la distribución y selección de las especies, a la composición de las formaciones vegetales y a la estabilidad, alternancia o sucesión de sus etapas, hasta tal punto que, en muchos casos, es necesario para la multiplicación de ciertas especies y la regeneración de sus formaciones.

En todo el mundo hay evidencias biológicas y paleontológicas de esta relación, si bien ésta es más estrecha en regiones climáticas en las que existe un periodo seco, más si éste coincide con la estación cálida, como ocurre en el clima mediterráneo.

Martínez (2001), indica que la opinión pública, más en la sociedad urbana que en la rural, no distingue entre fuego bajo control e incontrolado (incendio forestal); "siempre el fuego tiene carácter destructor" y por lo tanto no comprende el uso positivo del fuego.

Para ello es indispensable que también se produzca un cambio en la Política Forestal; hoy en día orientada preferentemente a la extinción de incendios forestales y muy secundariamente a la prevención.

Índice de peligro de incendio forestal

Conceptos de peligro e índice de peligro

Peligro de incendio.- Cheney (1968), cita una anónima definición que data de 1953: "Es un término general que expresa el resultado de la acción de factores constantes y variables, los cuales afectan las probabilidades de que un incendio empiece, se propague, produzca daños, así como la dificultad de controlarlo". Es decir, que para cada área forestal existe un cierto grado de peligro de incendio.

Soares (1972), determina que el verdadero potencial en un área hace necesario asumir que ninguna acción de supresión del fuego será tomada, es decir, que los incendios son considerados libres para iniciarse, quemar y propagarse hasta que exista algún cambio en las condiciones del tiempo atmosférico, combustibles o topografía que faciliten su extinción.

Índice de peligro.- Vélez (1968), es un número que refleja anticipadamente la posibilidad de que se produzca un incendio, así como la

facilidad de que se propague, de acuerdo con las condiciones atmosféricas del día o de una serie de días.

Su conocimiento es fundamental dentro de un plan de defensa de los bosques contra los incendios, ya que la previsión de este peligro permite conocer la situación del bosque día a día.

Brown y Davis (1973), mencionan que en 1914 Coert Dobois tenía claro el concepto de los conceptos de los elementos que afectan el peligro de incendio y de la necesidad de algún medio para medirlo. El tuvo el concepto pero no los medios para medirlo e integrarlo en elementos del peligro de incendio.

Shank (1935), fue uno de los primeros en desarrollar un método sistemático de evaluar el peligro de incendio. Su método se basa en la acumulación de la humedad relativa, identificando así los periodos de peligro de manera general, pero no era sensitivo a los cambios que ocurrían día a día.

Clases de peligro de incendio y color de los códigos

Brown y Davis (1973), identifican cinco clases de peligro de incendio con sus valores. Cada clase de peligro de incendio representa el efecto total neto de varios factores que se combinan para identificar un amplio nivel, pero bastante característico del rango potencial de los incendios, para una instancia que

combate los incendios forestales. La secuencia general se encuentra descrita en el manual del Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica, siendo como sigue:

BAJO

Los combustibles requieren una intensa fuente de calor para encender, como un relámpago. La exposición del fuego por llama encendida en los combustibles persiste toda la noche, sólo como un fuego ardiendo sin llama o arrasando los combustibles superficiales. El avance no ocurre. El proceso de liquidación sólo es necesario al controlar incendios.

MODERADO

Combustibles finos y muertos encienden en la mayoría de las áreas calientes, pero normalmente no encienden combustibles pesados. En incendios abiertos, como ocurre en los pastizales, el viento puede extenderlo rápidamente, pero del fuego en el bosque avanza en una proporción de baja a moderada intensidad. La intensidad es baja, excepto donde están concentrados combustibles finos y muertos. A corta distancia el avance puede ocurrir pero no es problema serio. El control de los incendios es relativamente fácil en todas sus fases.

ALTO

Todos los combustibles finos y muertos encienden rápidamente en la mayoría de los combustibles y a corta distancia el avance es común. El quemado con alta intensidad ocurre en pendientes y en acumulación de combustibles. Los

incendios de corona pueden ocurrir. La tendencia en los combustibles mixtos es intensificar el fuego para que avance durante varias horas. El control es difícil, si no es completo en las fases tempranas del avance.

MUY ALTO

Los incendios empiezan fácilmente por todas las causas, extendiéndose e incrementando rápidamente en intensidad. El avance del fuego es una amenaza constante. Gran dispersión de avance y remolinos de fuego pueden ocurrir. El ataque directo al frente del incendio es factible solo durante los primeros minutos, después de que ocurre la ignición.

EXTREMO

Todos los incendios empiezan rápidamente, extendiéndose furiosamente y quemando intensamente. Pequeños incendios alcanzan la fase de la explosión más rápidamente que en la categoría de "muy alto". Un alto porcentaje desarrolla un comportamiento violento y pueden volverse descontrolados que desafían métodos convencionales de control. La expansión, coronamiento y la elevación de grandes columnas de convección son características comunes. El ataque directo es raramente posible y puede ser peligroso, excepto inmediatamente a la ignición.

Los colores de los códigos son: para el nivel BAJO es verde, para MODERADO es azul, ALTO es amarillo, MUY ALTO es anaranjado y EXTREMO es rojo (Brown y Davis, 1973).

Gisborne, 1936, citado por Magaña, 1985, estudiando las variables que influyen en la facilidad de las condiciones de combustión, determinó cinco factores de suma importancia:

- La estación del año, ya fuera que la vegetación inflamable estuviera verde o en un estado de transición.
- La humedad del material combustible, determinándola para combustibles ligeros por medio de la humedad relativa del aire y para combustibles pesados mediante cilindros de albura de pino de 4.5 pulgadas de largo y 1/2 pulgada de diámetro.
- La velocidad del viento.
- El rango de visibilidad.
- La actividad de los agentes que inician los incendios, principalmente los rayos.

El índice de peligro más útil sería aquél que pudiera predecir el instante y lugar preciso en que a futuro acontecerá cada incendio forestal, incluso la causa. Por el momento los conocimientos matemáticos y estadísticos de la humanidad no permiten predecir esos eventos con la precisión.

No obstante, existen importantes avances en el desarrollo de índices de peligro de incendios forestales en el mundo (Rodríguez, 1994).

Vélez (2000), expresa que existen multitud de factores que intervienen en la producción y en la propagación de un incendio forestal. Tres elementos forman el clásico triángulo del fuego: oxígeno, calor y combustible..

El oxígeno del aire se encuentra siempre en la atmósfera sin experimentar apenas variaciones, el calor es aportado por la causa (negligencia humana, incendiarios, rayos, etc.) y su efecto es instantáneo, por lo que se puede predecir con seguridad su aparición. En cambio el combustibles formado por la vegetación forestal en este caso sufre variaciones continuas que influyen decisivamente tanto en la aparición como en la propagación del fuego. De ellos se deduce que en el monte existe un peligro permanente de incendio, que es preciso reducir, quitando combustibles (cortafuegos, limpieas, desbroces, etc.) y modificar (mezcla de especies, etc.)

De todos estos factores los de carácter permanente no pueden ser objeto de un sistema de previsión del peligro de incendio, sino el punto de partida para establecerlo. Donde exista una masa forestal se sabe de antemano que puede producirse un fuego, debido a los factores permanentes. Los factores variables, en cambio, determinarán si el peligro es mayor o menor.

Parece, por lo tanto, que debe acudir a la meteorología para establecer un sistema de índice de peligro de incendios forestales (Vélez, 2000).

Índices de peligro de incendio forestal en el mundo

Magaña y Romahn (1987), indican que las características más importantes usadas en los diferentes índices de peligro de incendio forestal en el mundo se observan los siguientes rasgos:

- El estado de la vegetación determina la inflamabilidad y la posible propagación del fuego, los factores meteorológicos influyen en mayor proporción en ese estado.
- Disparidad en la amplitud de escalas, sin embargo, todos los sistemas utilizan la subdivisión en grados o clases de peligro para que sean más significativos.
- Los factores meteorológicos considerados principalmente son: la precipitación, la humedad atmosférica y la velocidad del viento, aunque también se analizan la temperatura, la dirección del viento y la humedad del suelo.

- Los aparatos de medición utilizados más comúnmente son: pluviómetro, psicrómetro y anemómetro, entre otros.

- La aplicación de los índices está dirigida al conocimiento y divulgación del peligro, la regulación del uso del fuego en el bosque, la intensificación de las medidas preventivas, y la alerta de los medios de extinción.

También mencionan, que en todos los países existe una relación estrecha entre los servicios meteorológicos y el personal forestal.

Alvear (1996), indica que las variables meteorológicas como condicionantes del riesgo de incendio y las condiciones de propagación de los incendios forestales, pueden clasificarse en dos grupos:

A). Las que afectan a la posibilidad de inicio del fuego.

- Radiación solar.
- Precipitación.
- Temperatura del aire.
- Humedad relativa.

B). Las que inciden en la velocidad de propagación.

- Velocidad del viento.
- Dirección del viento
- Grado de estabilidad atmosférica.

El primer grupo de los factores influye en la humedad de los combustibles y, aunque también afectan a la propagación del fuego, tienen una mayor influencia en su inicio. El segundo grupo afecta fundamentalmente al aporte de comburente, oxígeno, a la combustión y a los procesos de transmisión de energía en el incendio, por lo que influyen decisivamente en el comportamiento del fuego.

Índices de peligro de incendio forestal en Norteamérica.

Bradshaw *et al.*, 1983, señalan que El Sistema Nacional de Monitoreo de Peligro de Incendios Forestales (The National Fire Danger Rating System), se estableció en Estados Unidos de Norteamérica por 1972 y se modificó en 1978.

Deeming *et al.*, 1977, apuntan que la información requerida por el Sistema Nacional de Peligro de Incendios Forestales (NFDRS) para determinar el índice de peligro de incendio es:

La ubicación del sitio y su altitud, la fecha, el modelo de combustible, la vegetación herbácea, la clase de pendiente, las condiciones atmosféricas, la condición de la vegetación herbácea que puede presentarse en tres niveles (seca, verde e intermedia), las temperaturas de bulbo seco y húmedo, riesgo de rayos, riesgo por el hombre, tipo de precipitación, así como su duración, cantidad, hora de inicio y término de ésta, la velocidad del viento (promedio de 10 minutos), las temperaturas máxima y mínima en 24 horas, la humedad relativa máxima y mínima en 24 horas, y el contenido de humedad del combustible muerto y con tiempo de retardo de 10 horas; realizando todas estas observaciones a las 13 horas del día. La estructura básica del sistema se observa en la Figura 2.1.

Los elementos básicos del sistema son: el riesgo de incendio y los componentes de ignición, de propagación y de energía liberada.

Componente de energía liberada; que es derivado de predicciones de la tasa de calor liberado por unidad de área durante la combustión en presencia de flameo y de la duración del flameo.

Componente de propagación; que utiliza el modelo de Rothermel (1972), que se basa en mecanismos de transferencia y absorción de calor y temperatura de ignición, y que considera que la velocidad de propagación se puede expresar como una serie de igniciones sucesivas entre partículas adyacentes.

Componente de ignición; se expresa como la probabilidad de que un brazo del incendio produzca otro que pueda requerir de acción supresora, y esta en función del contenido de humedad de los combustibles muertos, su temperatura, la relación superficie/ volumen y compactación, así como la temperatura, tasa de liberación de calor, tiempo de quema y flameo del brazo.

El riesgo por rayos, se deriva de las observaciones a tormentas eléctricas; para el riesgo por el hombre se considera una escala (del 1-5) donde se valoran las actividades relacionadas con el fuego (actividad diaria), las que a su vez se relacionan con las fuentes de riesgo por región. La evaluación de este tipo de riesgo, en su primera fase, analiza el tiempo atmosférico de varios años y los registros de incendios respectivos para identificar las fuentes de riesgos, sus proporciones y derivar el valor de 1 a 5. Para la segunda fase, considera qué puede ocurrir diariamente, asignando un nivel de actividad diaria a cada fuente de incendio y computando finalmente el riesgo por el hombre.

Respecto a la ocurrencia de incendios, el sistema estima no sólo el comportamiento de los siniestros que pueden ocurrir, también el número de

incendios esperados (índice de ocurrencia de incendios causados por el hombre y por los rayos).

Finalmente, se computa el índice de peligro ponderado, el cual está diseñado para combinar estimaciones de ocurrencia de incendios y comportamiento del un incendio en un solo número, con valores que van de 0 a 100 (Deeming et al., 1977).

Bradshaw *et al.*, 1983, señala que entre los modelos de combustible manejados por este sistema, están: (A) pastos anuales del oeste, (B) chaparral mixto californiano, (C) sabana con pastizal y pinos, (D) sotobosque sureño, (E) latifoliadas en invierno, (F) arbustos intermedios, (G) agujas de pino de hoja corta (alta mortandad), (H) agujas de pino de hoja corta (mortandad normal), (I) desechos pesados de aprovechamiento forestal, (J) desechos medianos de aprovechamiento forestal, (K) desechos ligeros de aprovechamiento forestal, (L) pastos perennes del oeste, (N) pastizal sierra, (O) pastizal alto, (P) plantación con pino sureños, (Q) picea negra de Alaska, (R) latifoliadas (verano), (S) tundra, (T) pastizal- arbustos, y (U) coníferas del oeste con hoja larga.

Vélez (2000), señala que los índices de peligro se emplean con diversos fines. Para organizar la extinción, conociendo la fuerza del incendio; para calcular la intensidad del ataque inicial; para estimar el riesgo de incendio y actuar sobre las causas posibles; como base para avisos al público y para

acotamiento de zonas forestales; para conceder o cancelar permisos de quema; para plantear quemas controladas. Finalmente, los índices de peligro, correlacionados con el número de incendios, permiten evaluar el éxito de las diferentes fases de un programa de defensa contra incendios.

Índices de peligro de incendio forestal en Canadá.

Fue en la provincia de Ontario, Canadá, en el año de 1929 donde fueron iniciados los estudios para establecer el índice de peligro de incendio forestal. Para 1939 los índices se utilizan en tres provincias y en los parques nacionales de la región occidental del país. Continúan las investigaciones por varios años hasta tener el sistema que actualmente se utiliza (Canadian Forest Fire Weather Index) y publicado en 1970 (Tuner y Lawson, 1978).

Soares (1972), indica que el cálculo del índice de peligro se basa en el estado verde de la vegetación y de su inflamabilidad, la cual depende de los factores meteorológicos. Con base a las condiciones climáticas la vegetación estará en condiciones de incendiarse o no, y al potencial de propagación que presente. Para establecer el índice de peligro de incendio, los estudios realizados primeramente usan la correlación entre la cantidad de humedad del combustible vegetal y en segundo termino pero no menos importante, los factores climatológicos; por otra parte y a la vez, se analiza el comportamiento de los incendios forestales reales y los experimentales (Figura 2. 2).

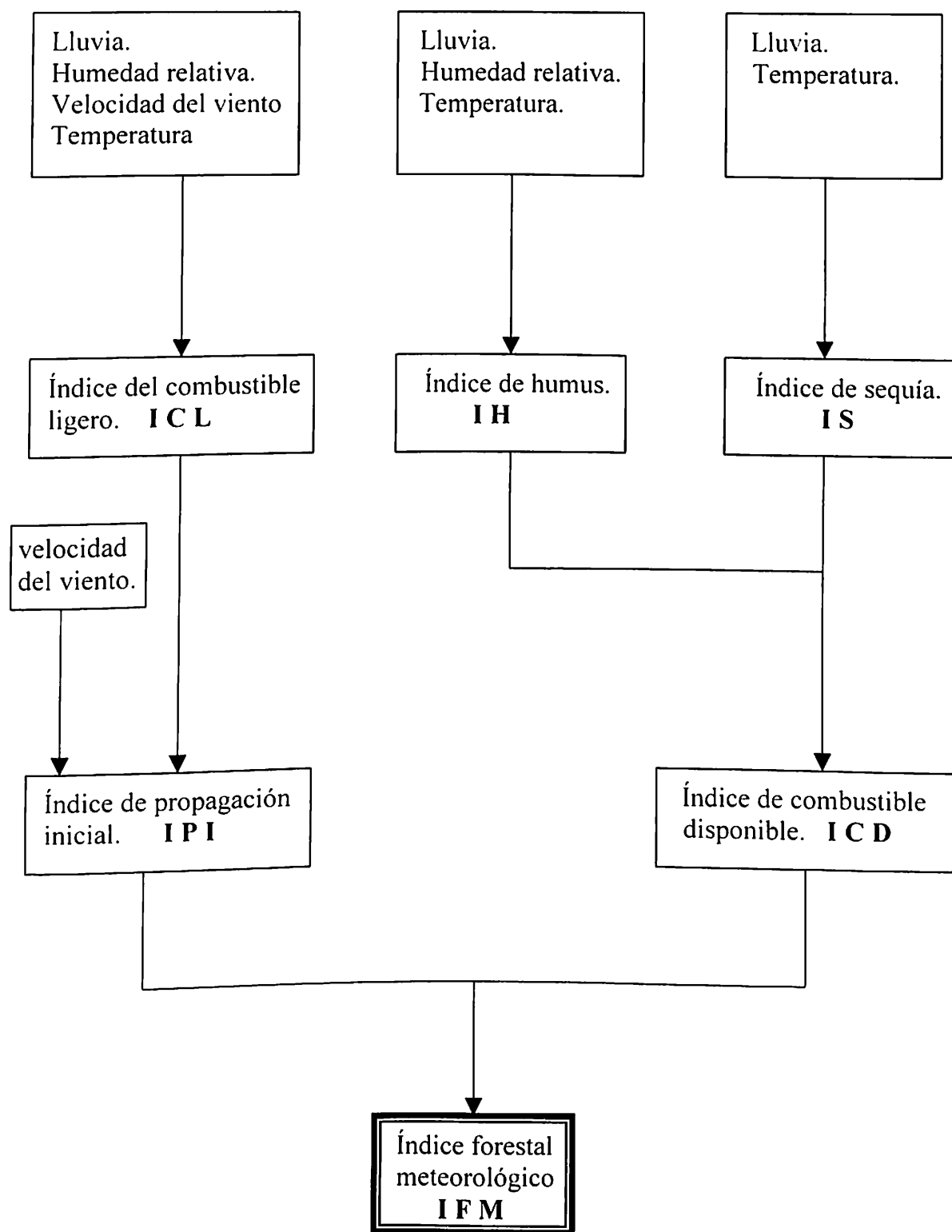


Figura 2.2. Estructura del peligro de incendios forestales Canadiense (Wagner, 1974).

Para determinar como se desecan los combustibles vegetales, se experimenta de manera sistemática su humedad por medio del peso del combustible y su desecación posterior en estufa, midiendo a la vez la humedad atmosférica.

Los trabajos más importantes que se han realizado son los de combustibles vegetales más próximos al suelo, como: de hojas secas, ramillas caídas, matorrales, humus, turba, etc. Además se estableció una correlación entre la humedad atmosférica, la lluvia y el viento, según la estación del año.

La toma de los datos que se consideran para la elaboración de los índices son registrados a las 12:00 horas de cada día y son: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la precipitación (las 24 horas anteriores) (Soares, 1972).

Magaña (1983), reseña que el índice de incendio forestal consiste en seis componentes principales: tres primarios, dos intermedios y por último, uno que representa la intensidad de un incendio en un tipo de combustible modelo. Los primarios son subíndices que siguen diariamente el contenido de humedad de tres clases de combustibles forestales a diferentes grados de secado. Los dos componentes intermedios son subíndices que representan la velocidad de propagación y la cantidad disponible de combustibles.

Índices de peligro de incendio forestal en España.

Basado en el método Canadiense, en 1956 se introdujo en España un sistema que partiendo de datos de lluvia, humedad relativa y viento, proporcionaba mediante tablas un índice de peligro que indicaba si era necesario un foco calórico grande o pequeño para iniciar un incendio, así como la facilidad de propagación del mismo (Garrido, 1990).

El sistema se modificó posteriormente al considerar el efecto de la sequía prolongada y de los vientos especialmente desecantes, y más adelante se empezó a utilizar en comparación con el sistema anterior, uno desarrollado en Australia que proporcionaba un índice de ignición y un índice de propagación (Figura 2.3.)

El índice de ignición expresaba el estado de los combustibles y el segundo daba una estimación de la velocidad de propagación. la escala de peligro de incendio forestal se encuentra en un rango que va de 0 a 13 o más y los cuales están asociados a un calificativo (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1982).

Para estimar el índice de peligro de incendio forestal es necesario que los datos sean tomados a las 12:00 horas del día, los cuales son:

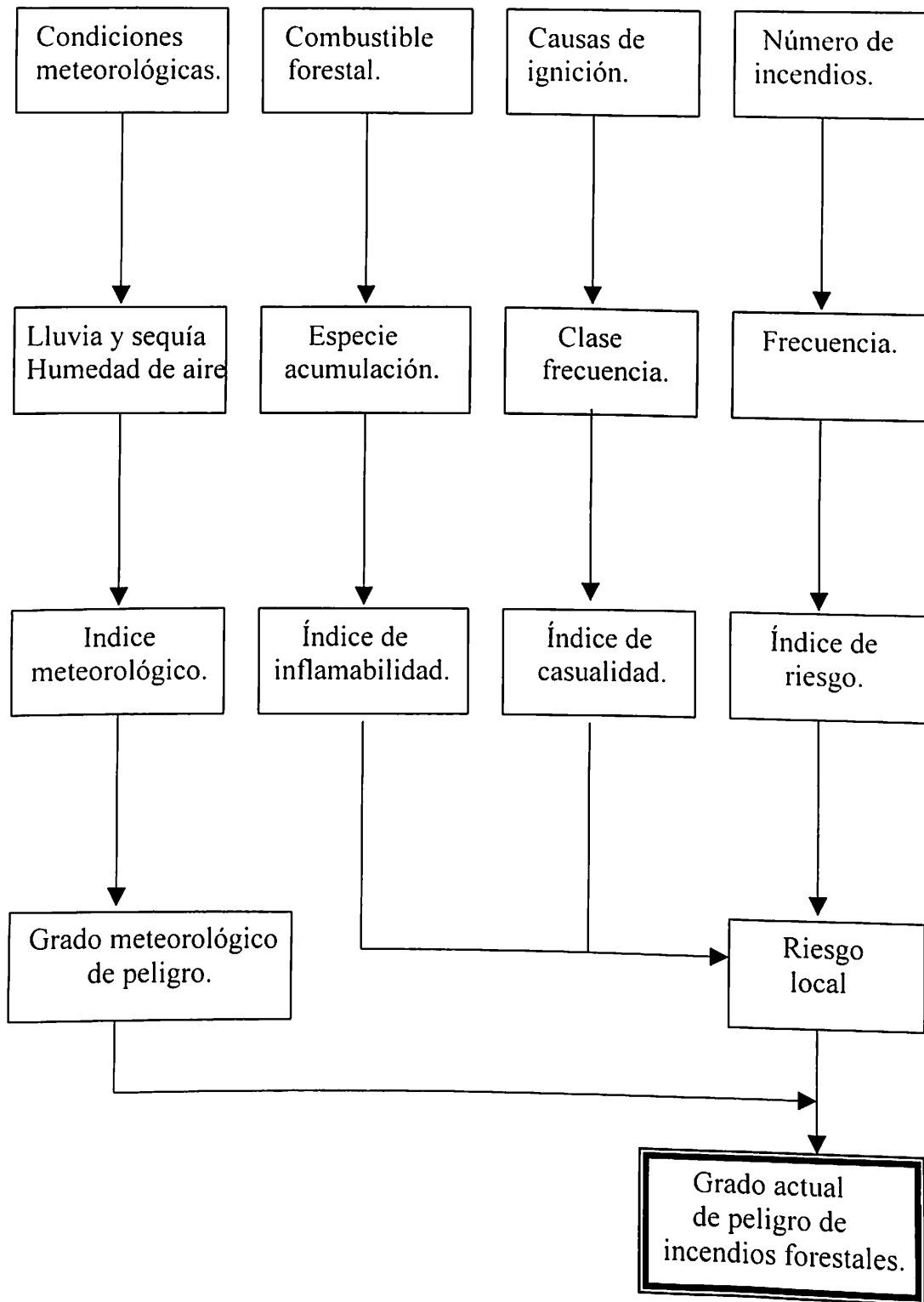


Figura 2.3. Estructura básica para la evaluación del grado de peligro de incendio forestal en España (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1982).

- Lluvia caída. La total en las últimas veinticuatro horas anteriores al momento de hacer la medición.
- Humedad relativa del aire.
- Duración de la sequía. Es el número de días consecutivos anteriores, en los cuales la lluvia ha sido inferior a 1.3 mm.
- Velocidad del viento. En el momento de hacer las mediciones.
- Dirección del viento. Es el punto del cual procede en el momento de hacer las observaciones.

Cuando no se tienen datos anteriores para iniciar cálculos, se puede partir de un índice de sequía igual a 3 y tomando un índice de peligro igual a 8. Los índices calculados tendrán plena validez después de una semana de observaciones y cálculos. Este sistema comprende además de las tablas del método Canadiense, una tabla de sequía prolongada y otra de vientos favorables (Soares, 1972).

Vélez (2000), indica que durante los años 1980, la introducción en Europa del sistema norteamericano BEHAVE y la experiencia adquirida con los índices mencionados llevó a considerar un nuevo sistema basado en lo siguiente:

Un índice de probabilidad de ignición, que estima la probabilidad de que una pavesa, al caer sobre combustible ligero muerto, lo inflame (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1 PROBABILIDAD DE IGNICIÓN

(Estima la probabilidad de que una pavesa o brasa, al caer sobre el combustible ligero muerto, pueda inflamarlo)

Sombreado %	Temperatura Termómetro Seco, °C	Humedad del combustible ligero muerto, %															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-10	40 +	100	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	30	20	20	20	10
	35-40	100	90	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	25-30	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10	10
	20-25	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	0-5	90	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
10-50	40 +	100	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	25-30	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	20-25	100	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	20	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	80	70	60	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
60-90	40 +	100	90	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	25-30	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	20-25	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
100	40 +	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10	10
	30-35	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	25-30	90	80	80	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10
	20-25	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	10-15	90	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10

Un índice de alerta, que combina la probabilidad de ignición con la velocidad del viento, discriminando los vientos terrales en las áreas costeras, que causan mayor incremento de la alerta por su efecto desecante (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 ÍNDICE DE ALERTA

Zona del interior y áreas costeras

Probabilidad de ignición %	Vientos terrales Velocidad del viento (Km/ h)			
	0- 9	10- 19	20- 39	≥ 40
10- 20	Prealerta	Prealerta	Prealerta	Alerta
20- 50	Prealerta	Alerta	Alerta	Alerta
50- 70	Alarma	Alarma	Alarma	Alarma
≥ 70	Alarma	Alarma	Alarma	Alarma

Áreas costeras

Probabilidad De ignición.%	Vientos terrales Velocidad del viento (Km/ h)			
	0- 9	10- 19	20- 39	≥ 40
10- 20	Prealerta	Alerta	Alerta	Alarma extema
20- 50	Alerta	Alarma	Alarma	Alarma extrema
50- 70	Alarma	Alarma	Alarma	Alarma extrema
≥ 70	Alarma	Alarma extrema	Alarma extrema	Alarma extrema

Del índice de alerta, se describen los niveles de peligro siguientes:

- ✓ Prealerta: peligro bajo o moderado.

Sin precauciones especiales.

- ✓ Alerta: peligro moderado.

Los medios estarán listos para ser movidos.

- ✓ Alarma: peligro alto.

La vigilancia preventiva será intensificada. El paso a las zonas boscosas será limitado. Los medios de lucha estarán preparados al máximo. Se informará a la población a través de los medios de comunicación para que adopten medidas preventivas.

- ✓ Alarma extrema: peligro extremo.

Altísima probabilidad de múltiples y grandes incendios. Formación de focos secundarios causados por pavesas. No debe ser permitido ningún punto de fuego en las cercanías del monte (hogueras, parrilla, quemas agrícolas, basureros, etcétera). Se limitará al máximo el paso al monte. Las pistas forestales se cortarán.

Todos los medios estarán preparados al máximo. Se informará a la población a través de los medios de comunicación para que adopten medidas preventivas (Vélez, 2000).

Otros índices utilizados

Índice de Nesterov

Es el índice de peligro de incendio Soviético más conocido y más difundido en el mundo, también llamado de inflamabilidad. Para determinar el grado de peligro de incendio a través de la sumatoria de los días peligrosos, se basa en el déficit de saturación de cada día; su ecuación es:

$$G = \sum_{i=1}^w (t_i - d_i) t_i$$

Donde:

G = índice de ignición.

w = número de días desde la última lluvia superior a 3 mm.

t = la temperatura.

d = temperatura de punto de rocío (°C).

Los datos deben ser tomados a las 13:00 horas. En los días en que se presente lluvias el índice se tiene que corregir, de acuerdo con el Cuadro 2.3; y debido a que las lluvias reducen el grado de inflamabilidad de la vegetación (Soares, 1972).

Cuadro.2.3 Restricciones del índice de Nesterov según la precipitación.

PRECIPITACIÓN (mm)	MODIFICACIONES EN EL CALCULO
0 - 2	Ninguna. Considerar que no llovió y continuar el cálculo normalmente.
2 - 5	Restar el 25% del valor calculado de P y sumar (d*t) del día: $G = 0.75G$ de ayer + (d*t) de hoy.
5 - 8	Restar el 50% del valor calculado de G y sumar (d*t) Del día: $G = 0.5G$ de ayer + (d*t) de hoy.
8 - 10	Abandonar la suma anterior de G y comenzar de nuevo el cálculo, es decir $G = (d*t)$ de hoy.
Más de 10	Interrumpir el cálculo y comenzar en el día siguiente o Cuando cese la lluvia, según las reglas del caso anterior.

Índice Higrotérmico.

Soares (1972), indica que el índice higrotérmico de peligro de incendios, fue elaborado en 1968 por Carkina, en el cual se plantea la formula siguiente:

$$K = n (c/ t)$$

Donde:

K = índice higrotérmico de peligro.

n = porcentaje de días sin lluvia en el mes.

c = precipitación total del mes.

t = suma de temperaturas diarias del mes.

K forma una relación hiperbólica con el número de incendios en el mes y basado en esta relación, fue construida una escala del grado de cinco clases que varía desde ningún peligro, cuando K es mayor o igual de 30.1, cuando hay peligro extremo el valor de K es menor de 5.

Índices de peligro en México.

Magaña (1983), en su trabajo desarrolla un índice relacionado con la probabilidad de ocurrencia de incendios y con base a variables meteorológicas como: temperatura del aire, temperatura máxima, precipitación, evaporación, velocidad del viento y la acumulación de ellos, en días previos a la ocurrencia de incendio. Las correlaciones de los factores meteorológicos que tienen mayor influencia en la ocurrencia de incendios y la ocurrencia de incendios dieron la pauta para encontrar, por medio de regresiones, los modelos matemáticos de predicción. Se establecieron doce ecuaciones y con base en la prueba de F, el coeficiente de determinación (R^2) y la sencillez, se consideró la ecuación de regresión más adecuada para detectar el peligro de incendio fue:

$$Y = - 0.0016863(P30) + 0.02362004(E7) + 0.01278057(V15) - 0.7409428$$

En donde:

Y = La probabilidad de que ocurran incendios

P30 = La precipitación acumulada en 30 días

E7 = La evaporación para 7 días

V15 = El viento acumulado de quince días

Los datos base con los que se construyo el modelo, consideran los incendios ocurridos en 11 años y de las variables meteorológicas de los días en que ocurrieron dichos incendios.

Con los valores obtenidos de Y, con base a la revisión de literatura y en la analogía con otras escalas de peligro de diversas partes del mundo, sé establecio la escala de peligro de incendio, estableciendo límites entre los valores posibles de la ecuación de regresión que define el grado de peligro del día, como aparece en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Escala de peligro de incendio forestal para Tlahuapan, Puebla.

VALOR DEL ÍNDICE	GRADO DE PELIGRO
Menor de 0.05	Nulo
0.06 - 0.15	Bajo
0.16 - 0.35	Medio
0.36 - 0.55	Alto
Más de 0.56	Extremo

Fuente: Magaña, 1983

Marín y Borja (1984), en el Estado de México, elaboraron un índice por municipio, que denominaron de ocurrencia, que se obtiene en función de la presencia de incendios, su frecuencia y su densidad. Su fórmula básica es:

$$N = \frac{\text{Número total de incendios}}{\text{Años considerados}}$$

N = es el número promedio de incendios por municipio.

Que nos indica el número promedio o frecuencia de incendios para cada municipio, dividiendo el número total de ocurrencia entre los años considerados.

$$SA = \frac{\text{Superficie total afectada}}{\text{Años considerados}}$$

SA = superficie promedio afectada por municipio.

Donde se determina la superficie promedio afectada para cada municipio.

$$P = \frac{\text{Superficie afectada}}{\text{Superficie total forestal}} \times 100$$

P = porcentaje de superficie forestal afectada.

Se determina el porcentaje de superficie forestal afectada, relacionando la superficie forestal afectada con la superficie total forestal de cada municipio.

$$D = \frac{\text{Número de incendios}}{\text{Superficie total forestal}} \times 100$$

D = Índice de densidad

se calcula para obtener la densidad de incendio en función a la superficie total forestal existente en cada municipio.

$$IO = P \times D$$

IO = Índice de ocurrencia.

Relaciona los valores calculados con anterioridad (P y D) y que determinarán con mayor precisión aquellos municipios en los que los incendios afectan con mayor rigor sus áreas forestales, al parámetro se le denomina índice de ocurrencia de incendios.

Martínez *et al.*, 1990, realizan una clasificación y ubicación de áreas de acuerdo a su riesgo de incendio en la región de la sierra de Tapalpa, Jalisco. Para la clasificación del riesgo se tomaron los siguientes parámetros: hojarasca, topografía, material combustible, vegetación, servidumbre, aprovechamientos, actividades agropecuarias y climatología; en 49 predios comprendidos en 8,068 hectáreas y muestreando 2,900 sitios.

De acuerdo con la información, se definieron tres índices de riesgo de incendio (bajo, medio y alto). Se identificaron los sitios de acuerdo a su índice de riesgo de incendio, con lo que se obtuvo la superficie y la ubicación de las áreas. Los resultados señalan en porcentajes de 39.7 correspondió a un índice bajo, el 38.4 a un índice medio y el 21.8 a un índice alto.

Zapata (1990), estudió la relación existente entre la cantidad de combustible presente en el área de Topia, Durango, y el efecto de la intensidad del daño en la vegetación causado por los incendios forestales. Se consideraron cinco niveles de combustibles, de acuerdo a su distribución en el

área de estudio. Los cuales fueron correlacionados con los daños de incendios ocurridos de abril a mayo de 1989.

Para lo anterior se seleccionaron áreas de cada nivel contiguas a las áreas dañadas. Las que fueron uniformes en cuanto a altura sobre el nivel del mar, pendiente, exposición y asociación vegetal. Como resultado obtuvo cinco índices de peligro potencial de incendios con los valores que se señalan en el Cuadro 2.5.

Cuadro 2.5 Índice de peligro de incendio forestal con base en la cuantificación de material combustible muerto.

CLASE	RANGOS Ton/ Ha	GRADO DE PELIGRO
I	0 - 21	BAJO
II	22 - 35	MODERADO
III	36 - 49	ALTO
IV	50 - 63	MUY ALTO
V	64 o MÁS	EXTREMO

Fuente: Zapata, 1990

Santillán (1993), propone un índice de peligro de incendio fundamentado principalmente en la información dasonómica y del sitio, que se obtiene de los inventarios del Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SICODESI). Índice que parte de cuatro valores, denominados grados:

De combustibilidad; que contempla profundidad de la carga orgánica, cobertura de vegetación baja, cobertura de arbustos y tipo de vegetación.

Topográfico; que incluye pendiente y exposición.

De casualidad; conformado por el uso del suelo y densidad de población.

Meteorológico; que considera período del año y número de días sin lluvia.

Los tres primeros grados constituyen el grado especial de peligro, y el último el grado meteorológico de peligro. Entre ambos se determina el grado el grado de peligro de incendio forestal, mediante el uso de intervalos de valores de cada rubro (profundidad de la capa orgánica, cobertura de la vegetación baja, etc.), valores que van de 0 a 5 (0 a 10 variables meteorológicas). Mediante sumas de los valores consignados se obtiene finalmente el grado de peligro que se indica en el Cuadro 2.6.

Cuadro 2.6 Índice de peligro de incendio forestal propuesto por Santillán (1993).

GRADO DE PELIGRO	COLOR ASOCIADO	ESTADO DE ALERTA
9 - 30	Verde	Bajo
31 - 45	Amarillo	Medio
46 - 60	Rojo	Alto

Garrido (1990), propone una metodología para obtener un sistema de predicción de peligro de incendio para la República Mexicana, basándose en el análisis de la revisión bibliográfica de los diferentes sistemas de predicción de incendios, en diversos países, se compararon y se eligieron los factores que se registran con mayor frecuencia; ponderándolos de acuerdo con la frecuencia e importancia que representan dichos factores en los incendios forestales de México.

El esquema comprende los factores del sistema español, pero la forma de obtención del valor de los índices, se hace en forma simple otorgándole valores de 1 a 5 y separando en categorías que van de 3 a 5 según sea el caso, como se señala en Cuadro 2.7.

Cuadro 2.7 Índice de peligro de incendio forestal para la República Mexicana.

RANGOS	GRADO DE PELIGROSIDAD
4 - 30	Bajo
21 - 40	Medio
41 - 60	Alto
61 - 80	Muy alto
81 - 100	Extremo

Garrido, 1990

Rojo (1998), selecciono un modelo para determinar índices de peligro de incendio forestal en bosque de clima templado en México, estimando la velocidad de propagación. Desarrollo un modelo estadístico de regresión lineal utilizando las variables de temperatura y humedad de las probetas de *Pinus patula* y *Pinus montezumae* y obtuvo un coeficiente de determinación de 0.97. Para la clasificación del índice de peligro de incendio se tomaron los parámetros siguientes: velocidad propagación, temperatura y contenido de humedad de las probetas de *Pinus patula* y *Pinus montezumae*. La base de datos está constituida por información de un año de quemas controladas con las variables arriba mencionadas. Con los valores obtenidos se generó una tabla de rangos o grados de peligro y se definieron cinco grados de peligro de incendio, como se indica en el Cuadro 2.8.

Cuadro 2.8 Escala de índice de peligro de incendio forestal, usando la humedad de la probeta de *Pinus patula* y *Pinus montezumae*.

CLASE	GRADO DE PELIGRO	ÍNDICE DE PELIGRO	COLOR ASOCIADO
I	Nulo	Menor de 1.0	Verde
II	Bajo	1.0 a 6.5	Azul
III	Moderado	6.6 a 7.5	Amarillo
IV	Alto	7.6 a 8.5	Naranja
V	Extremo	Más de 8.5	Rojo

Sistemas de información geográfica

De acuerdo con Bosque, 1992. Se puede definir como sistema de información geográfica (SIG), a la tecnología informática para gestionar y analizar información espacial o también al conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar en un ordenador, datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos.

El centro nacional para información y análisis (NGCIA por siglas en inglés) define a los SIG como sistemas de hardware y software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos especialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Bosque, 1992).

Chuvieco, 1990. Considera que los SIG son base de datos informatizados con algún tipo de componente espacial; lo que significa que la información que se almacena esta referenciada geográficamente, se trate de mapas, estadísticas u otro tipo de información de un territorio específico, por lo que todas las variables se pueden relacionar mutuamente de formas muy diversas. Los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de las computadoras, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales, como son: generalización cartográfica, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, entre otros.

Ampliando las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, permitiendo su almacenamiento y visualización, facilitando su actualización y acceso directo.

En los SIG la representación del aspecto espacial se basa en dos formatos o modelos: en líneas y polígonos conocido como vectorial y en celdillas o pixeles llamado raster o matricial.

Modelo de datos vectorial

El modelo define a un objeto geográfico de la realidad a través de sus límites o fronteras con el exterior, mediante ejes de coordenadas, la posición de una serie de vértices que unidos dos a dos forman líneas rectas y facilitan la delimitación de esas fronteras de los objetos geográficos. En el enfoque vectorial existen dos formas de organizar o estructurar los datos: en lista de coordenadas y en organización arco/ nodo (Bosque *et al*, 1994).

Modelo de datos raster

Este modelo representa digitalmente la información espacial de manera diferente y en cierto modo, complementario al vectorial. Lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites exteriores. Para ello, se sobre pone al mapa a representar una rejilla formada de unidades regulares, normalmente cuadrados o rectángulos, con lo cual el

espacio geográfico queda particionado en forma sencilla y regular, y por ello fácil de representar. La representación raster utiliza un número o valor para cada elemento de la rejilla, denominado píxel; es más complicada de manejar y de guardar en el ordenador. Los SIG basados en este formato permite el análisis espacial por medio de operaciones con mapas y tiene compatibilidad con sensores remotos y tecnología automáticas de captura (Bosque *et al.*, 1994).

Las operaciones con mapas son transformaciones que crean nuevos mapas manipulando los valores de los mapas ya existentes, incluye aritmética, álgebra y geometría de mapas que permiten realizar operaciones como sobreponer dos o más mapas, delimitar cuencas visuales e hidrológicas, obtener mapas de gradientes, realizar operaciones de filtrado, reclasificar, entre otros.

Utilización de los sistemas de información geográfica.

Vélez (2000), señala que la utilización de SIG permite almacenar y procesar datos georeferenciados en entornos informáticos, generalmente obtenidos a partir de la digitalización de mapas, fotos aéreas o de imágenes de satélites. Los elementos almacenados se pueden clasificar en puntuales, lineales y poligonales. Los primeros sólo requieren sus coordenadas y atributos, los elementos lineales (tipo vectorial) requieren una secuencia de coordenadas

que definen la línea y unos atributos asignados a la misma, y los elementos poligonales, que se suponen recintos cerrados definidos por una línea perimetral y unos atributos asignados al polígono. Los datos de interés se suelen almacenar según “capas” que pueden ser de tipo vectorial o tipo raster. Un menor tamaño de los píxeles de los mapas raster se va a traducir en mayor precisión en los resultados de las simulaciones. El costo de la obtención de estos datos y, por otro lado el tiempo de cálculo pueden aumentar sustancialmente con celdillas muy pequeñas.

En la actualidad se recomienda lados de celdillas (píxeles) de entre 20 y 50 metros como los más idóneos para la simulación de la propagación de incendios, como consecuencia de las cartografías y datos disponibles y de la velocidad de cálculo de los ordenadores personales.

Las consecuencias de los incendios forestales se pueden predecir a partir de modelos que simulen el comportamiento del incendio y considerar la actuación espacio- temporal de los recursos de extinción. Es posible modelizar el comportamiento del incendio a partir del conocimiento de factores naturales: combustibilidad de la vegetación, humedad relativa, viento y topografía.

Se distinguen dos grupos de modelos de expansión de incendios forestales, los modelos deterministas y los estadísticos. Los modelos deterministas están basados en la interpretación física de la propagación del

fuego, donde estos mecanismos de expansión se presentan por fórmulas matemáticas.

Los modelos estadísticos establecen correlaciones entre los descriptores de los factores de expansión obtenidos en fuegos experimentales y en incendios naturales, y son empleados principalmente para elaborar mapas de riesgo de incendios, ya que para poder predecir la expansión del incendio es necesario realizar un altísimo número de observaciones (Vélez, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El presentar información básica útil de riesgo e índice de peligro de incendio forestal, requirió primeramente establecer mapas con áreas de riesgo, con base a los componentes de tipos de vegetación, usos del suelo forestal, potencial forestal, tamaños de combustibles, topográficos de pendiente y orientación y ocurrencia histórica de incendios forestales, por lo que se trabajó con información del ordenamiento ecológico del estado de Coahuila. La propuesta para determinar índices de peligro de incendio para pastizal-matorral, demandó el establecimiento de un área experimental para la realización de quemas controladas.

Situación geográfica

El estado de Coahuila se localiza entre los 24° y 30° de latitud norte; y entre los -98° y -104° de longitud oeste dentro de la región geográfica que se conoce como Desierto Chihuahuense. Limita al norte con el estado de Texas, E. U.A.; al oriente con el estado Nuevo León; al sur con el estado de Zacatecas y

hacia el sureste con el estado de San Luis Potosí; por el suroeste con el estado de Durango; y por el poniente con el estado de Chihuahua.

Coahuila es la tercera entidad de territorio mexicano con una extensión territorial de 151,578 km², que equivale al 7.8 por ciento del territorio nacional (INEGI, 1983). Su división política la forman 38 municipios, los cuales están agrupados en las seis regiones: Frontera, Carbonífera, Desértica, Centro, Lagunera y Sureste, indicado en el Cuadro 3.1 y Figura 3.1.

Cuadro 3.1. Municipios de Coahuila por ocupación territorial.

Fuente: Síntesis Geográfica de Coahuila. INEGI, (1983)

MUNICIPIO		KM ²	%	MUNICIPIO		KM ²	%
	ESTADO	151578.37	100				
01	Abasolo	670.29	0.44	20	Múzquiz	8682.06	5.73
02	Acuña	11573.68	7.64	21	Nadadores	585.98	0.39
03	Allende	216.19	0.14	22	Nava	1000.59	0.66
04	Arteaga	1726.9	1.14	23	Ocampo	23970.2	15.81
05	Candela	1969.97	1.30	24	Parras	11205.61	7.39
06	Castaños	2603.4	1.72	25	Piedras Negras	818.2	0.54
07	Cuatrociénegas	8872.73	5.85	26	Progreso	2559.12	1.69
08	Escobedo	1151.89	0.76	27	Ramos Arizpe	6863.2	4.53
09	Francisco I. Madero	3917.14	2.58	28	Sabinas	1937.32	1.28
10	Frontera	430.91	0.28	29	Sacramento	437.39	0.29
11	General Cepeda	2806.5	1.85	30	Saltillo	5648.48	3.73
12	Guerrero	2461.5	1.62	31	San Buenaventura	6490.09	4.28
13	Hidalgo	1544.53	1.02	32	San Juan De Sabinas	901.04	0.59
14	Jiménez	2697.39	1.78	33	San Pedro	9290.13	6.13
15	Juárez	2250.84	1.48	34	Sierra Mojada	8393.2	5.54
16	Lamadrid	663.01	0.44	35	Torreón	1150.71	0.76
17	Matamoros	694.35	0.46	36	Viesca	4116.61	2.72
18	Monclova	1461.07	0.96	37	Villa Unión	1983.1	1.31
19	Morelos	281.12	0.19	38	Zaragoza	7551.93	4.98

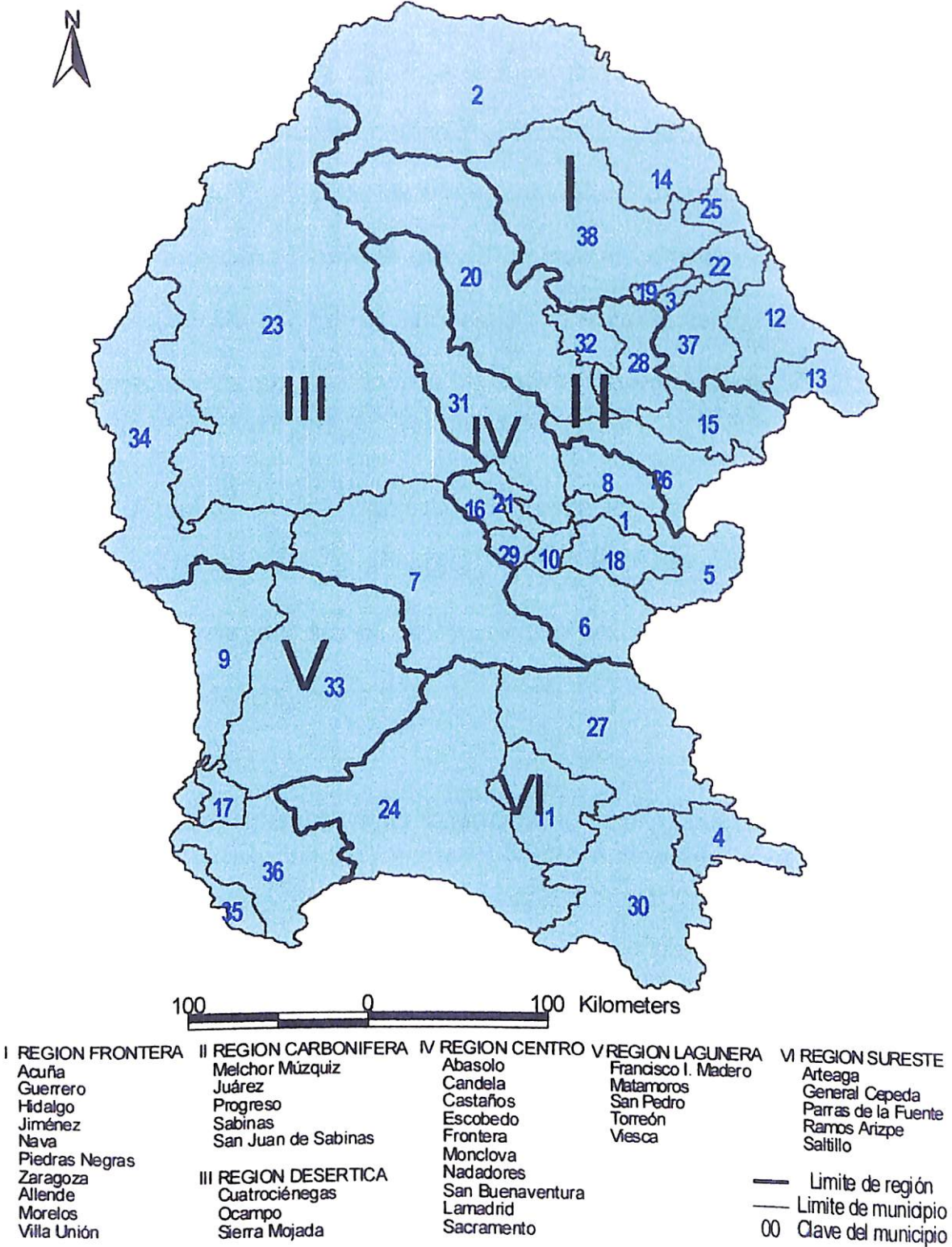


Figura 3.1 División Política de Coahuila de Zaragoza.

Fuente: INEGI, Censos Económicos. Sistema Automatizado de Información.

Vías de comunicación

Coahuila cuenta con una red de comunicaciones que le permite estar bien integrado al país por carretera, ferrocarril y aeropuertos; por carretera tiene acceso a través de autopistas que comunican a otras partes importantes del territorio mexicano, como el estado de Nuevo León (Monterrey) en el sureste; Chihuahua y Durango en el suroeste y con los estados del centro del país por el sur; con el norte por la autopista Monclova- Piedras Negras.

A través del ferrocarril, se comunica también al noreste y noroeste de México, así como con el estado de Texas, E. U. A.; por esta vía se transporta una importante cantidad de productos que se importan de y exportan a Estados Unidos, acorde con Figura 3.2.

En las ciudades más importantes, como Saltillo, Torreón, Monclova, Ciudad Acuña y Piedras Negras; se cuenta con servicios de aeropuertos donde se reciben vuelos tanto locales como nacionales para pasajeros, así como para transporte de productos e insumos para el comercio (INEGI, 1983).

Clima

El estado de Coahuila se caracteriza por poseer climas continentales, secos y muy secos, abarcando desde los semicálidos (predominantes en los

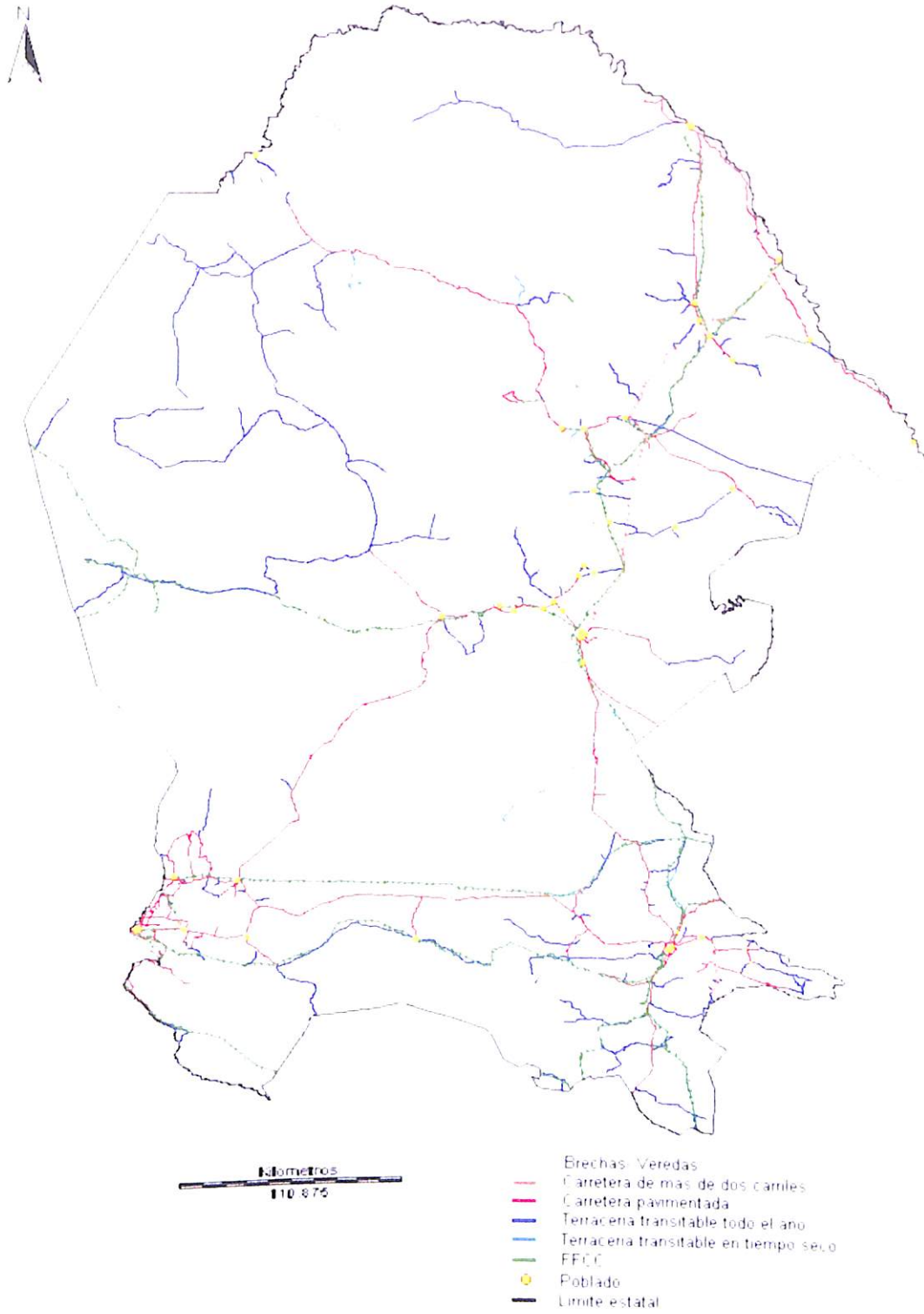


Figura 3.2 Vías de Comunicación de Coahuila.

Fuente: Ordenamiento Ecológico del Estado de Coahuila.

bolsones), hasta los templados (de las partes altas de las sierras o bien de las regiones de la parte más alta septentrional de estado). Los grupos y tipos de climas más comunes en el estado (Figura 3.3) y son descritos brevemente a continuación:

(A)C(w₁). **(A)C:** Define a los climas semicálidos con temperaturas medias anuales mayores de 18°C; y el tipo **(w₁)** corresponde a un clima subhúmedo con lluvias de verano, y con sequía en invierno, con lluvias invernales entre 43.2 y 55.3 mm. Este clima está presente en una pequeña área del estado, en la región sureste.

BS₁h(x'). **BS₁h:** Esta simbología relaciona a los climas secos, con temperaturas diversas, van de los secos muy cálidos, hasta secos con temperaturas semifrías; y el tipo **(x')**, es un subhúmedo con lluvias repartidas todo el año, con precipitación del mes más seco inferior a 40 mm. Este tipo de clima se presenta en una pequeña porción del estado, en la región sureste, en la Sierra de Arteaga.

BS₁hw. **BS₁h:** Igual que el anterior; y el tipo **w**, se denomina subhúmedos con lluvias de verano, y sequía en invierno, con lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm.

Se encuentra presente en el estado, en la parte centro norte, abarca parte de las regiones Carbonífera y Frontera.

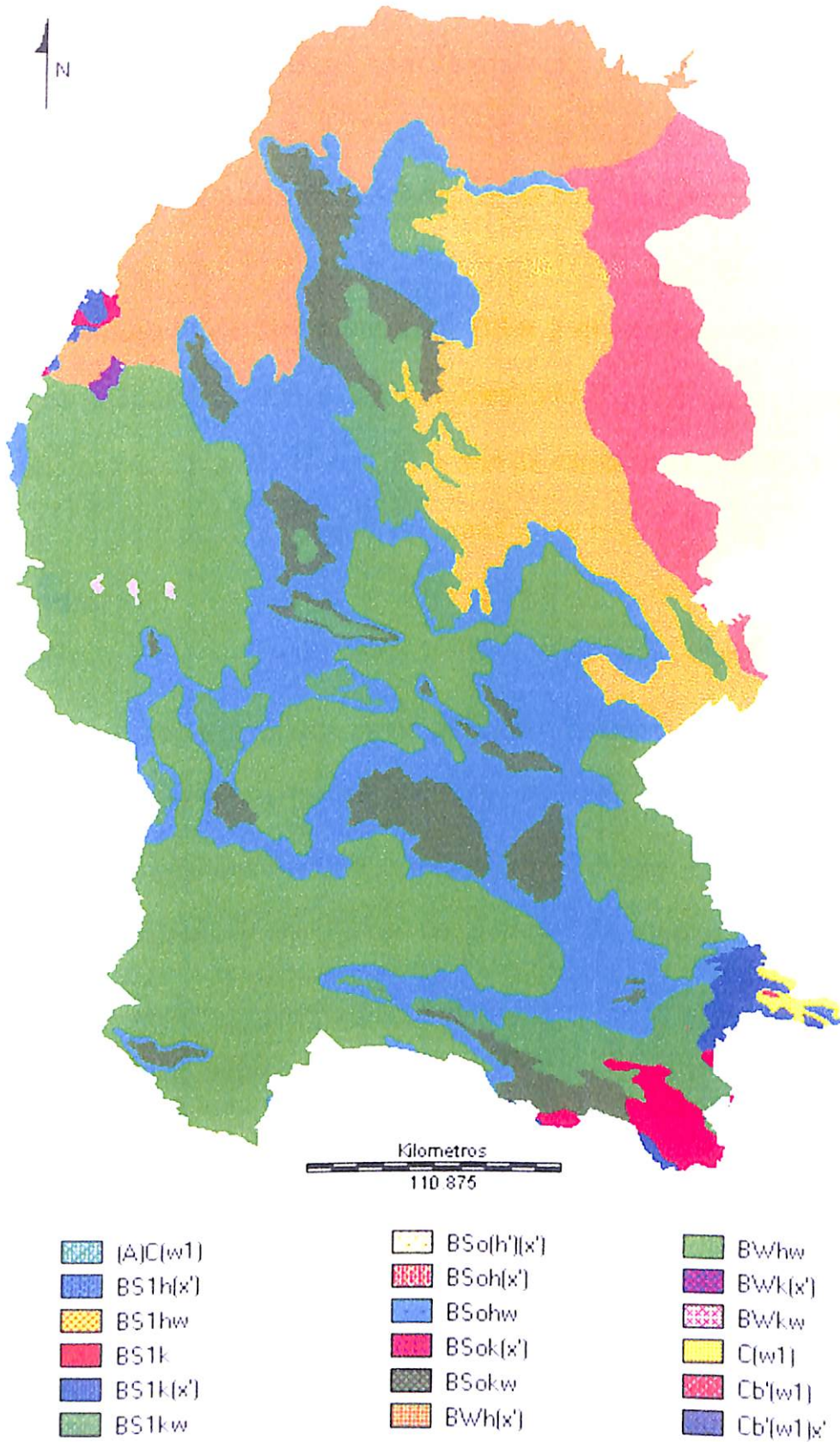


Figura 3.3 Climas de Coahuila.
Fuente: INEGI, 1992.

BS₁k. BS₁: Corresponde a los climas semisecos y con escasas lluvias a lo largo del año, y el tipo **k** es un templado con verano cálido, con temperaturas que oscilan entre 12° y 18°C. Este clima domina en pequeña proporción las partes altas de la Sierra de Arteaga en el sureste del estado.

BS₁k(x'). BS₁k: Idéntico al BS₁k y el tipo **(x')**, es característico de un clima subhúmedo con lluvias repetidas todo el año, la precipitación del mes más seco es inferior a los 40 mm. Este tipo de clima se encuentra en la parte sureste del estado y en unas pequeñas áreas en la región desértica del noroeste de la entidad.

BS₁kw. BS₁k: Este clima es igual que los dos anteriores; y la variante es el tipo **w** que indica un clima subhúmedo con lluvias de verano y sequía en invierno, las lluvias invernales entre 5 y 10.2 mm. Este clima se presenta en áreas diferentes y dispersas del estado, algunas de estas partes son las bajadas o faldas de las sierras, que en muchas ocasiones están dominadas por matorrales submontanos.

BS₀(h')(x'). BS₀: Este es un grupo de climas secos con temperaturas diversas. Hay climas secos muy cálidos hasta secos con temperaturas semifrías, este puede ser húmedo con lluvias en invierno, la lluvia invernal es mayor a los 36 mm; el tipo **(h')** es denominado muy cálido con temperaturas mayores a los 22°C en la temporada de calor. El símbolo **(x')** es característico de un clima subhúmedo con lluvias esporádicas todo el año, la precipitación del

mes más seco es inferior a los 40 mm. El área del estado que cubre este tipo de clima se encuentra en la parte noreste, cubriendo parte de los municipios de Piedras Negras, Nava, Guerrero, Villa Unión, Juárez e Hidalgo. La vegetación que domina esta región es matorral tamaulipeco con sus diferentes variantes como son espinoso, crasirrosulifolio, inerme y subinerme; otros tipos de vegetación importantes son los mezquiales, huizachales, encinares y la vegetación de galería adyacente a las riberas de los arroyos y ríos.

BS₀h(x'). **BS₀**: Semejante al anterior. Los terrenos donde se localiza este clima a diferencia del BSo(h')(x') es que son terrenos con elevaciones mayores (lomeríos) y en general climas más secos. La vegetación dominante es el matorral tamaulipeco con asociaciones iguales al anterior, destacando los bosques de encino (encinares de los cinco manantiales); son áreas donde se pueden encontrar algunos ejemplares que alcanzan los 15 metros o más de alto y en los ríos se localizan algunas especies nativas de plantas como los nogales que en la actualidad sus poblaciones son escasas y en ocasiones se encuentran degradadas, asimismo son ecosistemas que constituyen el hábitat de poblaciones de fauna silvestre del área.

BS₀hw. **BS₀**: Los tipos **h** y **w**, indican un clima semicálido con inviernos frescos, donde las temperaturas medias anuales son mayores de los 18°C, subhúmedos con lluvias de verano y sequía en el invierno (lluvias entre 5 y 10.2 mm). Son áreas dispersas por todo el estado, sobre todo donde existen sierras con cierta altura, este clima en los mapas lo sitúan en lugares protegidos como

bajadas, faldas y/o cañones donde existe cierta cantidad de humedad y con condiciones menos adversas.

BS₀k(x'). **BS₀**: Corresponde a los climas secos, con lluvias en verano y escasas a lo largo del año. Los tipos **k** son templados con verano cálido, su temperatura media anual oscila entre los 12° y 18°C; y los del tipo **(x')** presentan escasas lluvias repartidas en todo el año, la precipitación es inferior a los 40 mm. Este clima se presenta en áreas dispersas unas en el noroeste (límites con Chihuahua) y la otra que es más grande se localiza en la parte sureste del estado, son llanuras cubiertas por pastizales y yucas que en ocasiones llegan a formar bosquecillos como sucede en la confluencia de los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León cerca del poblado El Salvador. Algunas de estas áreas se han desmontado para establecer cultivos agrícolas ya sea para riego o temporal.

BS₀kw. **BS₀**: Los tipos **k** indican que un verano cálido con temperaturas medias anuales oscilantes entre los 12° y 14°C, los tipos **w** indican un subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno, el porcentaje de lluvias invernales varía entre los 5 y 10.2 mm. Estos climas se localizan en las partes altas de las sierras desde el sur del estado hasta la parte norte, en el sur se pueden mencionar las sierras de Parras, Playa Madero, La Paila y la Mesa Albardienta entre otras. En el norte destacan las sierras conocidas como islas del cielo entre estas se encuentran Sierra El Carmen, Sierra La Babia, Serranía El Burro, entre otras. Los tipos de vegetación dominantes son los bosques y

algunas de sus especies están enlistadas en la Norma Oficial Mexicana, en alguna de sus categorías.

BWh(x'). BW: Es un clima muy seco, desértico, con escasa precipitación tanto en verano como en invierno, las heladas son críticas, al presentarse temperaturas en ocasiones bajo cero. El tipo **h**, indica que es un área con clima semicálido con invierno fresco, donde la temperatura media anual es mayor a los 18°C. El tipo **(x')** indica que existe un clima subhúmedo con lluvias repartidas todo el año, con precipitación del mes más seco inferior a 40 mm. Esta es un área de bajadas y lomeríos suaves, cercanos al Río Bravo; la vegetación característica de esta zona son los matorrales xerófilos y micrófilos, existen lugares donde se extrae una buena cantidad de especies forestales no maderables, las especies explotadas son la lechuguilla y la candelilla principalmente.

BWhw. BW: Son climas muy secos, desérticos, donde existe una escasa precipitación tanto en el verano como en invierno, con heladas críticas, llegando a presentarse temperaturas bajo cero. El tipo de clima **h**, indica que es un clima semicálido con invierno fresco, donde las temperaturas medias anuales son mayores a los 18°C. El tipo de clima anterior combinado con el **w** produce un clima subhúmedo con lluvias de verano y sequía en invierno, donde el volumen de lluvias invernales se encuentran entre los 5 y 10.2 mm. Este clima domina una parte considerable del estado, sobretodo los valles y bolsones de la región de la Comarca Lagunera (Bolsón de Mapimí y Laguna de Mayrán); otras partes

importantes del centro de la entidad que destacan son la Región Desértica (Valle de Cuatrociénegas) y la Región Centro. Por último se menciona una porción territorial en la Región Sureste, en los límites con Nuevo León, al norte de la ciudad de Saltillo y Ramos Arizpe.

BWk(x'). BW: El tipo **k** corresponde a un clima templado con veranos cálidos y sus temperaturas medias anuales fluctúan entre los 12° y 18°C. El tipo **(x)** a un subhúmedo con lluvias repartidas todo el año y la precipitación del mes más seco inferior a los 40 mm. De este tipo de clima se encuentra solamente un área pequeña en el noroeste de Coahuila, en el municipio de Ocampo.

BWkw. BW: Los terrenos con este tipo de clima son áreas localizadas en la Región Desértica de Coahuila (noroeste).

C(w₁). C: Este grupo pertenece a los climas templados húmedos y subhúmedos con temperaturas medias del mes más frío entre -3 y 18°C. El tipo **w₁** indica un clima subhúmedo con lluvias de verano, y sequía en invierno, la precipitación invernal oscila entre 43.2 y 55.3 mm. Este clima ocupa una porción del sureste del estado en la Sierra de Arteaga, son elevaciones que llegan a alcanzar hasta los 3,000 msnm, la vegetación dominante esta conformada por coníferas principalmente y algunos matorrales de encino en bajadas y en la exposición sur de las sierras.

Cb'(w₁). C: El tipo **b'** corresponde a los climas templados; el **w₁**, es un tipo subhúmedo con lluvias de verano, y sequía en invierno, con una precipitación invernal entre los 43.2 y 55.3 mm. En el estado, se encuentra una pequeña porción en el sureste, en la Sierra de Arteaga. La vegetación de esta área es de coníferas principalmente y asociaciones de encinos.

Cb'(w₁)x'. C: Al igual que los anteriores este clima pertenece a los templados húmedos y subhúmedos con temperaturas medias del mes más frío entre los -3 y 18°C. El tipo **b'** es templado, acompañado por (**w₁**) con lluvias en verano y sequía en invierno, con un volumen de precipitación invernal de 43.2 y 55.0 mm y el tipo **x'**, subhúmedos con lluvias repartidas todo el año, con una precipitación del mes más seco inferior a los 40 mm. Este clima con sus tipos se presenta al igual que los anteriores en las montañas de la Sierra de Arteaga únicamente.

El estado puede dividirse en tres grandes áreas de acuerdo a los tipos de clima que presenta. El occidente muy seco, que comprende extensas llanuras desérticas de la provincia de las Sierras y Llanuras del Norte; el centro y sur, en los que se asocian climas desde los muy secos semicálidos de los bolsones hasta los semisecos templados y los templados subhúmedos de las partes altas serranas, con predominancia de climas secos y que coincide con la provincia de la Sierra Madre Oriental; por último el noreste con climas secos y semisecos y,

debido a que se ubica al este de la Sierra Madre Oriental, sus climas son más cálidos y húmedos debido a la influencia marítima (INEGI, 1983).

El lo referente a sus variables climáticas, el 90 por ciento del estado presenta una temperatura media anual que oscila entre los 17 y 21°C. Los valores de temperatura media máxima oscilan de los 25 a los 37°C en el semestre de Mayo a Octubre para casi el 90% por ciento del territorio, y en el semestre de Noviembre a Abril las temperaturas medias mínimas varían de 1 a 7°C en casi un 95 por ciento del territorio, con una ocurrencia media de días con heladas de 12, en el semestre. De acuerdo a INEGI (1985), el valor de las temperaturas medias máximas y mínimas por semestre, también puede interpretarse como los valores de oscilación térmica que pueden presentarse entre el día y la noche.

En cuanto a la precipitación media anual, aproximadamente en un 40 por ciento del estado se presentan precipitaciones menores a los 250 mm anuales, un 45 por ciento del territorio entre 350 y 450 mm, solamente un 6por ciento presenta valores entre 550 y 650 mm, correspondiendo generalmente a las zonas de mayor altitud de las zonas serranas. En cuanto a sus valores por semestre, la mayor cantidad de precipitación ocurre de Mayo a Octubre, presentándose valores de 210 mm a los 360 mm en un 86 por ciento de la superficie del estado.

Geología

En la entidad el material geológico predominante son las rocas sedimentarias marinas y continentales con edades que datan del Paleozoico hasta el Cuaternario. Las más abundantes son las calizas del mesozoico, las cuales están representadas con 38 por ciento en la superficie total del estado (Cuadro 3.2.)

Estas rocas se ven afectadas por intensos plegamientos, movimientos de placas e intrusiones. La posición de los plegamientos tienen orientación de este a oeste en el sur del estado y de noroeste a sureste en el resto. Las sierras están orientadas en las direcciones anteriormente mencionadas.

Existen diversas regiones en el estado donde se encuentran rocas ígneas con edades que van desde el periodo Triásico hasta el cuaternario (menos del 3.5 por ciento). Las rocas extrusivas son las más jóvenes y forman en algunos casos las áreas más altas de las sierras, mientras que las intrusivas quedan expuestas en pequeños cuerpos debido a la erosión de las rocas sedimentarias, a las cuales intrusionaron y en algunos casos mineralizaron. En muchos lugares afloran conglomerados continentales del terciario (6 por ciento) que están constituyendo lomeríos y extensas bajadas en las sierras.

Cuadro 3.2 Unidades geológicas de Coahuila.

Fuente: Carta Geológica, escala 1:250,000. INEGI, 1985.

Descripción	km ²	%
Andesita	398.68	0.26
Arenisca	206.70	0.14
Arenisca conglomerado	8.26	0.01
Basalto	903.93	0.60
Brecha sedimentaria	204.04	0.13
Brecha volcánica a	2.53	0.01
Caliza	45,599.29	30.12
Caliza limolita	14.78	0.01
Caliza lutita	10,561.36	6.91
Caliza yeso	27.16	0.02
Conglomerado	9,167.98	6.06
Cuarcita	10.99	0.01
Dionita	0.43	0.0002
Diorita	34.80	0.02
Gran odiorita	70.79	0.05
Granito	131.07	0.09
Laguna	12.00	0.01
Lutita	105.47	0.07
Lutita arenisca	8114.89	5.36
Monzonita	129.09	0.08
Porfido riolitico	17.39	0.01
Porfido traquitico	6.05	0.004
Riolita	401.28	0.26
Suelo aluvial	69,288.49	45.77
Suelo eólico	1,228.50	0.81
Suelo lacustre	1,934.55	1.28
Sienita	417.20	0.27
Toba ácida	1,540.29	1.02
Tonalita	2.76	0.002
Travertino	206.99	0.14
Yeso	552.70	0.36

Los depósitos más recientes son aluviones (45.54 por ciento) compuestos por detritus de diversas rocas que cubren la mayor parte de los llanos, y alcanzan espesores de cientos de metros de profundidad en algunos casos.

De las deformaciones geológicas mencionadas, a continuación se describen sus características más relevantes:

Rocas ígneas intrusivas

Se originan a partir de materiales existentes en el interior de la corteza terrestre, los cuales están sometidos a temperaturas y presiones muy elevadas. Cuando la corteza terrestre se debilita en algunas áreas, el magma asciende y penetra en las capas cercanas a la superficie, pero sin salir a ésta; lentamente se enfría y se solidifica, dando lugar a la formación de las rocas ígneas intrusivas, en las que encontramos: diorita, monzonita, granito, sienita, grandiorita, tonalita y porfido.

Rocas ígneas extrusivas

Se originan a partir de materiales existentes en el interior de la corteza terrestre, los cuales están sometidos a temperaturas y presiones muy elevadas. Cuando el magma logra llegar a la superficie de la corteza terrestre, es arrojado a través de erupciones y derrames volcánicos; al enfriarse y solidificarse la lava,

da origen a las rocas ígneas extrusivas, de las cuales podemos mencionar: toba básica, traquita, andesita y basalto.

Rocas sedimentaria de origen mecánico

Los sedimentos son materiales formados como consecuencia de la actividad química o mecánica ejercida por los agentes de denudación sobre las rocas preexistentes, depositándose en forma estratificada, capa por capa, en la superficie de la litósfera. La petrificación de los sedimentos a temperaturas y presiones relativamente bajas, conducen a la formación de las rocas sedimentarias, en las que podemos encontrar: conglomerado, areniscas, lutita, limonita y brecha volcánica.

Rocas sedimentarias de origen químico

Son formaciones que tiene su origen generalmente en las erupciones o cráteres de volcanes que actualmente están sin actividad, de ellas podemos mencionar: caliza, travertino, yeso, cuarcita y brecha sedimentaria.

Suelos de acuerdo a su origen

Se forman a partir del arrastre y la erodabilidad que se da por fenómenos como el viento y el agua.

Suelos eólicos: son los transportados y depositados por el viento; pueden ser subdivididos en dos grupos:

- a). Suelos tipo /oes, los que tienen características de homogeneidad con dimensión de limo.
- b). Arenas que se encuentran formando médanos.

Suelos aluviales: originado por la erosión, transportado por el agua y depositado en la planicie de inundación del río o también se le conoce como de aluvión.

Suelos lacustre: son formados principalmente por materiales finos, que presentan una buena estratificación excepto en sus límites o periferia en donde se frecuente encontrar lentes arenosos o de grava. Su carácter generalmente arcilloso, los hace que no sean aptos para las cementaciones.

Laguna: es la interrupción en la serie de capas.

Vegetación

Coahuila se ubica dentro de la zona biogeográfica conocida como el Desierto de Chihuahua, dentro del gran Desierto de Norteamérica. Las principales causas de la aridez de la entidad son la tropicalidad, la continentalidad y la sombra orográfica, al oriente y al poniente ocasionada por

las dos Sierras Madres. El clima que determina en gran medida la distribución y abundancia de las comunidades vegetales, es básicamente estepario seco (Bs) y seco desértico (Bw); el clima templado con lluvias uniformes escasas todo el año (Cx') se presenta solamente en pequeñas partes que corresponden a las de mayor altitud de las serranías.

Es común que predominen los tipos de vegetación asociados a zonas áridas, como el matorral xerófilo y pastizales de zonas áridas. Por influencia de la orografía, se presentan comunidades vegetales características de climas templados y/o más húmedos como los bosques de coníferas, bosques espinosos y el matorral tamaulipeco.

Para obtener los tipos de vegetación y los usos del suelo para el ordenamiento ecológico del estado, se utilizó la información de las cartas del Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1985), ya que esta fuente es la más descriptiva de la cubierta vegetal; sin embargo, también se contrastó con la información contenida en las cartas de vegetación forestal del Inventario Nacional continuo de 1994 obtenidas a su vez de imágenes de satélite Landsat TM de 1991 a 1993; sí entonces, la descripción de los ecosistemas y tipos de vegetación que a continuación se presentan corresponden a los proporcionados por las fuentes originales, que es un estudio realizado en un contexto nacional y con el objetivo de actualizar la información estadística y censal de los recursos forestales por tipos de vegetación, formaciones y clases de uso del suelo (Figura 3.4).

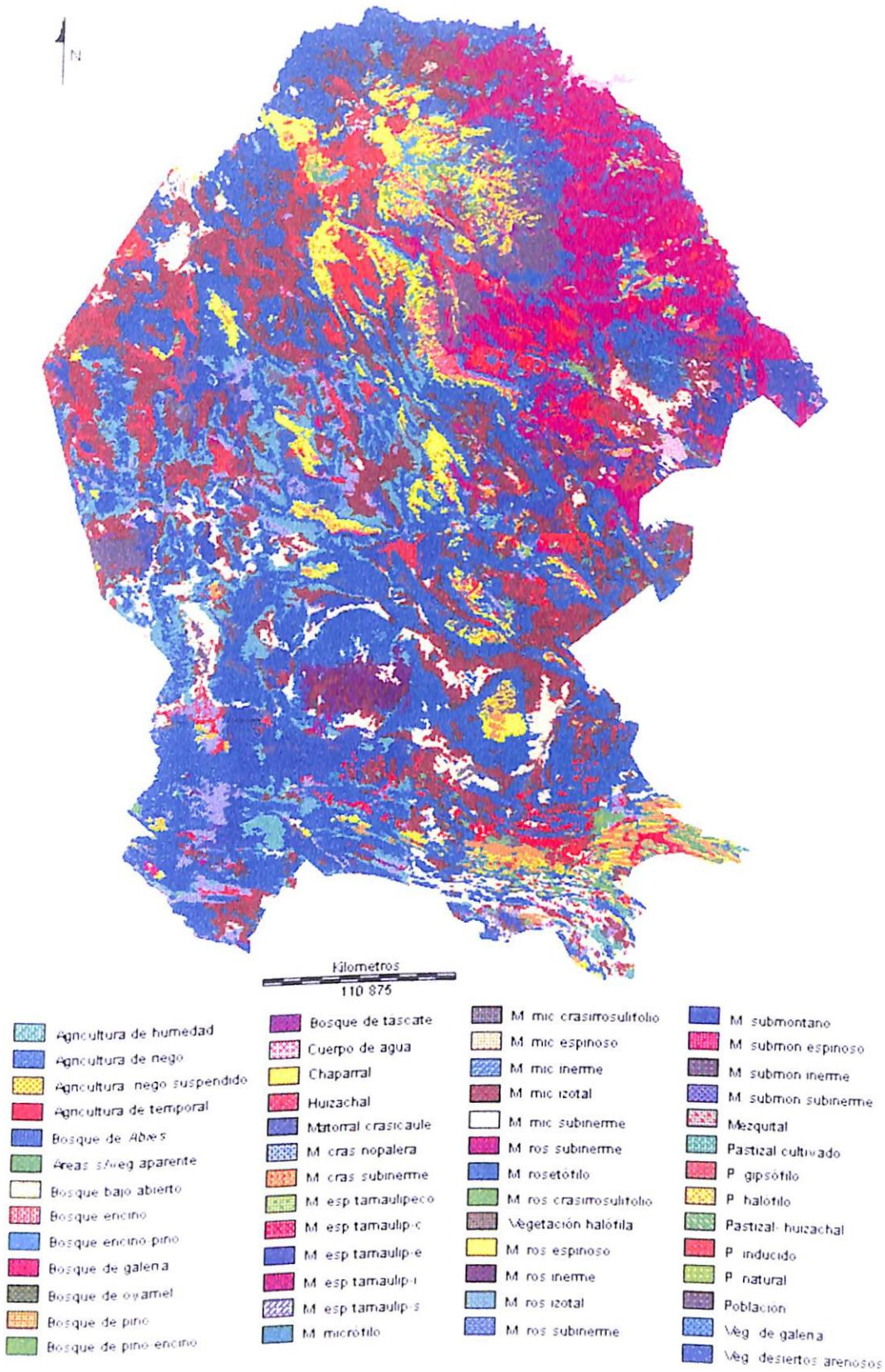


Figura 3.4 Vegetación y Usos del suelo de Coahuila.
Fuente: Ordenamiento Ecológico de Coahuila.

Se encuentran en el estado vegetación de tres ecosistemas: templado-frío (bosque de coníferas), tropical (selvas) y zonas áridas (árido y semiárido).

Ecosistema templado- frío

Se ubican en las subprovincias: Sierras y Llanuras Coahuilenses, Serranía del Burro, Sierra de la Paila, Pliegues Saltillo- Parras, Sierras Transversales y Sierra Plegada. Los tipos de vegetación presentes: pino, pino-encino, oyamel, otras coníferas, encino y bosque de galería.

Dentro de esta asociación vegetal se incluyen comunidades arbóreas propias del clima templado- frío que se conforman de las siguientes especies: *Pinus ayacahuite*, *P. Cembroides*, *P. Rudis*, *P. Teocote*, *P. Pseudostrobus*, *Pseudotsuga spp.*, *Quercus spp.*, *Cupressus arizonica* y *Juniperus fláccida*.

Ecosistema tropical (seco)

Este ecosistema se encuentra en las subprovincia Llanuras de Coahuila y Nuevo León y los tipos de vegetación presentes son: palmar y selvas bajas. Se identifican principalmente los géneros: *Bursera*, *Acacia* y *Prosopis* que son propios de este ecosistema.

Ecosistema de zonas áridas

Se encuentra en las subprovincias: Bolsón de Mapimí, Llanuras y sierras Volcánicas, Laguna de Mayrán, Sierras y Llanuras Coahuilenses, Serranía del Burro, Sierra de la Paila, Sierra Plegada. Llanuras de Coahuila y Nuevo León y Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande. Los tipos de vegetación presentes son: mezquital y huizachal, chaparral, matorral subtropical, matorral submontano, matorral espinoso y matorral xerófilo.

Dentro de este ecosistema se presentan especies de clima árido y semiárido, entre las que destacan: *Yucca filifera*, *Acacia farnesiana*, *A. rigidula*, *Agave lechuguilla*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Larrea tridentata*, *Lippia spp.*, *Opuntia spp.* Y *Parthenium argetatum*.

Tipos de vegetación

La superficie y porcentajes con respecto a la extensión territorial de Coahuila, se presentan en el Cuadro 3.3, a continuación se proporciona una breve descripción de los más comunes.

Bosque de ayarin; Superficie 118.66 Km², (0.078%).

También llamado bosque de *Pseudotsuga spp.* Ocupa una superficie reducida en el estado. Las plantas pertenecientes a estos géneros, se

Cuadro 3.3 Tipos de vegetación y usos del suelo.

Fuente: Carta Uso del Suelo y Vegetación, escala 1: 250,000 INEGI, 1985.

Tipos de vegetación.	km ²	%
Agricultura de humedad	681.34	0.45
Agricultura de riego	3,247.07	2.15
Agricultura de riego suspendido	571.20	0.38
Agricultura de temporal	2,238.98	1.48
Bosque de ayarin	118.61	0.08
Area sin vegetación aparente	170.12	0.11
Bosque bajo abierto	5.69	0.01
Bosque de encino	1,314.83	0.87
Bosque de encino pino	642.43	0.42
Bosque de galería	31.76	0.02
Bosque de oyamel	29.57	0.02
Bosque de pino	2,013.50	1.33
Bosque de pino encino	222.05	0.15
Bosque de tascate	157.95	0.10
Chaparral	7,473.08	4.94
Cuerpos de agua	420.47	0.28
Huizachal	521.79	0.34
Matorral crasicaule	55.64	0.04
Matorral crasicaule nopalera	14.75	0.01
Matorral crasicaule subinerme	15.28	0.01
Matorral espinoso tamaulipeco	403.03	0.27
Matorral espinoso tamaulipeco crasirrosulifolio	9.26	0.01
Matorral espinoso tamaulipeco espinoso	3,223.33	2.13
Matorral espinoso tamaulipeco inerme	1.76	0.001
Matorral espinoso tamaulipeco subinerme	13,047.15	8.62
Matorral micrófilo	3,599.60	2.38
Matorral micrófilo crasirrosulifolio	39.54	0.03
Matorral micrófilo espinoso	1,791.49	1.18
Matorral micrófilo inerme	7,810.76	5.16
Matorral micrófilo Izotal	68.85	0.04
Matorral micrófilo subinerme	26,250.14	17.35
Matorral rosetófilo	273.88	0.18
Matorral rosetófilo crasirrosulifolio	40,256.94	26.61
Matorral rosetófilo espinoso	24.24	0.02
Matorral rosetófilo inerme	174.72	0.11
Matorral rosetófilo Izotal	1,288.72	0.85
Matorral rosetófilo subinerme	8,460.42	5.59
Matorral submontano	318.69	0.21
Matorral submontano espinoso	5.43	0.003

Continuación...

Matorral submontano inerme	103.55	0.07
Matorral submontano subinerme	5,343.59	3.53
Mezquital	1,434.07	0.95
Pastizal cultivado	392.08	0.26
Pastizal gipsófilo	101.69	0.07
Pastizal halófilo	2,299.36	1.52
Pastizal huizachal	65.93	0.04
Pastizal inducido	1,340.02	0.88
Pastizal natural	5,556.50	3.67
Población	61.23	0.04
Vegetación de desiertos arenosos	1,267.38	0.84
Vegetación galería	118.78	0.08
Vegetación halófila	6,183.28	4.09
Total	151,261.61	100.00

asemejan por el aspecto y morfología de sus hojas a árboles de *Abies*, la similitud se extiende también al comportamiento ecológico, formando bosques en sitios sombríos y húmedos. El género *Pseudotsuga* se encuentra en áreas muy específicas de Coahuila. Las especies más comunes son: *Pseudotsuga menziesii*, *P. flahaulti*, este último catalogado como especie rara por la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059-1994).

Bosque bajo abierto; Superficie 5.69 Km², (0.004 por ciento).

Es una comunidad de árboles bajos con grandes espacios entre sí, los cuales son ocupados por lo general por gramíneas; se les localiza en una franja de transición que existe entre los pastizales y los bosques de encino, especialmente en la Sierra Madre Occidental; éstas comunidades reciben el nombre de pastizal con encino - enebro o *woodland*. Las especies más

comunes que se observan son encinos bajos, como el encino blanco (*Quercus grisea*), encino prieto (*Q. emory*), encino miscalme (*Q. chihuahuensis*), encino (*Q. santaclarensis*), *Q. cordifolia*; táscates o enebros, (*Juniperus macrosperma*, *J. monosperma*, *J. flaccida*); entre los zacates, *Bouteloua gracilis*, *B. hirsuta*, *B. curtipendula*, *Andropogon spp*, *Heteropogon contortus*, etcétera.

Bosque de encino; Superficie 1,314.83 Km², (0.869 por ciento).

Es propio de porciones protegidas de cañones y valles intermontanos con climas templados y semihúmedos. Ocupa casi el 1 por ciento del área del estado, se localiza en altitudes que fluctúan entre los 1,200 a los 1,800 msnm, usualmente sigue al matorral submontano, entremezclándose con este y el bosque de pino.

Las especies dominantes son árboles pequeños de entre 3 y 8 metros de alto, con copas redondeadas en poblaciones esparcidas o densas, usualmente muy homogéneas.

Los componentes más frecuentes son *Quercus gravesii*, *Q. laceyi*, *Q. grisea*, *Q. hypoxantha*, *Prunus serotina*, *Pinus cembroides*, *P. arizonica*, *Carya ovata*, *Juniperus flaccida*, *Arbutus xalapensis*, *Fraxinus cuspidata* y *Acer grandidentatum*. Existen comunidades individuales de *Vitis arizonica*, *Tillandsia usneoides*, *Muhlenbergia* y *Lycurus*.

Bosque de encino - pino; Superficie 642.43 Km², (0.425 porciento).

Comprende las comunidades mezcladas de los géneros *Quercus* y *Pinus* en proporción diversa, en cuyo caso le es favorable al género *Quercus*, siendo difícil separar un componente de otro debido a la heterogeneidad con que se presenta. Se distribuye en casi todas las montañas y sierras del estado en áreas cuyas altitudes van de los 1,800 y 2,500 msnm.

Las combinaciones de las especies tanto de encino como de pino, varían de acuerdo al suelo y altitud de la región. Las especies más importantes de este tipo de bosque en el caso de los encinos son: *Quercus emory*, *Q. microphylla* y *Q. microlepis*. Para *Pinus* las especies con mayor representación son: *Pinus engelmannii*, *P. remorata*, *P. teocote*, y *P. cembroides*. El bosque de pino - encino abierto, es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40 porciento. En bosque de pino - encino cerrado, la cobertura de copa es mayor al 40 porciento.

Bosque de galería; Superficie 31.76 Km², (0.021 porciento).

Es una comunidad arbórea localizada en los márgenes de los ríos y arroyos, en condiciones de humedad alta. Son frecuentes los bosques de galería formados por ahuehuetes o sabinos (*Taxodium mucronatum*), sauce (*Salix* spp.), (*Fraxinus* spp.), álamos (*Populus* spp.), *Platanus* spp. y de especies como la jarilla (*Baccharis* spp.) y el mimbre (*Chilopsis linearis*).

Bosque de oyamel; Superficie 29.57 Km², (0.019 porciento).

A esta comunidad Rzedowski la llama en general bosque de coníferas. Se encuentra presente en aproximadamente el 2 porciento del área, se localiza en pequeñas porciones de las montañas más altas, como son las Sierras de Arteaga, El jabalí, de la Madera y del Carmen en altitudes que van de los 2,300 a los 3,000 msnm. Las comunidades están dominadas por *Pseudotsuga menziesii* y especies de *Abies* (en el estado se han identificado tres especies: *Abies vejari*, *A. durangensis* y *A. mexicana*). Formando parte de estas comunidades encontramos a otras especies como son *Pinus strobiformis*, *P. hartwegii*, *Cupressus arizonica*, *Quercus greggii*, *Arbutus xalapensis* y *Arctostaphylos pungens*, así como poblaciones pequeñas de *Picea mexicana* que son reportadas como nativas en la Sierra de Arteaga (sureste de Coahuila). Dos de las especies de *Abies* se encuentran descritas como amenazadas: *Abies vejari* y *A. mexicana*, en la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059-1994).

Bosque de pino; Superficie 2,013.50 Km², (1.331 porciento).

Son comunidades dominadas por especies del género *Pinus* frecuentes en las laderas y partes altas de las sierras, con climas templados y semihúmedos, en función de la exposición que recibe los vientos húmedos. Cubren aproximadamente el 2% del área estatal. El bosque de pino piñonero es el más frecuente y se extiende de los 1,200 a los 2,300 msnm, mezclado con

comunidades de matorral desértico chihuahuense, matorral submontano, bosque de encinos y pastizales, las especies más frecuentes son: *Pinus cembroides* y *P. remota*. En sierras del sur del estado se presentan también *Pinus pinceana* (especie sujeta a protección especial por la Norma Oficial Mexicana; NOM-ECOL-059-1994) asociado usualmente con *Juniperus erythrocarpa*, *Opuntia stenopetala*, *Juniperus saltillensis*, *Chrysactinia mexicana*, *Rhus virens*, *Yuca carnerosana*, *Fraxinus greggii*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Tillandsia recurvata* y en las comunidades de pastizal una de las especies representativa es *Bouteloua gracilis*.

Comunidades poco densas de *Pinus arizonica* var. *stormiae* mezcladas con bosques de encino son frecuentes en la mayoría de las sierras del centro y norte del estado. En la Sierra de Arteaga, al sur del estado, son frecuentes *Pinus teocote*, *P. greggii*, *P. hartwegii*, *P. strobiformis* y *P. pseudostrobus* generalmente mezclados con especies de los géneros: *Quercus*, *Arbutus*, *Ceanothus*, *Prunus*, *Fraxinus*, entre otros. Las especies del género *Pinus* de mayor valor económico son: *Pinus pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis*.

Bosque de pino - encino; Superficie 222.05 Km², (0.147 porciento).

Comprende comunidades mezcladas de los géneros *Pinus* y *Quercus* y es prácticamente semejante al bosque de encino – pino, sólo que en ésta comunidad vegetal el pino es el elemento dominante.

Las combinaciones de las especies, tanto de pino como de encino, varían de acuerdo al suelo y altitud de la región.

Las más importantes de este tipo de bosque son: *Pinus engelmannii*, *P. montezumae*, *P. reflexa* (especie catalogada como rara por la Norma Oficial Mexicana; NOM-ECOL-059-1994), *P. remorata*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *P. cembroides*; y en el caso donde los encinos dominan las especies sobresalientes son: *Quercus emoryi*, *Q. Microphylla* y *Q. microlepis*.

Bosque de táscate; Superficie 157.95 Km², (0.104 porciento).

También conocido como Bosque de *Juniperus*. Cubre pequeñas áreas en las estribaciones de las principales serranías de la entidad, se desarrolla en condiciones ecológicas más secas que donde se encuentran los bosques de pino - encino; fisonómicamente este tipo de vegetación puede variar desde matorrales hasta árboles de 15 metros, aunque la altura media varía entre 2 y 6 metros. Las especies más importantes por su frecuencia y aprovechamiento son: *Juniperus flaccida*, *J. monosperma*, *J. deppeana*, *J. monticola*.

Chaparral; Superficie 7,473.08 Km², (4.930 porciento).

Asociaciones generalmente densas de arbustos resistentes al fuego, comúnmente, de encinos (*Quercus* spp.) bajos y muy densos de uno a dos metros de altura.

Acompañados a menudo por manzanita (*Arctostaphylos pungens*) y otras especies arbustivas, tales como *Cotoneaster* spp., *Adenostoma* spp y *Cercocarpus* spp, entre otras.

Comúnmente se les localiza en la zona de contacto del clima templado subhúmedos con los climas semicálido, templado y semifrío, con grados de humedad árido y semiárido; se desarrolla principalmente en laderas de cerros, crecen por arriba del nivel de los matorrales de las zonas áridas, de los pastizales y en ocasiones mezclados con los bosques de pino y encino.

Huizachal; Superficie 521.79 Km², (0.345 por ciento).

Comunidad vegetal dominada comúnmente por huizaches (*Acacia* spp.); se caracterizan por ser árboles bajos espinosos de 2 a 5 m de altura predominando el género *Acacia* spp; se desarrollan en climas más secos que las selvas bajas caducifolias y más húmedos que los matorrales xerófilos. Con mucha frecuencia se encuentra asociada con otra comunidad denominada mezquital.

Tanto mezquites como huizaches presentan una gran utilidad, bien sea como fuente forrajera (ya que el ganado ramonea el follaje y come el fruto), o para la obtención de leña y fabricación de una serie de aperos de labranza de uso frecuente entre los campesinos.

Matorral crasicaule; Superficie 55.64 Km², (0.037 porciento).

Vegetación formada por cactáceas grandes que incluyen nopaleras, cardonales y tetecheras. Este matorral se distribuye principalmente en las zonas áridas y semiáridas del país. Abundante en la parte norte de la República.

Matorral espinoso tamaulipeco; Superficie 403.03 Km², (0.266 porciento).

Tiene su distribución en el norte y noreste del estado, en una serie de planicies y lomeríos al este de la Sierra del Carmen, de la Babia, Santa Rosa, la Purísima y la Gavia. Ocupa una extensión de aproximadamente el 19 porciento del área estatal.

Fisiográficamente está localizado en la provincia de la Planicie Costera del Golfo, con alturas que van desde los 240 hasta los 850 msnm. Los suelos son gravosos, arenosos y profundos en los valles, pedregosos y someros en lomeríos, generalmente con buen drenaje. La temperatura media anual es de 21°C y la precipitación media anual fluctúa entre los 300 y los 635 milímetro.

La asociación más frecuente es la de *Acacia rigidula*, *Leucophyllum frutescens*, *Prosopis glandulosa*, con elementos de *Parthenium incanum* en las regiones de la porción oeste, y *Cordia boissieri* en las regiones hacia el este. Otros arbustos o árboles pequeños presentes en este tipo de matorrales son: *Cercidium macrum*, *Guacimum angustifolium*, *Celtis palida*, *Karwinskia*

humboldtiana, *Acacia farnesiana*, *Castela erecta*, *Acacia constricta*, *Ziziphus obtusifolia*, *Opuntia lindheimeri*, *Lycium berlandieri*, *Opuntia leptocaulis*, *Forestiera angustifolia*, *Diospyros texana* y *Colubrina texensis*. En el estrato herbáceo son frecuentes las gramíneas en comunidades abiertas o protegidas entre los arbustos; las más frecuentes son: *Aristida purpurea*, *Bouteloua curtipendula*, *Aristida adscensionis*, *Tridens muticus*, *Bouteloua trifida*, *Sporobolus cryptandrus*, *Hilaria belangeri*, *Cenchrus ciliaris*, *Buchloe dactyloides* y *Chloris pluriflora*.

Matorral desértico micrófilo; Superficie 3,599.60 Km², (2.380 por ciento).

Comunidad caracterizada por elementos arbustivos de hojas pequeñas, se encuentra generalmente en terrenos aluviales planos, laderas inferiores de los cerros de gran parte de la Altiplanicie y en zonas áridas y semiáridas del norte del país; la especie más frecuente es la gobernadora (*Larrea tridentata*). Las especies asociadas más comunes son: el hojásén (*Flourensia cernua*), *Parthenium incanum*, *Prosopis glandulosa* y *Acacia neovernicosa*. Las comunidades van de poco densas a densas, dependiendo de la profundidad del suelo y la humedad disponible. Otras especies frecuentes son: *Fouquieria splendens*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia imbricata*, *Viguiera stenoloba*, *Opuntia leptocaulis*, *Leucohyllum minus*, *Cordia parvifolia*, *Yuca treculeana*, *Koeberlinia spinosa*, *Jatropha dioica*, *Agave scabra*, *A. lechuguilla*, *Franseria dumosa*, *Prosopis laevigata*, *Celtis pallida* y *Parthenium argentatu.m*.

Este tipo de vegetación se encuentra por lo general dedicada a la ganadería, ya que muchas especies pueden ser ramoneadas por el ganado, principalmente el ovino. Frecuentemente en estas zonas cuando los suelos son buenos la población los dedica a la agricultura.

Matorral desértico rosetófilo; Superficie 273.88 km², (0.181 por ciento).

Tipo de vegetación dominado por especies con hojas acomodadas en roseta. Este tipo de matorral se encuentra presente en áreas con suelos someros, usualmente pedregosos y con buen drenaje en laderas de las sierras y lomeríos, cubre aproximadamente el 6 por ciento del estado.

Se distribuyen ampliamente en zonas áridas y semiáridas del estado de Coahuila. La especie dominante es *Agave lechuguilla*, la cual presenta hojas arrosadas y frecuentemente forma colonias mediante rizomas. Otras especies comunes en esta comunidad son: *Parthenium argentatum*, *Jefea brevifolia*, *Hechtia texensis*, *Opuntia microdasys*, *Fouquieria splendens*, *Jatropha dioica*, *Parthenium incanum*, *Mimosa zygophylla*, *Tiquilia greggii*, *Cailiandra conferta*, *Viquiera stenoloba* y *Dasyilirion cedrosanum*.

Matorral submontano; Superficie 318.69 km², (0.211%).

Comunidad formada principalmente por elementos inermes y caducifolios por un breve periodo del año; se localiza generalmente entre los límites de

matorrales áridos, bosque de encino y selva baja caducifolia, principalmente en las partes bajas de ambas vertientes de la Sierra Madre Oriental en su posición septentrional, en Coahuila se encuentra en pequeñas elevaciones.

Las especies más frecuentes son: *Quercus invaginata*, *Cercocarpus montanus*, *Quercus imbricata*, *Cercocarpus mojadensis*, *Quercus pungens*, *Vauquettinia corymbosa*, *Quercus pringlei*, *Ptelea trifoliolata*, *Berberis trifoliolata*, *Rhus virens*, *Sophora secundiflora*, *Rhus microphylla*, *Fraxinus greggii*, *Acacia berlandieri*, *Colubrina greggii*, *Atoysia gratissirna*, *Ungnadia speciosa*, *Eysenhardtia texana*, *Mimosa biuncifera* y *Dasyllirion cedrosanum*. *Brahea berlandieri* es frecuente en las cimas, riscos y arroyos de las sierras, y en los bosques de pino. Dado el poco suelo con que cuentan las zonas donde se desarrolla este tipo de flora, generalmente se dedican a la ganadería extensiva ya que existen especies que el ganado ramonea. Muchas de las plantas de este tipo de vegetación se usan en la obtención de postes para cercas, como es el caso de la barreta y otras.

Mezquital; Superficie 1,434.07 Km², (0.948%).

Comunidad dominada por mezquites (*Prosopis spp*), especie que desarrolla un fuste bien definido, y que en la mayoría de los casos sobrepasa los cuatro metros de altura. Por lo general se desarrolla en suelos profundos, motivo por el cual muchas veces se elimina la vegetación, para poder dedicar

los suelos a actividades agrícolas. Los matorrales se clasifican por su fisonomía y en el estado se encuentran los siguientes:

Matorral inerme; Superficie 8,090.80 Km², (5.349 por ciento).

Comunidad formada por más del 70 por ciento de plantas sin espinas, como los matorrales de gobernadora (*Larrea tridentata*), hojaseén (*Flourensia cernua*), hierba del burro (*Franseria dumosa*), entre otras.

Matorral subinerme; Superficie 53,116.59 Km², (35.116 por ciento).

Comunidad compuesta por plantas espinosas o inermes cuya proporción de unas a otras es mayor del 30% y menor del 70 por ciento.

Matorral espinoso; Superficie 5,044.49 Km², (3.335 por ciento).

Formado por más del 70 por ciento de las plantas espinosas. Entre los matorrales de este tipo son frecuentes las comunidades formadas por huizaches (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis* spp.), chaparro prieto (*Acacia amentacea*), etcétera.

Nopalera; Superficie 14.75 Km², (0.010 porciento).

Asociación de plantas comúnmente conocidas como nopales (*Opuntia* spp.), cardenches, chollas, tasajillos, alicoche, etcétera. Se encuentra generalmente en las zonas áridas y semiáridas. Uno de los usos más importantes de los nopales es la utilización para obtención de frutos y consumo humano; además de servir como plantas forrajeras, muy utilizadas por los ganaderos en tiempos de sequía crítica.

Izotal; Superficie 1,357.57 Km², (0.897 porciento).

Son frecuentes tanto en valles como en laderas de sierras, mezclados con elementos del matorral micrófilo o rosetófilo. Las especies más frecuentes son *Yucca carnerosana*, *Yucca filifera*, *Yucca treculeana*, *Yucca rostrata*, con *Dasyllirion cedrosanum* y *Agave lechuguilla*. Otras especies presentes son: *Agave striata*, *Acacia berlandieri*, *Hechtia texensis*, *Aloysia gratissima*, *Euphorbia antispyhillitica*, *Parthenium argentatum*, *Gochnatia hypoleuca*, *Viguiera stenoloba*, *Mimosa biuncifera* y *Larrea tridentata*.

Matorral espinoso crasirrosulifolio; Superficie 40,305.74 Km², (26.646 porciento).

Asociaciones de plantas con hojas dispuestas en rosetas, carnosas y espinosas como: magueyes (*Agave* spp.), guapillas (*Hechtia* spp.), lechuguillas

(*Agave lechuguilla*), espadín (*Agave striata*), sotoles (*Dasyilirion* spp.) y otras especies.

Pastizal cultivado; Superficie 392.08 Km², (0.259 por ciento).

Se ha introducido intencionalmente y para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo. Son pastos nativos de diferentes partes del mundo tales como el zacate pangola (*Digitaria decumbens*), zacate buffel (*Pennisetum ciliaris*).

Pastizal gipsófilo; Superficie 101.69 Km², (0.067 por ciento).

Comunidad de gramíneas que se desarrolla en suelos que contienen grandes proporciones de yeso, frecuentemente en el fondo de cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas. Algunas de las principales especies que lo constituyen son el navajita de yeso (*Bouteloua chasei*), zacate de yeso (*Sporobolus nealleyi*), liendrilla (*Muhlenbergia purpusii*), etc.

Pastizal halófilo; Superficie 2,299.36 Km², (1.520 por ciento).

Comunidad de gramíneas, es decir, plantas con tallos huecos divididos por nudos y flores en espigas (como los cereales) que se desarrollan sobre suelos que contienen gran cantidad de sales, comúnmente conocidos como salino - sódicos. Este tipo de vegetación se desarrolla principalmente en el

fondo de cuencas cerradas de zonas áridas. Algunos de los géneros más comunes son: *Sporobolus*, *Sesuvium* y *Lycium*.

Pastizal - huizachal; Superficie 65.93 Km², (0.043 por ciento).

Comunidad vegetal caracterizada por la asociación de especies gramínoideas y huizache (*Acacia* spp.); se desarrolla en terrenos planos o con poca pendiente, en áreas del centro y del norte del país. Tiene contacto con el pastizal natural, pero difiere de este debido a su fisionomía; limita con el matorral crasicaule y con el matorral subtropical.

Pastizal inducido; Superficie 1,340.02 Km², (0.886 por ciento).

Es aquel que se da lugar cuando de alguna forma es eliminada la vegetación original que lo dominaba. Puede aparecer como consecuencia de desmontes de cualquier tipo de vegetación; también se observa en áreas agrícolas abandonadas o bien producto de áreas que se incendian con frecuencia.

Pastizal natural; Superficie 5,556.50 Km², (3.673 por ciento).

Es aquel que se localiza establecido en una región como producto natural de los efectos del clima, suelo y biota (condiciones ecológicas) de una región. Como ejemplo tenemos los pastizales del norte del país conocidos como zacate navajita (*Bouteloua gracilis*), además de otras especies.

Vegetación de desiertos arenosos; Superficie 1,267.38 Km², (0.838 porciento).

Se refiere a manchones de vegetación que invaden las dunas de las zonas áridas y semiáridas; con frecuencia provienen de áreas circunvecinas y frecuentemente están conformadas por mezquite (*Prosopis* spp.), gobernadora (*Larrea tridentata*), nopales (*Opuntia* spp.), saladillo (*Atriplex* spp), etc.

Vegetación de galería; Superficie 118.78 Km², (0.078 porciento).

Localizada en los márgenes de ríos o arroyos, en condiciones favorables de humedad local, fisonómicamente es diferente al resto de la vegetación que la rodea.

Vegetación halófila; Superficie 6,183.28 Km², (4.088 porciento).

Se refiere a aquellas agrupaciones vegetales que se desarrollan sobre suelos con grandes concentraciones de sales; se encuentran en las partes bajas de las cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas.

Potencial forestal

Coahuila está considerado como el tercer estado más grande del país, sin embargo, ocupa el 28° lugar por su producción forestal maderable.

Razón de ello es que su enorme extensión forestal corresponde a productos forestales no maderables, principalmente productos de recolección de especies vegetales o partes de ella (ceras, fibras, condimentos y plantas medicinales) de las zonas áridas y semiáridas. En la carta de potencial forestal se denominan Zonas de Producción no Maderable con un 47 por ciento de la superficie del estado.

La porción escasa de superficie boscosa con producción maderable (2.7 por ciento), es de producción restringida, en los que por sus condiciones de clima, suelo y pendiente, tienen al menos riesgos de erosión moderada en caso de un aprovechamiento forestal persistente y comercial (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Zonificación del potencial forestal
Fuente: Carta de Zonificación Forestal escala 1:250,000
Inventario Nacional Forestal Periódico, 1994.

Uso potencial del suelo	Km ²	%
Producción maderable alta	886.98	0.58
Producción maderable restringida	3,188.36	2.11
Producción no maderable	71,298.61	47.10
Restauración con degradación alta	24,867.94	16.43
Restauración con degradación media	22,070.85	14.58
Conservación	843.74	0.56
Otros usos	28,209.31	18.64

De acuerdo al ordenamiento ecológico de estado, una porción del estado (31 por ciento), presenta degradación media y alta, que corresponde a terrenos de aptitud forestal, sin cubierta arbórea o en muy poca proporción (menos del 20 por ciento), que muestran evidencias de erosión y demás, un riesgo potencial de alto a severo.

Por último se indican como zonas forestales (otros usos), aquellas zonas agrícolas, pecuarias y urbanas, sin vegetación forestal y con menos del 18 por ciento de pendiente, que actualmente están bajo un uso no forestal estabilizado. La información del uso potencial forestal se presenta en la Figura 3.5.

La zonificación por clases de conservación, restauración y producción, realizada por el ordenamiento ecológico del estado de Coahuila en 1998, aporta información para la planeación y toma de decisiones sobre el mejor uso de los recursos forestales.

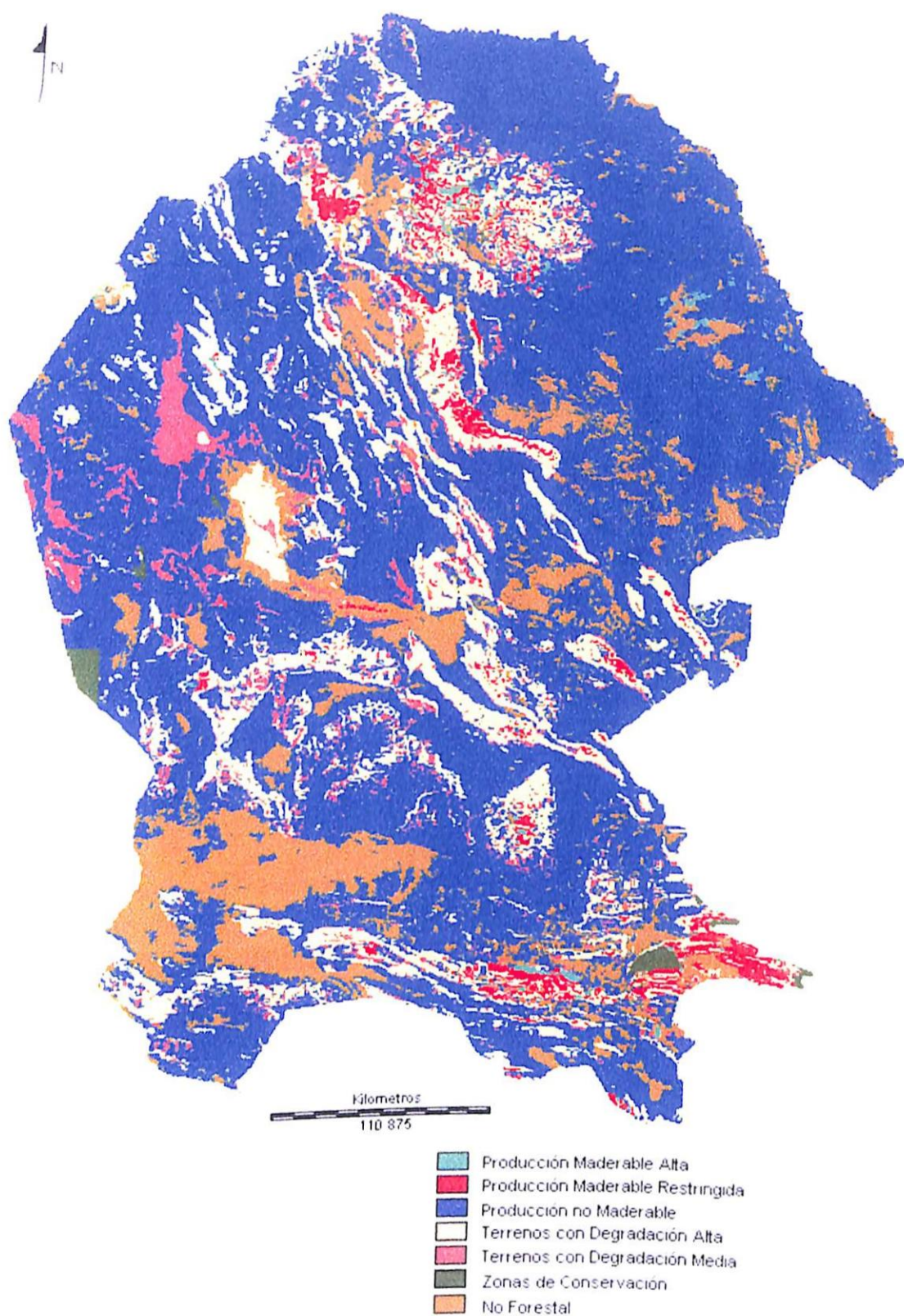


Figura 3.5 Potencial Forestal de Coahuila.
Fuente: Ordenamiento Ecológico de Coahuila.

Esquema metodológico

Para la realización de las dos etapas del trabajo: elaboración de mapas con áreas de riesgo de incendio forestal y la ejecución de quemas controladas; primeramente el estudio se realizó en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y para la segunda etapa se estableció un sitio para quemas, ambas acciones en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

Metodología

Para la primer etapa; elaboración de mapas con clasificación y ubicación de áreas con riesgo potencial de incendio forestal; se trabajó con la información del ordenamiento ecológico del estado de Coahuila; identificando los parámetros y clasificando en clases y rangos los siguientes factores, con los que se asocia el comportamiento del fuego:

I. TIPOS DE VEGETACIÓN

Las clases se establecieron tomando en cuenta que de los tipos de vegetación depende, más que de cualquier otro factor, el inicio y la propagación del fuego, por similitud a los modelos de combustibles que se utilizan para determinar los pronósticos de comportamiento del fuego, por su ubicación en el

estado, el contenido de sustancias inflamables, la carga, la continuidad horizontal y vertical y los antecedentes por causas de incendios. Con lo que se consideró diferentes sensibilidades al fuego de las formaciones vegetales.

Clase 5

Bosque de abies (ayarín)	Bosque de oyamel	Bosque de pino
Bosque de pino– encino	Bosque de galería	Bosque de encino
Bosque de encino- pino		

Para esta clase se consideraron los modelos de combustibles: 10 11, y 12 de la clasificación de los Estados Unidos de Norteamérica. La descripción del comportamiento del fuego indica que los fuegos consumen combustibles superficiales y del suelo con mayor intensidad, muchos de ellos resultan de la sobre madurez de los bosques o de sucesos naturales (vientos, nieve, etc.) que originan una gran cantidad de material muerto sobre el suelo. El incendio es bastante activo en los desechos y el material herbáceo mezclado con residuos.

Pueden ocurrir fuegos de rápida propagación con intensidades altas y capaces de generar pavesas. Cuando el incendio comienza, se propaga de forma continua hasta que se encuentre un cortafuego o se produzca un cambio en los combustibles. Los incendios de copa, focos secundarios e ignición esporádica de árboles individuales (coronamiento) son más frecuentes, dando lugar a dificultades para el control.

Clase 4

Bosque bajo abierto	Bosque de táscate	Chaparral
Huizachal	Mezquital	

Quedaron considerados los modelos de combustibles: 8 y 9. El comportamiento del fuego indica, que los fuegos superficiales arden con una longitud media de llama, aunque al encontrarse con acumulaciones de material pesado originan llamaradas. Con vientos de velocidad alta, se producen altas velocidades de propagación, esto es por la generación de pavesas. Las concentraciones de material leñoso muerto en algunas áreas, contribuyen a la ignición esporádica de copas de árboles (coronamiento) y a la creación de focos secundarios e incendios de copa.

Clase 3

Matorral micrófilo	Matorral micrófilo crasirrosulifolio
Matorral inerme	Matorral micrófilo izotal
Matorral rosetófilo crasirrosulifolio	
Matorral rosetófilo inerme	Matorral rosetófilo izotal
Pastizal gipsófilo	Pastizal halófilo
Pastizal natural	

Para la clase tres, se incluyeron los modelos: 6 y 7. la descripción del comportamiento del fuego, se manifiesta con la propagación del fuego por la

superficie del suelo y por las copas del matorral, donde el follaje es más inflamable, con igual facilidad y puede desarrollarse con contenidos altos de humedad del material muerto. Masas abiertas de sabana con matorral pueden estar representadas. El incendio descenderá al suelo a bajas velocidades de viento o en zonas desprovistas de matorral.

Clase 2

Matorral crasicaule	Matorral crasicaule nopalera
Matorral crasicaule subinerme	Matorral micrófilo espinoso
Matorral micrófilo subinerme	Matorral rosetófilo espinoso
Matorral rosetófilo subinerme	Matorral submontano
Matorral submontano espinoso	Matorral submontanosubinerme
Vegetación de galería	Vegetación halófila

Para esta clase se consideraron los modelos de combustibles: 4 y 5. la altura del matorral depende de las condiciones locales. Puede haber también una capa gruesa de hojarasca que dificulte la extinción. El comportamiento puede ser de fuegos rápidos que se propagan por las copas del matorral que forma un estrato casi continuo, consumiendo el follaje y material leñoso fino o vivo y muerto.

Clase 1

Matorral espinoso tamaulipeco-c	Matorral submontano inerme
Matorral espinoso tamaulipeco-e	Pastizal huizachal
Matorral espinoso tamaulipeco-i	Vegetación desiertos arenosos
Matorral espinoso tamaulipeco-s	Matorral espinoso tamaulipeco
Pastizal cultivado	Pastizal inducido
Áreas sin vegetación aparente	

(Figura 3.6).

La clase uno consideró a los modelos: 1, 2 y 3: donde el comportamiento del fuego tiene lugar a través de combustibles herbáceos finos, sean secos o muertos. Son fuegos superficiales en los que el material herbáceo, además de la hojarasca y las ramas muertas caídas del matorral o arbolado, constituyen la intensidad del incendio.

Áreas de matorral disperso y zonas arboladas de pino u otras especies que cubren un tercio o dos tercios de la superficie pueden incluir acumulaciones dispersas de combustibles que generan intensidades más altas y pueden producir pavesas.

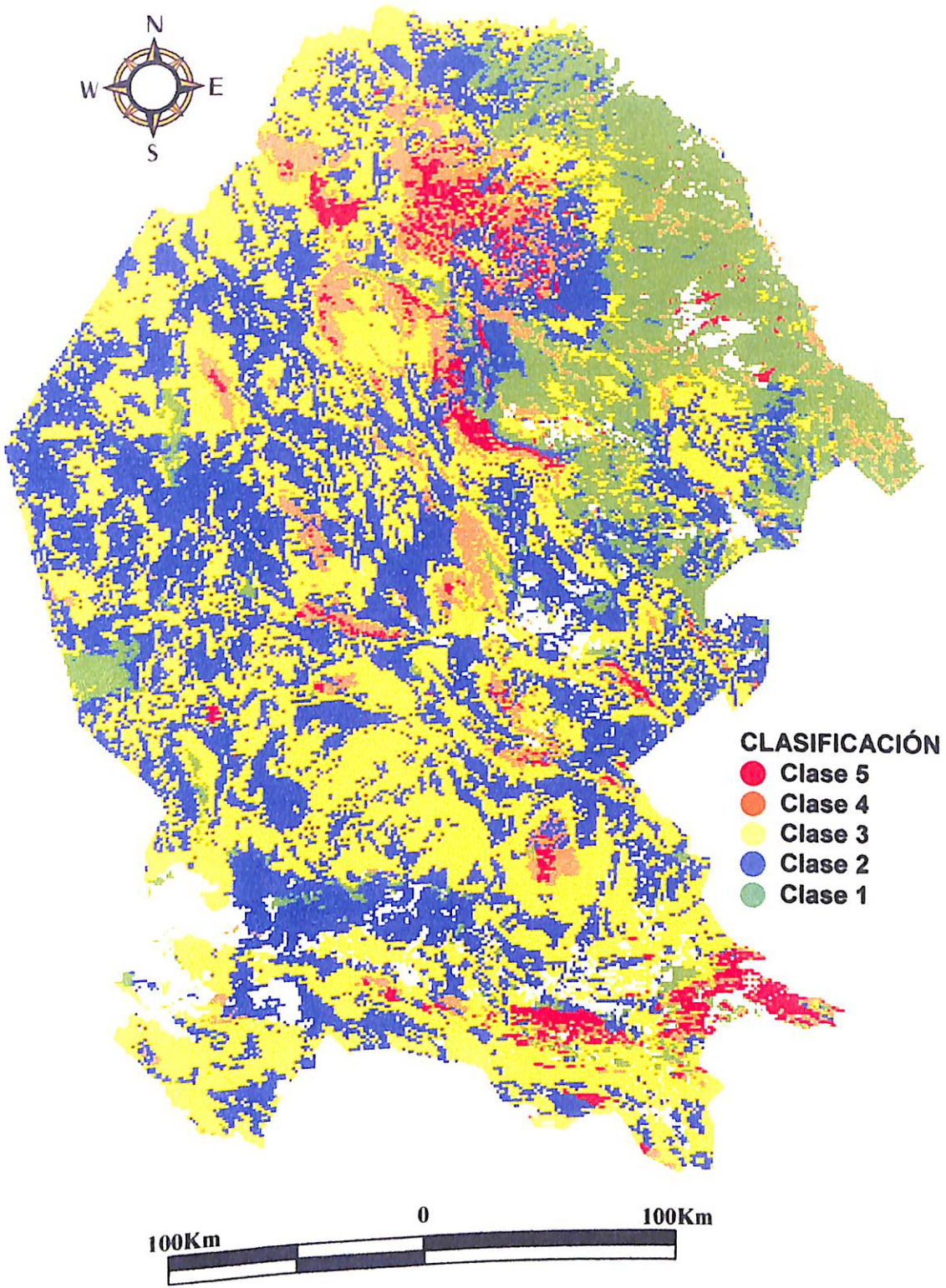


Figura 3.6 Tipos de vegetación y sus categorías.

II. USOS DEL SUELO

Las clases del parámetro usos del suelo, consideraron el desarrollo de agricultura de temporal por presentar el indicador de riego por quemas ocasional de residuos de cosecha, por uso del fuego, por la ubicación que presenta dentro o próximos al bosque o áreas forestales, considera también la población, la cual puede ejercer una presión directa en las áreas forestales por visitación y causal de incendio por descuidos.

Clases

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 5.- Agricultura de temporal | 4.- Agricultura de riego suspendido |
| 3.- Agricultura de humedad | 2.- Agricultura de riego |
| 1.- Cuerpos de agua, población y áreas sin vegetación aparente. | |

(Figura 3.7).

Ahora bien, en el sur de Coahuila, es ocasional la quema de residuos de cosecha, existe una actividad de quema de residuos del mantenimiento de huertos frutales que comúnmente son incinerados durante la temporada crítica de incendios, dichas áreas son aledañas a terrenos agrícolas y próximos a zonas con bosques. Asimismo, la creciente expansión de fraccionamientos campestres incrementa la visitación en las áreas forestales.

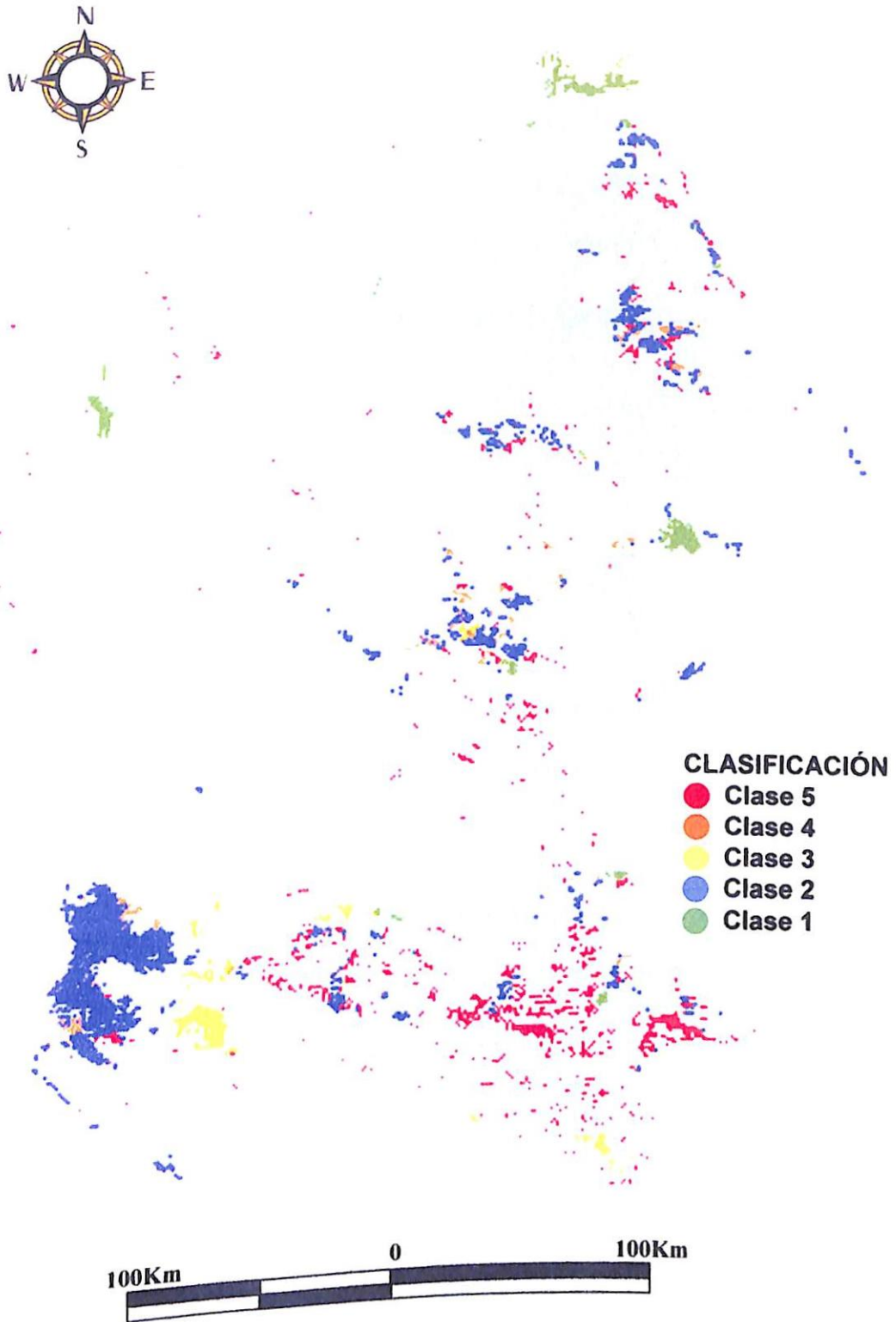


Figura 3.7 Usos del suelo y sus categorías.

III. POTENCIAL FORESTAL

Para la clasificación se consideró la principal característica de las áreas con aprovechamiento, que es la presencia de residuos y de actividades humanas, que de manera directa aumentan el riesgo de incendio por la acumulación combustible muerto y causas por descuido en el uso del fuego. Asimismo considerando las condiciones del semidesierto, los terrenos con degradación tiende a un mayor impacto por el fuego.

Clases

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 5.- Producción maderable alta | 4.- Producción maderable restringida |
| 3.- Terrenos con degradación media y alta | |
| 2.- Producción no maderable | 1.- No forestal |

(Figura 3.8)

Si bien, para Coahuila los aprovechamientos maderables no son significativos a comparación con otros estados, la existencia de caminos dentro de las áreas con aprovechamiento constituye riesgo por tránsito y descuidos en el uso del fuego. Asimismo, el pastoreo de ganado tiene ingerencia en el causal de incendio y considerando las características topográficas del semidesierto, los terrenos con grados de degradación, indican un nivel de atención.

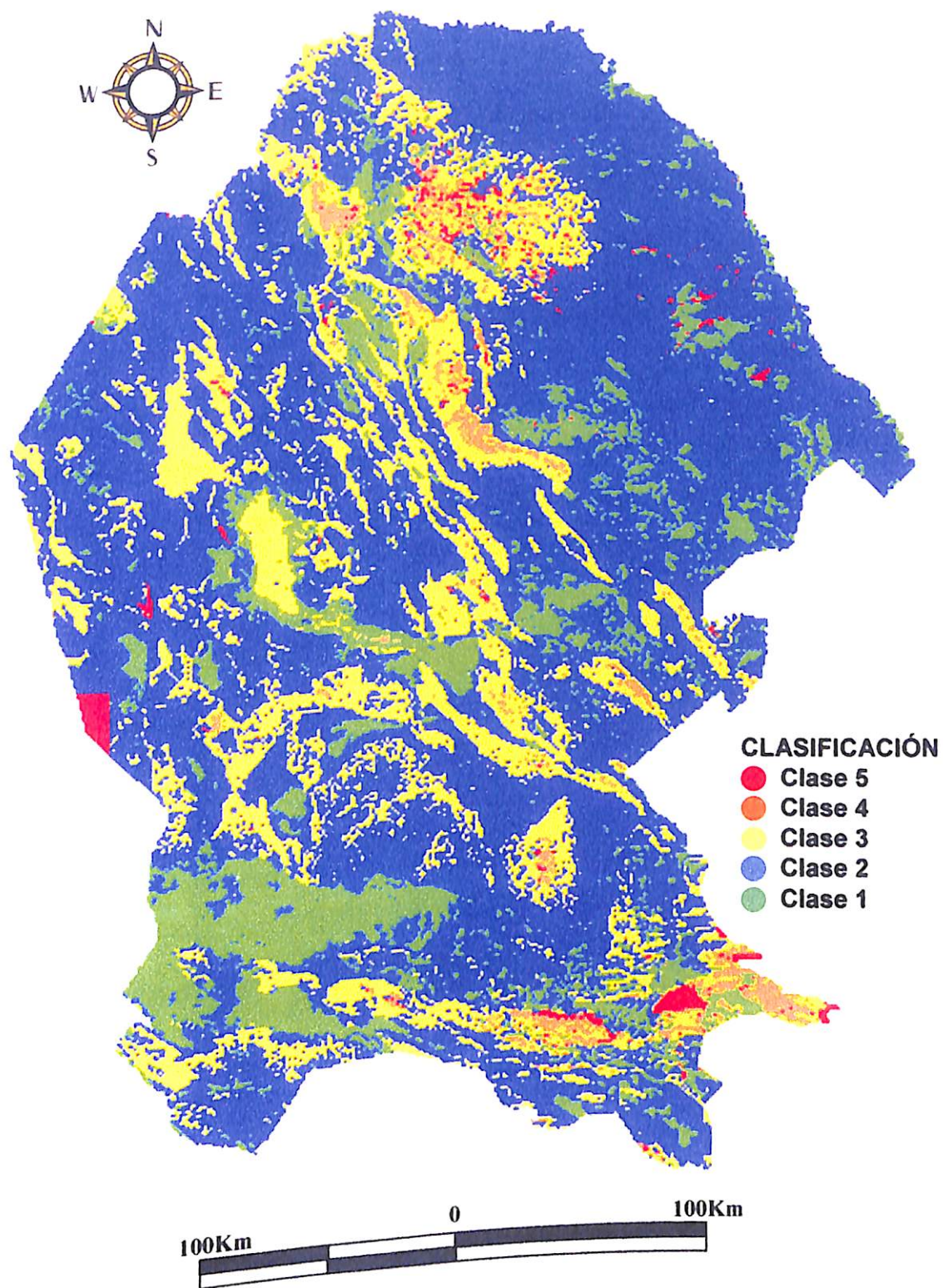


Figura 3.8 Potencial forestal y sus categorías.

IV. TAMAÑOS DE COMBUSTIBLES

Para las clases de tamaños de combustible, se consideraron las formaciones vegetales existentes y distribución en Coahuila, su similitud a los modelos de combustibles que se utilizan para los pronósticos de comportamiento del fuego y en cual se indica la carga de material, y la clasificación indicada en el método para clasificar los combustibles muertos desarrollado por Fosberg en 1971 en Norteamérica, atendiendo al tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental y que tienen una relación directa con un intervalo de grosor o categoría diamétrica. Asimismo se consideró una clase más para fines del sistema cartográfico, incluyendo a materiales de más de 15.5 cm de diámetro que se incorporarían al combustible disponible tras un período de sequía o en un incendio en el que se aportasen grandes cantidades de calor.

Clase 5

Mayores de 15.6 centímetros de diámetro, considerando trozas gruesas y fustes gruesos, tocones y ramas secas (bosques de coníferas).

En esta clase se incluyeron los bosques de coníferas con cargas de combustibles que pueden ser de 25 ton/ ha a menos 80 ton /ha, en algunas áreas la impresión visual es que dominan los desechos, muchos de los cuales son de diámetro superior a los 15.6 centímetros. Lugares con residuos de un anterior aprovechamiento se incluyen.

Clase 4

De 7.5 a 15.5 centímetros de diámetro, considerados materiales como ramas gruesas y fustes secos (Bosque abierto, táscate, encino y matorral).

Se consideran, materiales muertos caídos incluyen más cantidad de ramas de 7.5 centímetros o más de diámetro con cargas menores de 25 ton/ ha con valor medio general de 17 ton/ ha, con frecuentes concentraciones de material leñoso.

Clase 3

De 7.5 a 2.5 centímetros de diámetro, considerados como materiales medianos (huizachal, mezquital, chaparral y matorral espinoso tamaulipeco).

Incluye a las condiciones con materiales combustibles principalmente de ramas y tallos secos con cargas menores de 17 ton/ ha y valores medios de 14 ton/ ha. La velocidad de propagación puede ser sobreestimada con vientos de velocidad menos de 30 km/h. se Incluyen áreas arboladas de pino, poco densas con sotobosque de palmáceas y/ o especies inflamables.

Clase 2

De 2.5 a 0.5 centímetros de diámetro, considerados como materiales regulares (matorral, vegetación de galería, matorral espinoso tamaulipeco c, e, i, s.).

En esta clase se incluyeron ramas, tallos secos, corteza con menos de 17 ton/ ha y valores promedio de 10 ton/ ha, por su distribución en Coahuila, los materiales presentan gran contenido de humedad y no registra causas naturales de ignición.

Clase 1

De menos de 0.5 centímetros de diámetro, considerados como materiales finos y ligeros (pastizales y vegetación halófila)

(Figura 3.9).

Se consideran, materiales muertos de hojarasca, ramillas, materiales herbáceos finos que están secos y casi secos, anuales y perennes de 2 ton/ ha hasta 10 ton/ ha. Muy poco matorral o arbolado está presente, generalmente cubriendo menos de un tercio del área y aproximadamente un tercio o más de combustibles se supone muerto o seco.

V. TOPOGRAFÍA - PENDIENTE

Para la asignación de intervalos de clasificación de la pendiente se considero que a mayor valor, su influencia incrementa la velocidad de propagación, desarrollo de columnas de convección que son típicas de incendios de comportamiento extremo, el coronamiento y la presencia de focos secundarios.

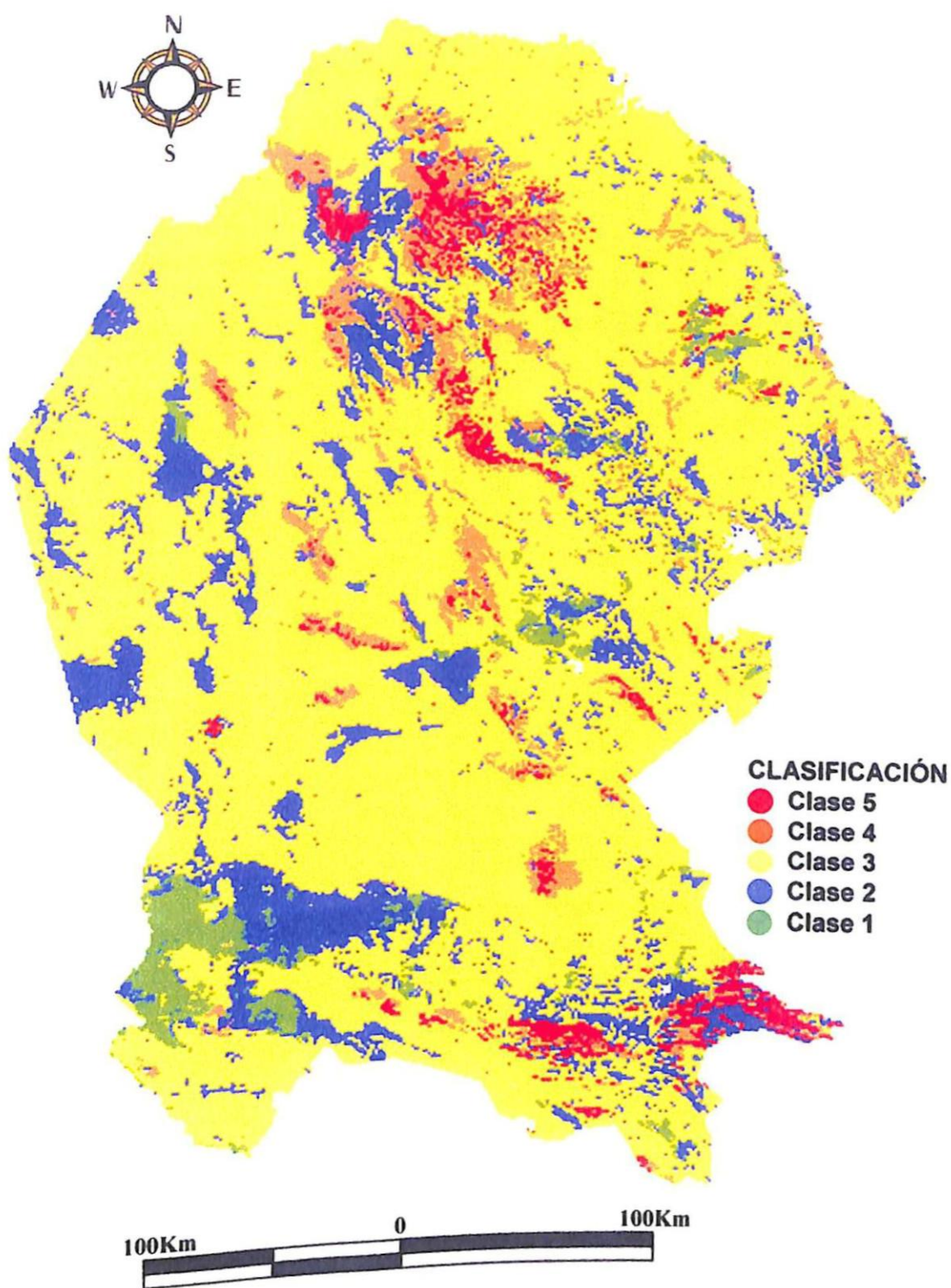


Figura 3.9 Tamaños de combustibles y sus categorías.

Asimismo, en pendiente fuerte el avance del fuego, equivale a un aumento de la velocidad del viento y que al subir el incendio a elevaciones más altas se enfrenta con variaciones mayores de velocidades del factor.

Clases

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 5.- Pendiente mayor del 55% | 4.- Pendiente de 35 a 54 % |
| 3.- Pendiente de 25 a 34% | 2.- Pendiente de 11 a 24 % |
| 1.- Pendiente de menor 10% | |

(Figura 3.10).

Para la asignación de clase se considero que la velocidad de propagación de un incendio generalmente aumenta con relación a una mayor pendiente del terreno. Se ha considerado que un incendio que se desarrolla sobre un terreno plano (0- 5% de pendiente) se llega a propagar al doble de velocidad cuando alcanza una pendiente del 30%, a su vez esta velocidad se duplica otra vez al aumentar la pendiente a 55%.

VI. TOPOGRAFÍA – ORIENTACIÓN

Para el parámetro orientación se consideraron las exposiciones que generalmente reciben mayor incidencia de rayos solares, registro de alta temperatura, baja humedad relativa y vientos de mayor intensidad (exposición

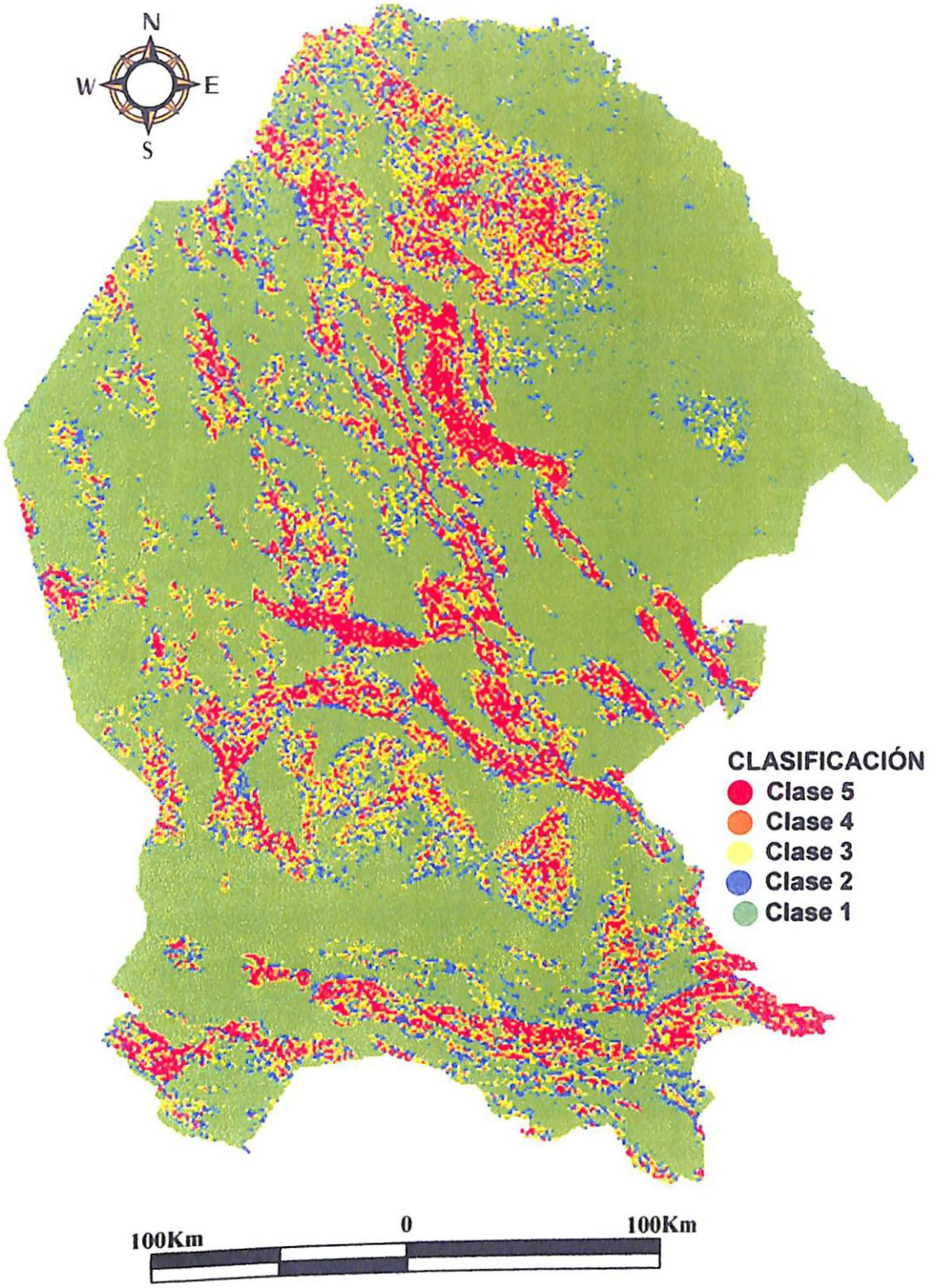


Figura 3.10 Rangos de pendientes y sus categorías.

sur), condiciones favorables que aumentan la probabilidad de desarrollo crítico de un incendio, que con frecuencia en Coahuila son originados por causas naturales. Debiendo tener presente los periodos frecuentes de sequía que se registran en la región, para las orientaciones norte.

Clases

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 5.- Exposición sur | 4.- Exposición sureste y suroeste |
| 3.- Exposición este y oeste | 2.- Exposición noreste y noroeste |
| 1.- Exposición norte | |

(Figura 3.11).

En Coahuila a las características de la topografía, se deben considerar la presencia de cañadas y cañones, los cuales facilitan la propagación del fuego, al actuar como chimeneas de las corrientes de aire, haciendo más agresivo el comportamiento del fuego

VII. POLÍGONOS CON FRECUENCIA HISTÓRICA DE INCENDIOS

Clases

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 5.- Ocurrencia de 59 a 104 incendios | 4.- Ocurrencia de 40 a 45 incendios |
| 3.- Ocurrencia de 12 a 14 incendios | 2.- Ocurrencia de 4 a 9 incendios |
| 1.- Ocurrencia de 0 a 2 incendios | |

(Figura 3.12).

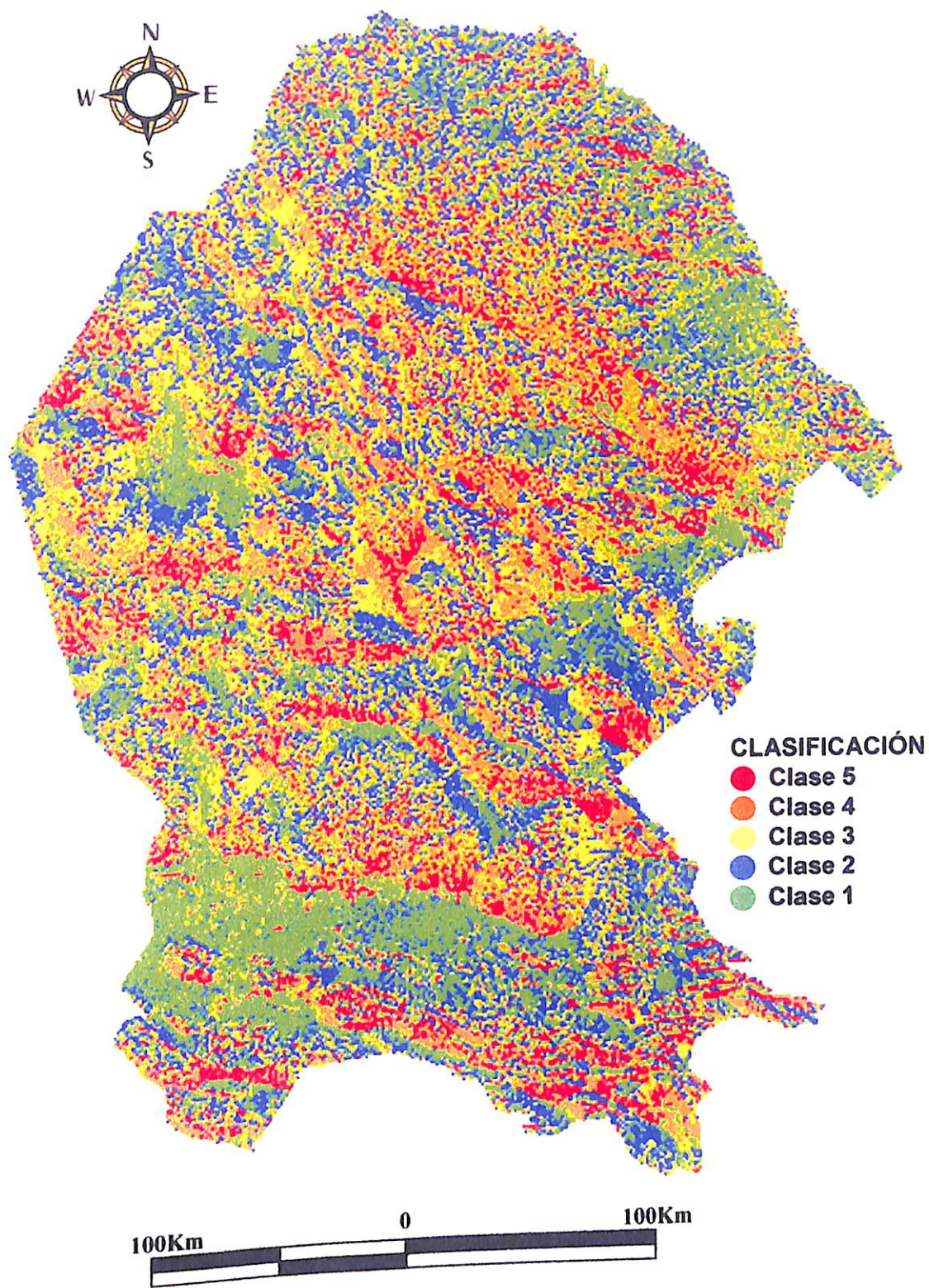


Figura 3.11 Orientación topográfica y sus categorías.

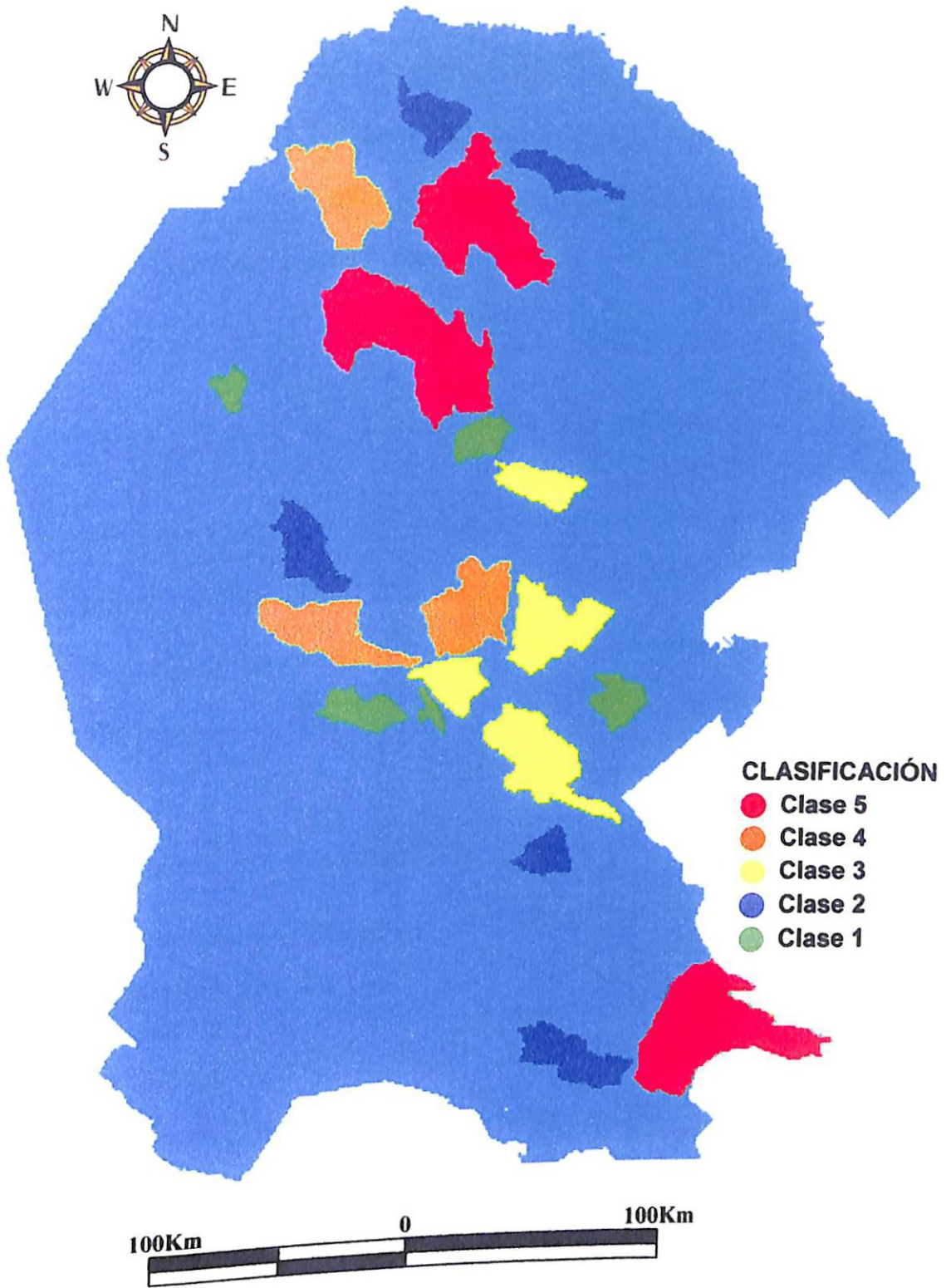


Figura 3.12 Polígonos de frecuencia de incendios y sus categorías.

Los rangos de frecuencia se agruparon por polígonos, considerando que existen áreas representativas de ocurrencia distribuidas en el estado y que año con año registran eventos de ignición generalmente por descargas eléctricas. Lo que coincide con las mayores dimensiones de superficie afectada y con base al periodo de registro oficial de incendios forestales en Coahuila, de los años 1993 al 2002 (SEMARNAT, 2002).

En el programa Idrisi, con la opción Reclass se realizó la reclasificación de los mapas, donde se definieron los límites y valores de cada clase del factor considerado a intervalos. Una vez generado los siete mapas temáticos de clases, se aplicó la operación Weight, que se utiliza para establecer una serie de pesos relativos para un grupo de factores en una evaluación multicriterio.

Los grandes factores que componen "La Gran Tríada" en el comportamiento del fuego, son: los combustibles, la topografía y el tiempo atmosférico.

Para la asignación de la importancia y la razón de peso de las variables consideradas, se tomó en cuenta los aspectos que influyen en el comportamiento del fuego, una vez que se origina la ignición; dándose prioridad a los factores más estables del comportamiento para establecer los niveles de peligro de incendio, quedando de la manera siguiente:

I. TIPOS DE VEGETACIÓN

Con un peso de 0.3764 y su importancia radica en que de los tipos de vegetación (combustibles) depende, más que de cualquier otro factor, el inicio y la propagación del fuego, constituyen el punto esencial de todo sistema de protección contra incendios y sobre el que debe recaer el mayor esfuerzo, por ser el único factor sobre el que cabe actuar directamente y de manera preventiva. La determinación del riesgo de incendio debe realizarse no solamente en función de las previsiones meteorológicas en el momento del incendio, sino también hay que considerar las diferentes sensibilidades al fuego de las formaciones vegetales.

Los tipos de vegetación tienen una acción directa en la magnitud de los incendios, debido principalmente a la presencia de sustancias inflamables, carga, compactación, continuidad horizontal y vertical, y su altura; esto último es lo que indica la presencia de incendios de copa, considerados más catastróficos y de grandes dimensiones para Coahuila.

II. TAMAÑOS DE COMBUSTIBLES

Con un peso de 0.2617 y su consideración está ligada al tipo de vegetación, su influencia está determinada por la disponibilidad de los materiales, lo que se alcanza en las diferentes épocas del año y dentro de esta, en menor o mayor tiempo dependiendo de la categoría diamétrica y su relación

con el tiempo de retardo. De esto último se establece que los combustibles de mayor tamaño arden con mayor intensidad, sin embargo los combustibles ligeros llegan a un equilibrio con la humedad del ambiente más rápidamente que los más gruesos, lo que los hace más disponibles para arder. En esta clase se considero para fines del sistema cartográfico, una categoría adicional a las desarrolladas por Fosberg en 1971, consideradas en Norteamérica, atendiendo al tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental. Los combustibles de más de 7.5 centímetros de diámetro se incorporarían al combustible disponible tras un período de sequía largo o en un incendio en el que se aportasen grandes cantidades de calor. Coahuila por ser una entidad que año con año registra incendios, muchos de ellos con características relevantes, lo que origina áreas afectadas con gran cantidad de material combustible muerto, que aunado a los periodos de sequía típicos de la región, generan condiciones de disponibilidad de materiales en zonas de bosque húmedos y con causas naturales de ignición.

III. TOPOGRAFÍA - PENDIENTE

Considerada con un peso de 0.1916 y su relevancia esta determinada por ser la característica más importante de la topografía que afecta el comportamiento del fuego. Su efecto se manifiesta por la influencia que ejerce en el desarrollo de la columna convección y por el hecho de que mientras más inclinada se presente, mayores posibilidades existen para que se establezca un

contacto directo entre las llamas y la copa de los árboles. Asimismo, la pendiente determina la dirección y velocidad de propagación del fuego; lo anterior, se debe a que el aire calentado por convección, mientras el fuego avanza, deshidrata más fácilmente a los combustibles de la parte superior, de la ladera, dejándolos disponibles para la combustión más rápidamente que en terreno plano.

IV. TOPOGRAFÍA – ORIENTACIÓN

Se asignó un peso de 0.0928, es también conocida como exposición. En Coahuila las laderas con orientación sur son las que reciben una mayor cantidad de radiación solar, por lo que son más secas, lo que afecta al tipo de vegetación existente, con una menor carga y con una mayor disponibilidad de los combustibles; en contraste, las exposiciones norte reciben menor radiación solar, están más húmedas, sustentando vegetación con mayor altura y carga, pero con menor disponibilidad de combustibles, esto último se ve alterado y tendiente en aumento por los consecutivos periodos de sequía que se han registrado en la entidad.

A estas dos características topográficas se suman la presencia de cañadas y cañones sobre las montañas, condición típica del estado de Coahuila, que facilitan la propagación del fuego, ya que actúan como corredores de aire, lo que hace más agresivo el comportamiento del incendio.

V. POTENCIAL FORESTAL

Con un peso de 0.0516 y su consideración es basada en la zonificación de terrenos forestales de acuerdo con sus aptitudes, potencial y degradación, que señalan en primer instancia la presencia de residuos de aprovechamiento, su abundancia, distribución y regularidad, lo que aporta principalmente combustible al piso de las áreas, siendo estas más susceptibles al fuego y la intensidad del mismo en un determinado periodo de tiempo. Las actividades inmersas en el manejo y aprovechamiento de los bosques, comúnmente señalan una relación en la presencia de los incendios por descuidos humanos o intencionales y un aumento de riesgo por la no limpieza o apilamiento de residuos. Los terrenos con grados altos de degradación, por lo general tendrán un impacto acumulativo que redundará en prioridades de atención y de alta inversión para la restauración.

VI. USOS DEL SUELO

Con un peso de 0.0259, considerando una clasificación de los terrenos por usos del suelo principalmente para agricultura presenta indicadores de riesgos por quemas de residuos de cosecha, por su ubicación dentro o próxima a bosques o áreas forestales, esta clase considera también la población, la cual puede ejercer una presión directa en las áreas forestales por visitación y causal de incendio por descuidos en la recreación y uso del fuego.

La combinación lineal de factores y coeficientes generan los pesos a partir de una serie de comparaciones por pares, con la que se mide la importancia relativa de los factores en la capacidad de acogida de los píxeles para la actividad que se evalúa. Produciendo una serie de pesos que suman 1. Los factores y los pesos resultantes pueden producir una combinación lineal ponderada. Con lo que se genero un mapa considerando los seis primeros factores con sus respectivas clases (Figura 3.13).

VII: FRECUENCIA HISTÓRICA DE INCENDIOS

En el periodo comprendido del año 1993 a 2002, se registraron 468 incendios forestales en el estado de Coahuila, las causas que originaron los siniestros en los últimos años se atribuyen en porcentajes principalmente en un 80 a causas naturales y en un 20 a actividades humanas; las descargas eléctricas son los fenómenos registrados que en su distribución estatal describen un comportamiento de concentración en polígonos de frecuencia que demarcan un patrón de presencia, situación por demás importante para la ubicación de áreas prioritarias de atención con base al número de eventos registrados y con posibilidades tendientes a relacionar regímenes naturales del fuego.

La determinación de la causa por medios estadísticos da a conocer el problema para orientar las acciones de prevención de incendios y de atención para los medios de extinción.

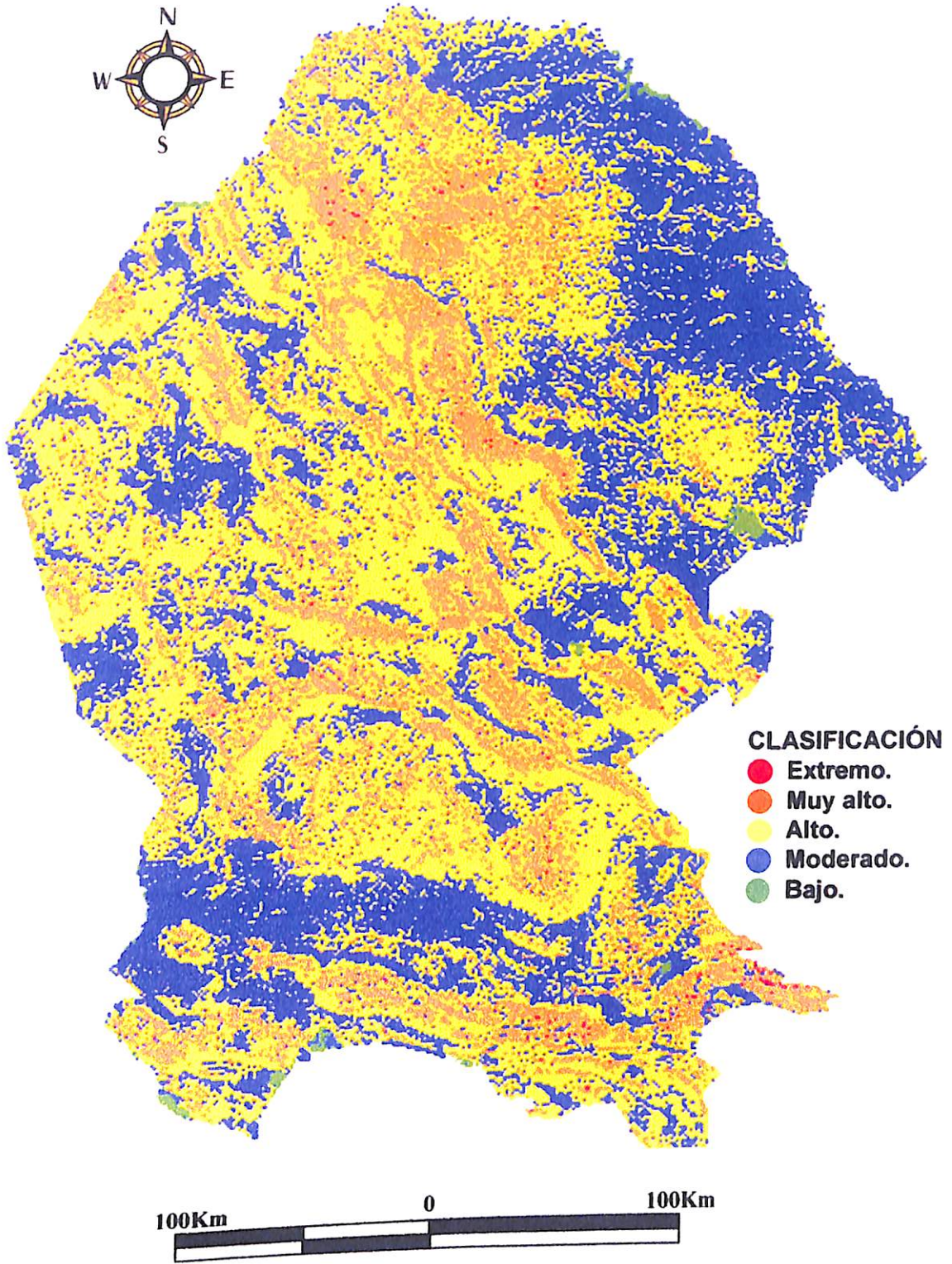


Figura 3.13 Factores del medio y sus categorías.

Para la ocurrencia de histórica de incendios forestales en Coahuila, se digitalizaron polígonos por frecuencia de ocurrencia de incendios que se georeferenciaron y elaboró un cuadro con los rangos y frecuencias de incendios forestales por municipios. La introducción de los datos al sistema de información geográfica consistió en ingresar las coordenadas geográficas de cada uno de los incendios, vaciando la información en una base de datos en la hoja de cálculo de Excel, grabado en un archivo de texto y desde Arc Info, se cambió la proyección de los puntos a coordenadas UTM, utilizando el comando Project File de Arc Info™. Obteniéndose el mapa con los polígonos clasificados por frecuencia y categoría de riesgo por registro de incendio forestal.

Posteriormente se realiza en la opción Idrisi, el cruce tabulado de los mapas de combinación de factores del medio y el mapa de los polígonos de frecuencia y categoría de riesgo de incendio, sobreponiendo los mapas. De manera que se obtuvo la modulación de factores del medio con los polígonos de ocurrencia (Cuadro 3.5), resultando los grados de peligro: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo (Figura 3.14).

Cuadro 3.5 Modulación de factores del medio (filas) con polígonos de ocurrencia (columnas) de incendios forestales en Coahuila.

	1	2	3	4	5
0	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO
1	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
2	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	EXTREMO
3	MODERADO	MODERADO	MUY ALTO	MUY ALTO	EXTREMO
4	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	EXTREMO	EXTREMO
5	ALTO	MUY ALTO	EXTREMO	EXTREMO	EXTREMO

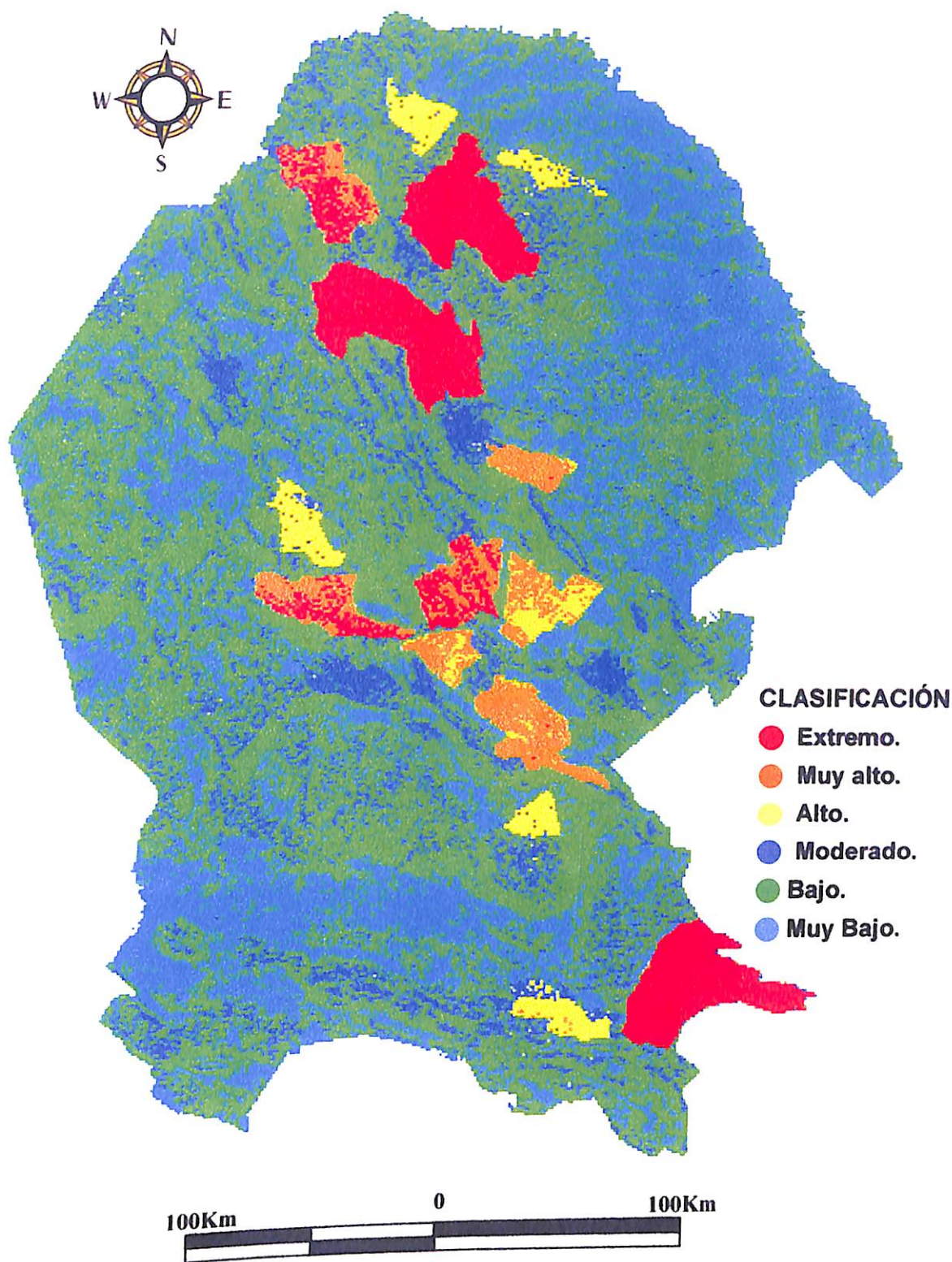


Figura 3.14 Clasificación y ubicación de áreas de riesgo de incendio forestal.

En la segunda etapa, al determinar índices de peligro de incendio para pastizal- matorral; el área de quemas se ubicó al costado este del Invernadero Forestal de alta tecnología; a los 25° 22' 35'' de latitud norte y 101° 01' 00'' longitud oeste, con altura sobre el nivel del mar de 1,570 metros.

El clima general del área según Köppen, modificado por García (1987) se clasifica como BSokx'(w)(e) que corresponde a un clima seco o árido, templado con verano cálido extremo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, la del mes más frío -3°C y 18°C y la del mes más caliente superior a 18°C, régimen de lluvias intermedias entre el verano e invierno.

El establecimiento del área experimental y la realización de quemas controladas, demandó las consideraciones siguientes:

Materiales

Los materiales utilizados para la toma de datos meteorológico y de las variables en estudio, así como medidas de seguridad y liquidación del fuego fueron:

- Estuche meteorológico portátil; compuesto por un anemómetro manual, brújula y psicrómetro manual. Instrumentos que se utilizaron para determinar la velocidad, dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

- Cronómetro digital; utilizado para determinar la velocidad de propagación del fuego.
- Probeta de madera de pino; compuesta por cuatro cilindros de 1.25 centímetros de diámetro y 48 centímetros de largo; que se utilizó para determinar el contenido de humedad de los combustibles (pastizal- matorral) antes de realizar la quema.
- Soporte de alambón; de 25 centímetros de altura y 30 centímetros de longitud, se utilizó para colocar la probeta de madera dentro de la parcela.
- Estufa de secado; se utilizó para acondicionar al inicio y después de cada medición, la probeta de madera al estado anhidro.
- Balanza digital; utilizada para determinar los pesos de la probeta de madera al inicio y durante las diferentes mediciones.
- Antorcha de goteo; con una mezcla de combustible en porcentajes de 30 de gasolina y 70 de diesel, que se usó para establecer la línea inicial de encendido del material combustible (pastizal- matorral) en la parcela de quemas.

- Banderolas; que se colocaron en la periferia del área de protección de la parcela para las quemas controladas y se utilizaron para visualizar de manera permanente la dirección del viento, antes , durante y al final de cada quema.
- Recolección de material combustible; material que se colocó en la parcela simulando la distribución natural del pastizal- matorral y con una carga promedio de 10 toneladas por hectárea, para cada una de la quemas realizadas.
- Herramienta manual especializada; compuesta principalmente por mochila aspersora, batefuego, Mc Leod, Pulaski y pala forestal, que se usaron como medida de seguridad, para liquidación y extinción del fuego, durante y al término de cada quema.

Área experimental

El área de ensayos de las quemas fue una parcela de 2 metros de ancho X 10 metros de largo con pendiente de 1% exposición zenital y circulación libre de los vientos. Como medida de protección se limpió de material combustible alrededor de la parcela en un radio de 20 metros. Se acondicionó una cama de combustible muerto de pastizal - matorral para cada ensayo de quema, tratando de modelar la distribución natural de este tipo de vegetación en la parcela.

Durante el período de febrero a julio de 1999, se realizaron semanalmente y a las 13:00 horas un total de 17 quemas.

Antes de iniciar la quema y durante la misma se realizaron mediciones de las condiciones meteorológicas y de las variables en estudio, que fueron:

- Velocidad de propagación del fuego; Variable dependiente como indicador de peligro de incendio, que se determinó con el auxilio de un cronómetro y en escala nominal en metros/ minuto.
- Contenido de humedad del combustible muerto (pastizal- matorral); se utilizó una probeta de madera de pino formada por cuatro cilindros de 1.25 centímetros de diámetro y 48 centímetros de longitud. La variable se midió por diferencia de pesos de una probeta y se expresó en porciento.
- Temperatura del ambiente; la determinación se hizo en escala en grados centígrados.
- Humedad relativa del ambiente; la medición fue en escala nominal en porciento.
- Velocidad y dirección del viento; la primera se determinó en kilómetros/ hora y la segunda de acuerdo a la rosa de los vientos.

Toma y recopilación de datos

Una vez establecido el material combustible (pastizal- matorral) en la parcela experimental, se colocó la probeta de madera en el soporte tres días antes de la quema; el día de la quema, primeramente se retira la probeta para determinar el contenido de humedad de los combustibles al momento de la quema.

El contenido de humedad de los combustibles muertos se determinó con base en la medición del contenido de humedad de la probeta de madera. Inicialmente la probeta se colocó en la estufa a una temperatura constante de 105°C hasta alcanzar un peso anhidro constante, al que se le llamó peso seco; el contenido de humedad se calculó a partir de la fórmula:

$$C. H. = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Donde:

C.H. = Contenido de humedad (%)

Peso húmedo = peso inicial o peso antes de la quema.

Peso seco = peso constante o peso anhidro.

Cada determinación de la humedad de la probeta requirió de pesarla antes de cada quema (peso húmedo) y después colocarla en la estufa para que volviera alcanzar su peso constante (anhidro). Dada la recomendación de utilizar la probeta únicamente durante tres meses, se utilizaron dos probetas en el periodo febrero a julio de 1999.

La determinación de las condiciones meteorológicas antes y durante las quemas controladas se realizó *In situ*. Con el apoyo del estuche meteorológico portátil; se determinó la temperatura ambiente, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento.

El encendido o ignición de los combustibles se realizó estableciendo una línea de fuego a lo ancho de la parcela experimental con la antorcha de goteo y en sentido a la dirección del viento.

Al completar la línea de fuego se dio marcha al cronómetro, que se detuvo a la distancia de diez metros y término de la quema. Obteniendo el promedio de la velocidad de propagación en metros/ minuto.

Procesamiento de datos

Los datos fueron tomados a las 13:00 horas, la información se codificó y se grabó para su análisis. El procesamiento de los datos se realizó con el paquete de cómputo S-plus. S-plus es un lenguaje de cómputo que provee un ambiente interactivo de la informática y análisis estadístico.

Puede almacenar una variedad de datos, manipular, trazar y analizar en ambas funciones y extensiones del usuario.

La flexibilidad de S-plus hace que pueda ejecutar una gama amplia de tareas y puede agregar sus funciones propias al idioma o personalizar la capacidad o reforzar el lenguaje con capacidades nuevas; sus principales características son: lenguaje matricial, manejo de datos, gráficas, aplicación de métodos estadísticos mediante menús y se puede programar nuevos métodos estadísticos o métodos no estándar.

Para el presente trabajo se utilizó la nomenclatura siguiente: V.V., representa la velocidad del viento; T., representa la temperatura ambiente; H.R., representa la humedad relativa; H.C., representa la humedad del combustible y V.P., representa la velocidad de propagación (Cuadro 3.6).

Cuadro. 3.6 Registro de datos de campo de las variables: viento, temperatura, humedad relativa, humedad del combustible y velocidad de propagación.

EVENTO	QUEMA	AZIMUT.	V. V.	T.	H. R.	H. C.	V. P.
1	1	45	9.00	28.00	32.00	8.40	3.42
2	3	45	18.00	18.00	60.00	2.02	7.50
3	4	45	16.00	24.00	36.00	4.97	6.00
4	5	45	17.00	22.00	42.00	3.95	6.89
5	12	45	12.00	30.00	25.00	7.50	6.37
6	13	45	18.00	30.00	12.00	2.45	5.55
7	14	45	14.00	30.00	30.00	4.97	5.65
8	15	45	14.00	30.00	26.00	4.36	6.18
9	16	45	10.00	28.00	43.00	10.87	3.52
10	17	45	9.00	26.00	46.00	11.07	3.22

Procedimiento de selección de la variable para determinar el modelo.

Existen diferentes estrategias para la selección de variables a incluir en el modelo que se va a evaluar. Podemos empezar con un modelo con todas las variables e interacciones- regresión hacia atrás (stepwise- backward), a partir del cual vamos eliminando variables cuya presencia no mejora la calidad del modelo según el criterio especificado o por el contrario, podemos empezar con una sola variable independiente e ir añadiendo (stepwise- forward) aquellas variables e interacciones que mejoran significativamente el modelo- regresión hacia delante.

La selección de la mejor variable se hizo en base a el coeficiente de determinación (R^2).

Para el caso, se utilizó la regresión "stepwise", traducida habitualmente como *regresión por pasos*, es una versión modificada del proceso de regresión hacia adelante en la que en cada paso nuevo, cuando se incluye una nueva variable, además se reconsidera el mantener las que ya se había añadido previamente, es decir que no sólo puede entrar una nueva variable en cada paso sino que puede salir alguna de las que ya estaban en la ecuación. El proceso finaliza cuando ninguna variable de las que no están en la ecuación cumple la condición para entrar y de las incorporadas a la ecuación ninguna cumple la condición para salir.

El modelo seleccionado por el procedimiento stepwise, tomando las variables simples, que determina la relación de la variable y la velocidad de propagación, fue:

$$Y_i = \beta_0 - \beta_1 X_i + e_i$$

Donde:

Y_i = es el valor predicho para el modelo.

β_0, β_1 = son los coeficientes de regresión.

X_i = es la variable seleccionada por presentar influencia en el valor predicho.

e_i = es el elemento aleatorio de error, no correlacionado, con media 0 y varianza constante σ^2 .

Asimismo, se realizó el argumento de diagnostico del modelo lineal.

Escala de índice de peligro de incendio.

Con base en los análisis realizados, se estructuró una escala de índices de peligro de incendio, basado en la amplitud de los valores obtenidos de la ecuación lineal considerada.

Finalmente, se realiza la modulación de los grados de riesgo (factores del medio y la ocurrencia de incendios) con los índices de peligro (velocidad de propagación con base a la humedad del combustible).

Cuadro 3.7 Modulación de grados de riesgo (filas) con índices de peligro (columnas) de incendio forestal en Coahuila.

	1	2	3	4	5	6
1	MODERADO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
2	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
3	ALTO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO

Con lo que se generó un sistema de alerta de incendios forestales con sus respectivas indicaciones de caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primer etapa

Considerando la elaboración del mapa estatal con la clasificación y ubicación de áreas de mayor riesgo a la incidencia de incendios forestales, se clasificaron para Coahuila seis clases de riesgo de incendio, que son: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo, con sus respectivos códigos de color e indicando los municipios comprendidos en cada clase.

De un total de 151,578.37 km² que comprende el estado de Coahuila, se estima que 46,822.56 km² se pueden considerar de muy bajo riesgo; 69,271.31 km² se encuentran clasificadas como de bajo riesgo, 16,719.09 km² como de moderado, 3,683.35 km² son de alto riesgo, 4,986.93 km² como de muy alto riesgo y 10,095.12 km² considerados como de riesgo extremo.

La ubicación de las regiones de cada municipio por clase de riesgo de incidencia de incendio forestal, se determinó considerando la parte central de cada entidad respecto a la orientación general del mapa:

Muy bajo

Considera de manera representativa los municipios de Allende, Frontera, Guerrero, Hidalgo, Jiménez, Matamoros, Morelos, Nava, Sabinas y Villa Unión.

Bajo

Comprende de manera significativa los municipios de Francisco I. Madero, Juárez, Progreso, San Pedro, Sierra Mojada, Torreón y Piedras Negras.

Moderado

Se considera la región del oeste de Abasolo; el noroeste de Candela; norte de Castaños; sur de Escobedo; sureste de Monclova; noreste de Viesca; oeste de Sacramento; noroeste de San Juan de Sabinas y noroeste de San Buenaventura.

Alto

Comprende las porciones del sur y sueste de Acuña, oeste de Abasolo, suroeste de Lamadrid; noroeste y suroeste de Nadadores; sureste de Ocampo, el noreste, sureste de Parras, noroeste de Ramos Arizpe, noreste de General Cepeda, noroeste de Saltillo y noroeste de Zaragoza.

Muy alto

Considera la región del suroeste de Acuña, noroeste y noreste de Cuatrociénegas; ; sur de Ocampo; este de Castaños, noroeste y sureste de Múzquiz.

Extremo

Comprende el sur y suroeste de Acuña; este y noroeste de Zaragoza, suroeste de Acuña, oeste y noroeste de Múzquiz; norte de Cuatrociénegas, noreste de Castaños, noroeste de San Buenaventura, este y noreste de Saltillo y el municipio de Arteaga.

Si bien, los municipios de Acuña, Múzquiz, Cuatrociénegas, Zaragoza, Saltillo y Arteaga están considerados como de nivel extremo, es relevante señalar que además de los parámetros considerados para la clasificación, en los que se encuentra las pendientes fuertes, el tipo de vegetación, tradición en la producción maderable, tamaños de combustibles, ocurrencia histórica de los incendios; las grandes distancias y la falta de una red de radiocomunicación en las áreas del norte, no dejando de influir en esta condición las causas que origina los incendios, que de acuerdo con la SEMARNAT en Coahuila, son por descuido de paseantes y descargas eléctricas (rayos). Lo anterior genera un mosaico desigual de condiciones en las diferentes regiones a lo largo del historial de la presencia del fuego, al parecer manteniendo unas condiciones similares a la de los regímenes de fuego.

Para la condición muy alta, son cinco municipios, señalando que además de los parámetros considerados para la clasificación, influye nuevamente la falta de red de comunicación y las grandes distancias a recorrer para el reporte y atención de los siniestros, principalmente en los municipios del centro y norte

del estado, que es donde por lo general los eventos son originados por acusas naturales.

En la condición alta, se ubicaron diez municipios, las condiciones topográficas, la combinación de materiales combustibles medianos y ligeros (matorral-pastizal), materiales de rápida propagación; las actividades agropecuarias que se desarrollan en los municipios como causales, así como las acusas naturales, principalmente dan esta condición de riesgo

En el nivel moderado, se encuentran nueve municipios, se considera que los principales parámetros que influyen son las pendientes pronunciadas, los combustibles de tipos matorral y las causas naturales; además la inaccesibilidad de las zonas donde se registran los siniestros, hace que adquieran comúnmente dimensiones de consideración y que inclusive en ocasiones al igual que las áreas de norte se ha requerido de equipo especializado para el control.

En la condición de bajo, quedaron incluidos los restantes 7 municipios, indicando las condiciones que principalmente influyen, son, la topografía generalmente poco pronunciada, el escaso registro de tormentas eléctricas y el aspecto frecuente de discontinuidad de los combustibles, hacen que en la mayoría de los casos de registro de incendio, quede a nivel de conato.

Para el nivel muy bajo, se ubicaron nueve municipios que generalmente presentan condiciones topográficas someras y limitadas de barreras naturales que propician muy baja presencia de descargas eléctricas, la discontinuidad horizontal de los combustibles y los tipos de vegetación son favorables para la no propagación del fuego. Asimismo, presentan un historial de muy bajo a nulo registro de incendios.

Asimismo, considerando el registro de incendios forestales en Coahuila durante el periodo de 1993 al 2002, se enlistaron los municipios de acuerdo a la frecuencia de los eventos (Cuadro 4.1).

Existe una tendencia de las áreas de condición alta o muy alta, resultados del estudio, pasen hacer de consideración extrema, principalmente por la causa natural que origina los incendios, la falta de redes de comunicación, la inaccesibilidad de las zonas y la política nacional actual de suprimir todo fuego que se presente.

Por otra parte, el manejo de combustibles en todo el estado es de muy bajo o nulo impacto, lo que trae consigo una acumulación considerada de las cargas de combustibles y el establecimiento de su continuidad vertical, que aunada a los frecuentes y largos periodos de sequías, establecen la disponibilidad de combustibles pesados y muertos; base para el registro de siniestros relevantes de gran impacto.

Cuadro 4.1 Frecuencia de incendios forestales durante el periodo de 1993 a 2002 para el estado de Coahuila (SEMARNAT, 2002).

RANGOS FRECUENCIA	GRADO DE PELIGROSIDAD	MUNICIPIOS
0 - 2	Bajo	Allende, Frontera, Guerrero, Hidalgo, Juárez, Matamoros, Morelos, Nava, Sabinas, Sacramento, San Juan de Sabinas, Sierra Mojada, Villa Unión, Jiménez, Progreso, Piedras Negras, Torreón Francisco I. Madero, Escobedo y Viesca.
4 - 9	Moderado	Abasolo, Monclova, San Pedro, Candela, Gral. Cepeda, Parras y Lamadrid.
12 - 14	Alto	Ramos Arizpe, Nadadores, Castaños y San Buenaventura
40 - 45	Muy alto	Zaragoza, Saltillo y Cuatrociénegas.
59 - 104	Extremo	Acuña, Ocampo, Arteaga y Múzquiz.

SEMARNAT, 2002

Registro de incendios por Municipios en el periodo 1993 a 2002

- 1.- Jiménez, Progreso, Piedras Negras, Torreón y Francisco I. Madero.
- 2.- Viesca y Escobedo.
- 4.- Abasolo, Monclova, Candela y General Cepeda.
- 5.- San Pedro y Parras.
- 9.- Lamadrid
- 12.- Ramos Arizpe.
- 13.- Nadadores y San Buenaventura.
- 14.- Castaños.
- 40.- Zaragoza.
- 44.- Saltillo.
- 45.- Cuatrociénegas
- 59.- Acuña.
- 64.- Ocampo.
- 74.- Arteaga.
- 104.- Múzquiz.

Los resultados en niveles de riesgo de incendios, incluyen a las áreas naturales protegidas del estado en los niveles de extremo y muy alto, lo que hace necesario establecer acciones inmediatas de manejo de combustibles; asimismo, al considerar que cuentan con planes de manejo propios, puedan establecer un manejo del fuego acorde, pero diferente al dictado por las políticas actuales de atención a los siniestros.

Segunda etapa

Determinación de la ecuación de regresión

El segundo objetivo del trabajo fue determinar el modelo para estimar la velocidad de propagación como indicador del peligro de incendio, a partir de los factores velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y la humedad del combustible, indicando los diagramas de dispersión de factores en la Figura 4.1

Para la determinación de la ecuación se aplicó el procedimiento stepwise en el lenguaje de computo S-plus. La determinación del modelo fue con base al \hat{C}_p Mallows.

Los factores que componen al modelo, así como su coeficiente de regresión se encuentran en el Cuadro 4.2

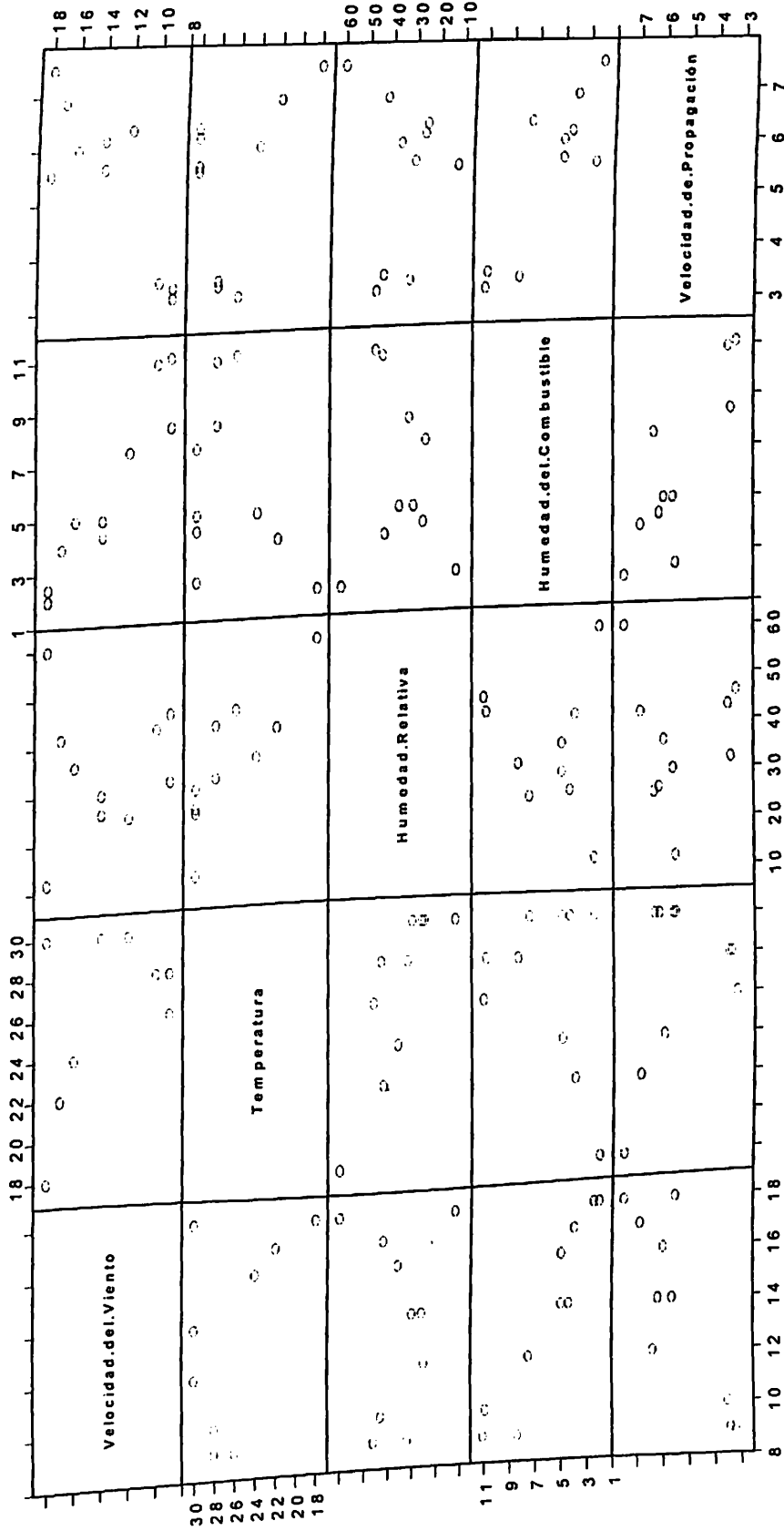


Figura 4.1 Diagrama de dispersión de los factores.

Cuadro 4.2 Análisis de varianza, coeficiente de regresión y selección de ecuación.

*** Summary Statistics for data in: datos.final ***

numeric matrix: 12 rows, 5 columns.

	VViento	Temp	HRelativa	HComb	VPprop
Min:	9.000000	18.000000	12.000000	2.020000	3.2200000
1st Qu.:	10.500000	24.500000	27.000000	4.052500	4.0275000
Mean:	13.700000	26.600000	35.200000	6.056000	5.4300000
Median:	14.000000	28.000000	34.000000	4.970000	5.8250000
3rd Qu.:	16.750000	30.000000	42.750000	8.175000	6.3225000
Max:	18.000000	30.000000	60.000000	11.070000	7.5000000
Total N:	10.000000	10.000000	10.000000	0.000000	10.0000000
NA's :	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000
Std Dev.:	3.560587	4.115013	13.348325	3.246489	1.5210596
SE Mean:	1.125956	1.301281	4.221111	1.026630	0.4810013
LCL Mean:	11.152910	23.656297	25.651184	3.733601	4.3418995
UCL Mean:	16.247090	29.543703	44.748816	8.378399	6.5181005

*** Correlations for data in: datos.final ***

numeric matrix: 5 rows, 5 columns.

	VViento	Temp	HRelativa	HComb
VV	1.00000000	-0.4261878	-0.04769132	-0.9419168
Temp.	-0.42618780	1.00000000	-0.82774224	0.3112594
HR	-0.04769132	-0.8277422	1.00000000	0.1515268
HC	-0.94191683	0.3112594	0.15152682	1.00000000
VP	0.84402243	-0.4129046	0.04908818	-0.8465170

	VProp
VViento	0.84402243
Temp	-0.41290463
HRelativa	0.04908818
HComb	-0.84651702
Vprop	1.00000000

*** Stepwise Regression ***

*** Stepwise Model Comparisons ***

Start: AIC = 14.8312
 $VProp \sim HComb + HRelativa + Temp + VViento$

Single term deletions

Model: $VProp \sim HComb + HRelativa + Temp + Vviento$ scale: 0.9887496

	f Sum of Sq	RSS	Cp
<none>		4.943748	14.83124
HComb	1 0.7682970	5.712045	13.62204
HRelativa	1 0.3068630	5.250611	13.16061
Temp	1 0.1130953	5.056843	12.96684
VViento	1 0.2718008	5.215549	13.12555

Continuación...

Step: AIC= 12.9668

VProp ~ HComb + HRelativa + VViento

Single term deletions

Model:

VProp ~ HComb + HRelativa + VViento

scale: 0.9887496

	Df	Sum of Sq	RSS	Cp
<none>			5.056843	12.96684
HComb	1	0.7657009	5.822544	11.75504
Relativa	1	0.4423062	5.499149	11.43165
Vviento	1	0.1740808	5.230924	11.16342

Step: AIC= 11.1634

VProp ~ HComb + HRelativa

Single term deletions

Model:

VProp ~ HComb + HRelativa

scale: 0.9887496

	Df	Sum of Sq	RSS	Cp
<none>			5.23092	11.16342
Hcomb	1	15.54150	20.77242	24.72742
Relativa	1	0.67039	5.90131	9.85631

Step: AIC= 9.8563

VProp ~ HComb

Single term deletions

Model:

VProp ~ Hcomb

scale: 0.9887496

	Df	Sum of Sq	RSS	Cp
<none>			5.90131	9.85631
Hcomb	1	14.92129	20.82260	22.80010

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = VProp ~ HComb, data = datos.final, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.31	-0.2187	0.03832	0.3868	1.513

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.8319	0.5991	13.0718	0.0000
HC	-0.3966	0.0882	-4.4975	0.0020

Residual standard error: 0.8589 on 8 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7166

F-statistic: 20.23 on 1 and 8 degrees of freedom, the p-value is 0.002009

Ecuación de predicción

La ecuación de predicción determinada presenta la siguiente expresión:

$$V.P. = 7.8319 - 0.3966 H.C.$$

Donde:

V.P. = Velocidad de propagación

H.C. = Humedad del combustible

Presentando diagrama de dispersión y ecuación de predicción (Figura 4.2 y 4.3)

Ecuación que presentó un valor de r^2 de: 0.7166

La determinación del modelo para variables simple. Se hizo basándose en la prueba de f y los coeficientes de determinación.

El análisis de varianza resultante se encuentra en el Cuadro 4.2.

Construcción de los índices para la determinación del grado de peligro de incendio.

Considerando la revisión bibliográfica, lo establecido en otras escalas de peligro de incendio y los resultados del presente trabajo, se determinó utilizar

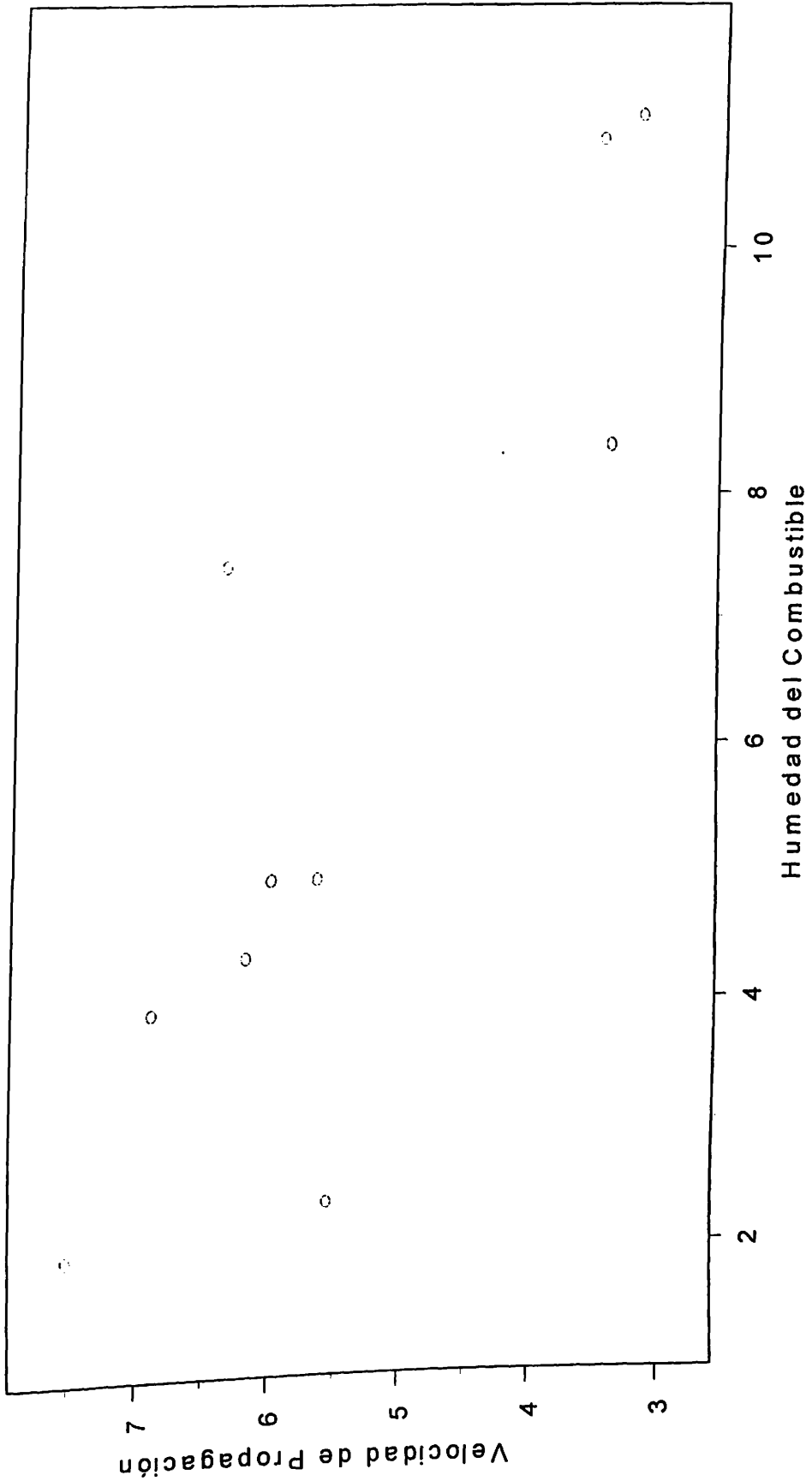


Figura 4.3 Diagrama de dispersión de humedad del combustible y velocidad de propagación.

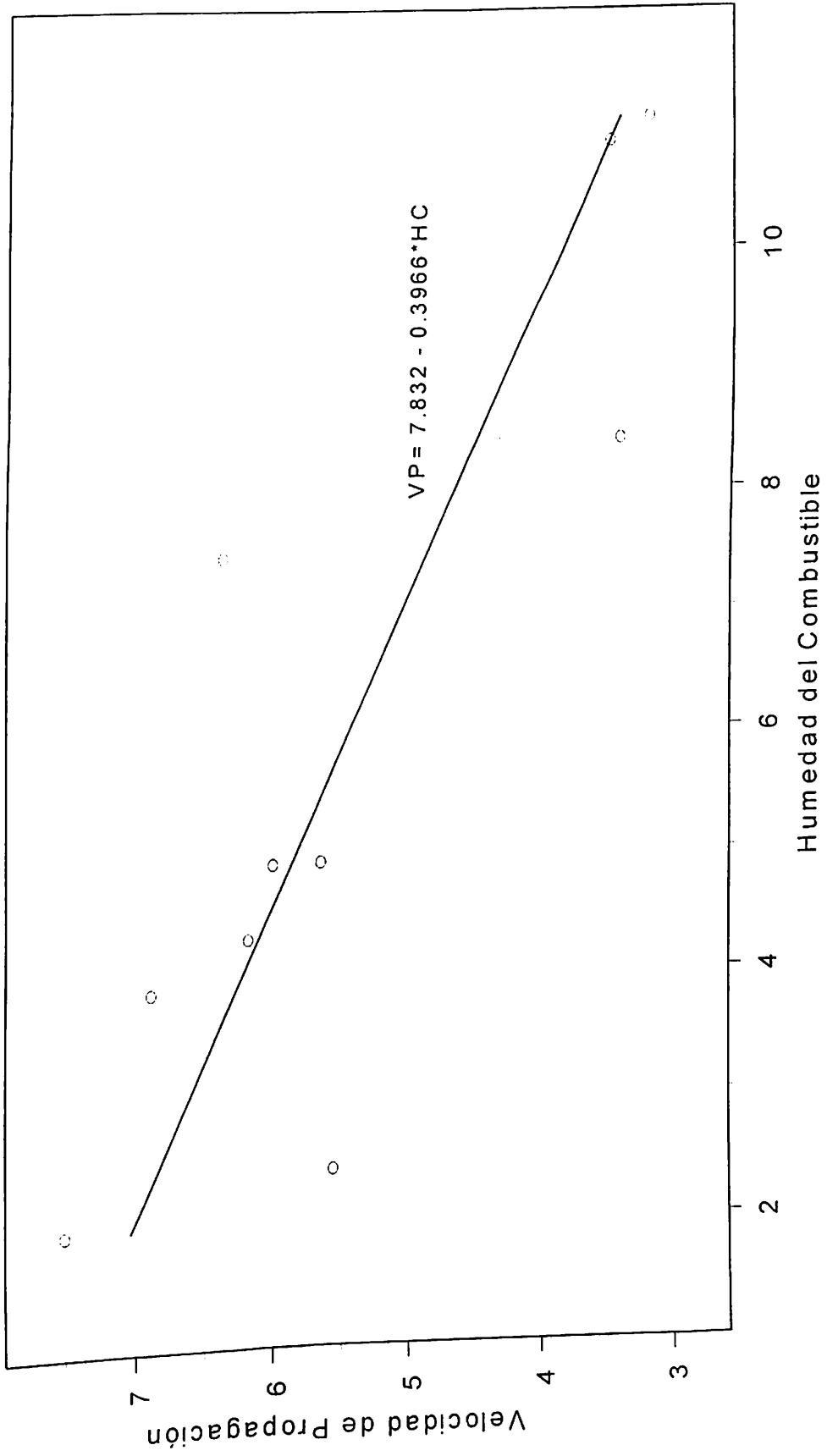


Figura 4.4 Ecuación de predicción.

una escala de tres grados, tomando en cuenta los valores máximos y mínimos de la variable evaluada, al 95 por ciento de confianza (Figura 4.4).

Utilizando la humedad del combustible como variable independiente y la velocidad de propagación como variable de respuesta, se elabora el nomograma (Figura 4.5) y se tiene la escala de índice de peligro de incendio forestal (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3 ESCALA DE ÍNDICE DE PELIGRO DE INCENDIO FORESTAL

Clase	Grado de peligro	Índice de peligro	Color asociado
I	Bajo	menos de 3.4415	Azul
II	Moderado	3.4415 a 7.0307	Amarillo
III	Alto	7.0307 a mayor	Rojo

El comportamiento del fuego esperado de acuerdo con Brown y Davis en 1973, para las clases indicadas sería el siguiente:

Clase I (Bajo).- los combustibles requieren de una intensa fuente de calor para encender, como un relámpago. La exposición del fuego por llama encendida en los combustibles persiste toda la noche, sólo como un fuego ardiendo sin llama o arrasando los combustibles superficiales. El avance no ocurre. El proceso de liquidación sólo es necesario al controlar incendios.

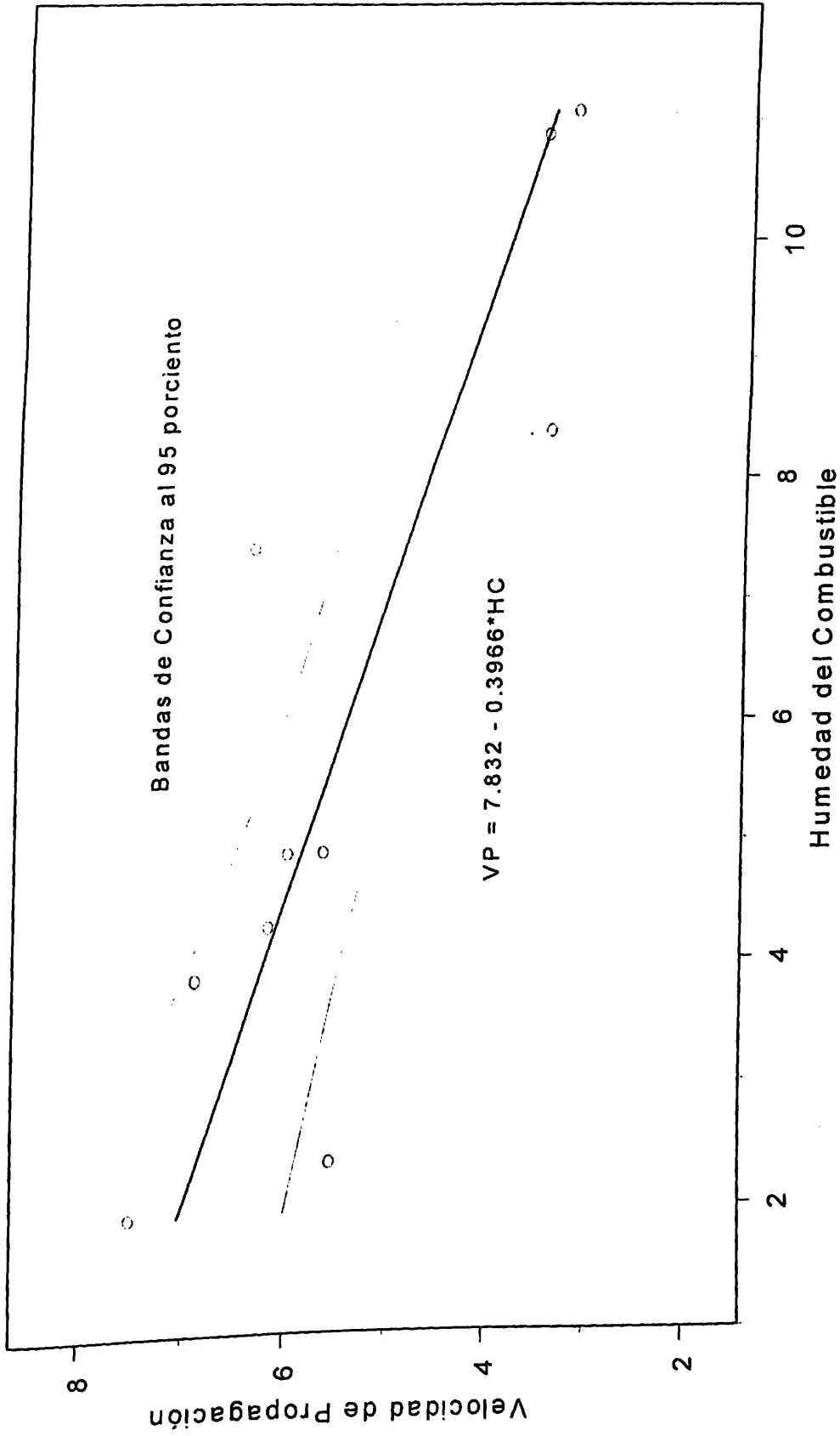


Figura 4.5 Bandas de confianza al 95 por ciento.

Humedad del combustible

Velocidad de propagación

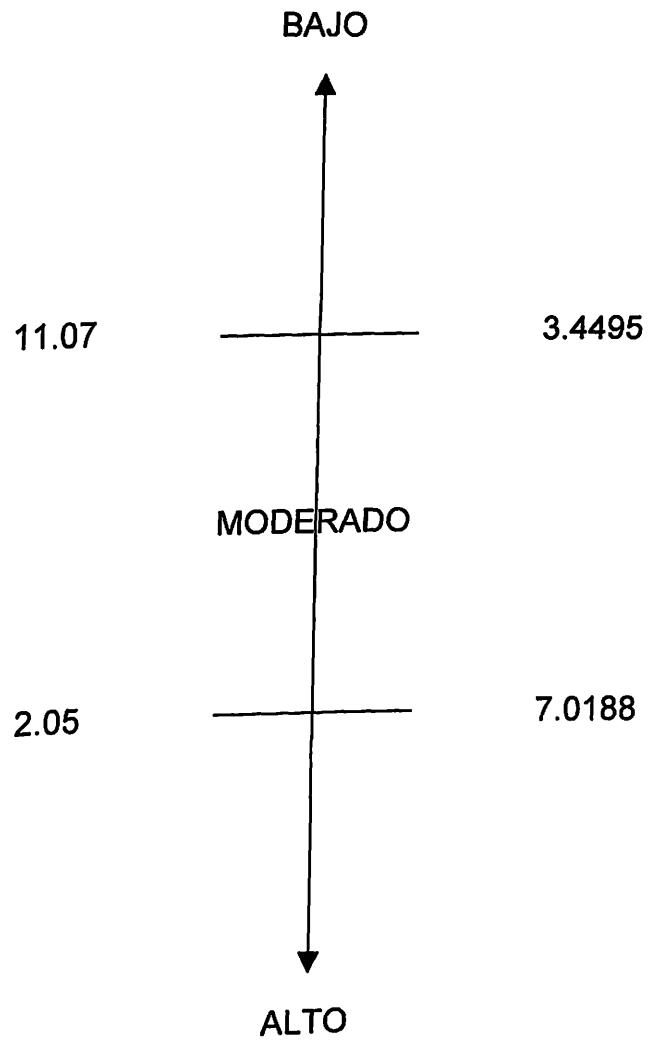


Figura.- 4.5 Nomograma para la determinar el grado de peligro de incendio utilizando la humedad del combustible.

Clase II (Moderado).- Los materiales combustibles finos y muertos encienden en la mayoría de las áreas calientes, pero normalmente no encienden combustibles pesados en incendios abiertos, el viento puede extenderlo rápidamente, pero el fuego en el bosque avanza en una proporción de baja a moderada intensidad. El control de los incendios es relativamente fácil en todas sus fases.

Clase III (Alto).- Los materiales finos y muertos encienden rápidamente en la mayoría de los combustibles y a corta distancia el avance es común. El quemado con alta intensidad ocurre en pendientes y en acumulación de combustibles. Los incendios de copa pueden ocurrir. La tendencia en los combustibles mixtos es intensificar el fuego para que avance durante varias horas. El control es difícil, si no se completa en las fases tempranas del avance.

Método de cálculo

Los datos que fueron considerados para la elaboración de los índices, son las lecturas de humedad del combustible, que se toman a las 13:00 horas del día.

Ejemplo: considerando un valor de 5 por ciento de humedad del combustible y la ecuación de regresión se tendría:

$$Y = 7.8319 - 0.3966 X_i$$

$$V.P. = 7.8319 - 0.3966 (5)$$

$$V.P. = 7.8319 - 1.983$$

$$V.P. = 5.8489$$

El valor de 5.8489 nos indica un índice de propagación moderado.

Sistema de alerta

Como resultado de la modulación de entre grados de riesgo con los índices de peligro, se establecen los índices de alerta que presentan los indicadores en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 SISTEMA DE ALERTA DE INCENDIOS FORESTAL.

CLASE	GRADO DE ALERTA	INDICADOR DE ALERTA
I	Moderado	Amarillo
II	Alto	Naranja
III	Muy alto	Rojo

Descripción e indicaciones del sistema de alerta

MODERADO

Comprende las condiciones de grados de Riesgo: muy bajo, bajo y moderado con valores mayores de 11.07 porciento de contenido de humedad del pastizal– matorral

El indicador es color amarillo, que señala:

- Los medios y equipos de extinción de incendios en el estado deberán estar listos para su movilización.

ALTO

Considera grados de riesgo en las condiciones de: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto con valores en porcentajes de 11.07 a 2.02 de contenido de humedad del pastizal- matorral.

El indicador es color naranja, que señala:

- los medios de detección y vigilancia se intensifican, dando prioridad a las áreas de visitación y campismo.
- Los medios y equipos de extinción de incendios en el estado deberán estar preparados al máximo y de guardia
- informar al publico a través de los medios de comunicación que alerte las medidas preventivas y de seguridad en áreas destinadas para uso del fuego.

MUY ALTO

Comprende condiciones con grados de riesgo: moderado, alto, muy alto y extremo con valores menores de 2.02 por ciento de contenido de humedad del pastizal- matorral.

El indicador es color rojo, que señala:

- muy alta probabilidad de múltiples y grandes incendios forestales.
- formación de focos secundarios causados por pavesas.
- no se permite el uso del fuego en áreas del bosque.
- Los medios y equipos de extinción de incendios en el estado deberán estar preparados al máximo y de guardia permanente las 24 horas.
- informar al público a través de los medios de comunicación de alerta máxima y de no uso del fuego en las áreas de bosque.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados del presente trabajo, el poder clasificar y ubicar dentro de un estado, áreas con diferentes niveles de riesgo de incendios forestales, se obtienen las siguientes conclusiones:

Con base en factores del medio y de comportamiento del fuego, se establecieron seis clases de niveles de riesgo de incendio forestal.

Las áreas de condición extrema y muy alta por sus características de vegetación, combustibles, pendiente, exposición, de causas que originan los siniestros y por incluir áreas protegidas, constituyen una prioridad por los recursos amenazados.

El nivel riesgo sigue la tendencia a la alza, por las características propias del Estado, en cuanto a topografía accidentada, gran acumulación de combustibles, inaccesibilidad, distanciamiento de centros de población, que sumado a la falta de una red de radiocomunicación y los frecuentes periodos de sequía establecen condiciones propicias para los incendios, aún en bosques húmedos.

Las regiones de nivel extremo y muy alto que presentan la posibilidad de atención acorde a un plan real de manejo del fuego; por ser zonas que incluyen las áreas naturales protegidas de Maderas del Carmen, Valle de Cuatrociénegas y sierra Zapalinamé, áreas que actualmente cuentan con sus propios planes de manejo.

Empleando la metodología es posible tener una clasificación y ubicación de áreas con diferente riesgos de incendio en una entidad.

Las áreas con riesgo alto y moderado, pueden pasar a condición de mayor riesgo por presentar características similares de topografía, orientación, acumulación de combustibles y causa natural de ignición.

La tendencia es a aumentar el número de incendios y la superficie afectada, debido principalmente a la presencia de largos periodos de sequía que se registran en la región, lo que pone en una mayor disponibilidad a los diferentes tipos de vegetación y a los materiales combustibles ligeros y pesados.

Es urgente la necesidad de establecer acciones de manejo de combustibles en las diferentes áreas de peligro, dando prioridad a la zona norte y sureste del Estado, diagnosticando las bases ecológicas requerida para un manejo integral del fuego.

Para la determinación de índices de peligro de incendio forestal para pastizal-matorral, como resultado del presente trabajo, se establece que:

La metodología utilizada en esta investigación para la elaboración de un índice de peligro de incendio, basándose en la humedad del combustible, es recomendable para la realización de estudios similares con diferentes tipos de vegetación.

Los factores de las condiciones meteorológicas y la humedad del combustible tienen una gran influencia en la velocidad de propagación de un incendio forestal.

Se puede estimar la velocidad de propagación en función de la característica de humedad del combustible.

Con la estimación de la velocidad de propagación, después de iniciado el fuego, se puede tener una idea del comportamiento esperado del fuego y del nivel de peligro que se tiene. La metodología debe aplicarse a otras regiones forestales mediante adaptaciones y el desarrollo de nuevas ecuaciones.

La metodología es sencilla y práctica, se puede realizar modulando diferentes tipos de combustibles, debiendo considerar un tamaño mayor de parcela para garantizar el pleno desarrollo de la dinámica del fuego y con un número mayor de ensayos durante todo el año.

En estas condiciones, la ecuación de predicción y sus resultados, son una base segura para velocidades de propagación del fuego en la realización de quemas prescritas en vegetación de pastizal- matorral en Coahuila.

El contar con un sistema de alerta basado en factores del medio físico y la humedad del combustible de pastizal- matorral, permitirá que las brigadas y equipos de extinción de los incendios, se mantengan preparados y puedan reducir los tiempos de eficiencia.

Por último, es conveniente considerar el historial de causas y periodos de registro de incendios en Coahuila, para priorizar el desplazamiento de medios, equipos de extinción y la consideración del sistema de alerta, en los meses de enero a mayo en el sur del estado y mayo a agosto en el norte de la entidad.

RESUMEN

Los índices de peligro, en muchos países se emplean con diversos fines: para organizar el control y extinción, conociendo la magnitud del incendio; para calcular la intensidad del ataque inicial; para estimar el riesgo de incendio y actuar sobre las causas posibles; como base para avisos al público y para delimitación de áreas forestales; para conceder o cancelar permisos de quema; para planear quemas controladas. Finalmente, los índices de peligro, correlacionados con el número de incendios, permiten evaluar el éxito de las diferentes fases de un programa de protección contra incendios forestales.

Los objetivos del presente trabajo fueron: el establecimiento y ubicación de áreas de peligro de incendio forestal en Coahuila, con base a factores del comportamiento del fuego y la frecuencia histórica de los siniestros en el periodo de 1993 al 2002 en el Estado. Asimismo se elaboró una propuesta para determinar índices de peligro con base a la velocidad de propagación del fuego para pastizal- matorral.

Para el primer objetivo, se trabajo con información del ordenamiento ecológico del estado de Coahuila y se consideraron factores del medio, que a su vez tienen ingerencia en el comportamiento del fuego, como los tipos de vegetación,

tamaños de combustibles, los factores topográficos de pendiente y orientación, el potencial forestal, usos del suelo y frecuencia histórica de los incendios forestales durante el periodo de 1993 a 2002. Estableciéndose cinco clase y rangos de los seis primeros parámetros de clasificación. Con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica y en el programa Idrisi y con la opción Reclass se realizo la reclasificación de los mapas, donde se definieron los límites y valores de cada clase del factor considerado a intervalos. Una vez generado los seis mapas temáticos de las clases, se aplico la operación Weight, que se utiliza para establecer una serie de pesos relativos para un grupo de factores en una evaluación multicriterio.

Para la asignación de la importancia y la razón de peso de las variables consideradas, se tomo en cuenta los aspectos que influyen en el comportamiento del fuego, una que se origina la ignición; dándose prioridad a los factores más estables del comportamiento para establecer los niveles de peligro de incendio, quedando ordenados de la manera siguiente: tipos de vegetación (0.3764), tamaños de combustibles (0.2617), pendientes (0.1916), orientación (0.0928), potencial forestal (0.0516) y usos del suelo (0.0259). Con lo que se genero un mapa considerando los seis primeros factores del medio con sus respectivas clases; que al combinarse el mapa de los polígonos de clasificados por ocurrencia y categoría de riesgo por medio del cruce tabulado de los mapas se obtuvo la modulación de los factores del medio con los polígonos de ocurrencia, resultando los grados de peligro de incendios forestal: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo para el estado de Coahuila.

Para el segundo objetivo, se estableció una parcela experimental 2 metros X 10 metros, en terrenos de la Universidad Agraria, donde se modulo el tipo de combustible de pastizal- matorral para la realización de 17 quemas controladas, tomando lecturas de las variables: velocidad del viento (V.V), temperatura ambiente (T), humedad relativa (H.R.), humedad del combustible (H.C.) y la velocidad de propagación (V.P.), esta última como indicador el peligro de incendio forestal.

Los datos fueron tomados a las 13:00 horas, la información se codifico y se grabo para su análisis.

La selección de la mejor variable se hizo en base a el coeficiente de determinación (R^2).

El procesamiento de los datos se realizó con el paquete de computo S-plus. El modelo seleccionado por el procedimiento stepwise y en base al Cp Mallows, tomando las variables simples, que determina la relación de la variable y la velocidad de propagación. Asimismo, se realizo el argumento de diagnostico del modelo lineal.

Quedando finalmente la ecuación de predicción representa por la siguiente expresión:

$$V.P. = 7.8319 - 0.3966 H.C.$$

Donde:

V.P. = Velocidad de propagación

H.C. = Humedad del combustible

Ecuación que presentó un valor de r^2 de: 0.7166

Para el primer objetivo y con los resultados del trabajo podemos decir que:

El empleo de la metodología permite tener una clasificación y ubicación de áreas con diferente nivel peligro de incendios forestales en una entidad.

El estado de Coahuila comprende una superficie de 151,578.37 km², de los cuales se estima que 46,822.56 km² se consideran de bajo peligro; 69,271.31 km² se clasifican como de bajo peligro, 16,719.09 km² como de moderado peligro, 3,683.35 km² son de alto peligro, 4,986.93 km² considerados de muy alto y 10,095.12 km² como de peligro extremo. En este último apartado se encuentra gran parte de los municipios de: Acuña, Arteaga, Cuatrociénegas, Múzquiz, Saltillo y Zaragoza.

Las áreas con nivel de peligro alta y muy alta, en un año crítico pueden tender al nivel de extremo, principalmente por la causa natural de origen de los siniestros, las condiciones topográfica, la acumulación de combustibles, la inaccesibilidad de las zonas y la política nacional de suprimir todo fuego que se presente.

Las regiones de nivel extremo y muy alto que presentan la posibilidad de atención acorde a un plan real de manejo del fuego, son las zonas que incluyen las áreas naturales protegidas de Maderas del Carmen, Valle de Cuatrociénegas y sierra Zapalinamé, por contar dichas áreas con sus propios planes de manejo.

Por otra parte, el manejo de combustibles en todo el estado es de muy bajo o nulo impacto, lo que propicia un aumento de las cargas de combustibles y el establecimiento de la continuidad vertical en los mismos; que aunada a los frecuentes periodos de sequía, ponen disponibles a combustibles pesados y muertos, que son la base para el registro de siniestros relevantes y de gran impacto en Coahuila.

Con los resultados del trabajo y para el segundo objetivo, podemos decir que: Considerando la revisión bibliográfica, con base en la ecuación de predicción y utilizando los valores máximos y mínimos de la humedad de combustibles, se estableció la escala de índice de peligro de incendios forestal:

Clase	Grado de peligro	Índice de peligro	Color asociado
I	Bajo	menos de 3.4415	Azul
II	Moderado	3.4415 a 7.0307	Amarillo
III	Alto	7.0307 a mayor	Rojo

Los factores de condiciones meteorológicas y humedad del combustible tienen una gran influencia en la velocidad de propagación y esta última se puede estimar en función de la humedad del combustible en pastizal- matorral.

La metodología es sencilla y práctica que se puede realizar modulando diferentes tipos de vegetación, debiendo considerar un mayor tamaño de parcela para garantizar el pleno desarrollo de la dinámica del fuego y con mayor número de ensayos en todo el año.

En las condiciones que se trabajó, la ecuación de predicción y sus resultados, son una base segura para velocidades de propagación del fuego controlables en la realización de quemas prescritas en tipos de vegetación de pastizal- matorral en Coahuila.

Como resultado de la modulación de entre grados de riesgo y los índices de peligro, se establecen los índices de alerta: moderado, alto y muy alto; lo que permite contar en Coahuila con un sistema de alerta basado en factores del medio físico y la humedad del combustible de pastizal- matorral, como base para la toma de decisiones, así como, para mantener preparadas las brigadas y equipos de extinción de los incendios a fin de reducir los tiempos de eficiencia y con ello la superficie afectada. En la divulgación de las indicaciones, según el grado de alerta, los medios comunicación juegan un papel relevante.

LITERATURA CITADA

- Agee, J. K. 1990. The historical role of fire in pacific northwest forests. p. 25-38. in Walstad, J.D., Radosevich, S.R. and D.V. Sandberg (eds.) Natural and Prescribed Fire in Pacific Northwest Forests. Oregon State University Press. 316p.
- Alvear, J. G. 1996. Fundamentos del manejo del fuego. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Barney, R.H.; G. R. Fahnestock; W. G. Herbolsheimer; R. K. Miller; C.B.Phillips and J. Pierovich. 1984. Fire management. In Wenger, K.F. (Ed.) Forestry handbook. John Wiley and Sons. New York pp189.
- Bradshaw, L. S.; J. E. Deeming; R. E. Burgan and J. D. Cohen. 1983. The 1978 National Fire Danger Rating System. Technical Documentation. Gen. Tech. Rep. INT- 169. USDA, FS, INFRES. Ogden, Utah. 44p.
- Brown, A. A. y Davis, P.K. 1973. Forest fire. Control and use. 2ª Edicion Ed. McGraw- Hill. New York. 686p.
- Bosque, S. J. 1992. Sistemas de información geográfica. Ediciones Rialp, S. A. Madrid, España. 451p.
- Bosque, S. J., F. J. Escobar M., E. García H. y M. J. Salado G. 1994. Sistemas de información geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. Ra-ma Editorial. Madrid, España. 478p.
- Cheney, N. P. 1968. Predicting fire behaviour with fire danger. Australian Forestry 32. pp 71- 79.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España.
- Deeming, J. E.; R. E. Burgan and J.D. Cohen. 1977. The National Fire Danger Rating System- 1978. Gen. Tech. Rep. INT- 39. USDA, FS, IFRES. Ogden, Utah. 63p.

- Fredericksen, T. S. Y Kennard, D. 1999. Guía para la realización de quemas controladas. BOLFOR. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Santa Cruz, Bolivia. 35p.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 4ª Edición UNAM, México. 220p.
- Garrido, R. G. 1990. Propuesta metodológica para obtener un sistema de predicción de peligro de incendio forestal para la República Mexicana. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección General de Protección Forestal. México, D. F. 43p.
- INEGI, 1983. Síntesis Geográfica de Coahuila. México. 163p.
- INEGI, 1985. Cartas escala 1:250,000: Edafología, Geología, Hidrología, de Aguas Superficiales, Hidrología de Aguas Subterráneas, efectos climáticos Mayo- Octubre y efectos climáticos Noviembre- Abril. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 48p.
- Kauffman, J. B. 1990. Ecological relationships of vegetation and fire in Pacific Northwest forests. p.39-52. in Walstad, J. D., Radosевич, S. R. and D. V. Sandberg (eds.) Natural and Prescribed Fire in Pacific Northwest Forests. Oregon State University Press. 316p.
- Magaña, T. S. O. 1983. Determinación del Índice de Peligro de Incendios Forestales para Tlahuapan, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. UACH. 70p.
- Magaña, T., O. S. 1985. Índices de peligro de incendios forestales. Boletín Divulgativo No. 70 INIF. México, D. F. 15 p.
- Magaña., T., S. O. y Romahn, V., F. C. 1987. Determinación del índice de peligro de incendio forestal para Tlahuapan, Puebla. Ciencia Forestal 12. pp 58- 67.
- Marín, C. J. y Borja, L. G. 1984. Los incendios forestales en el Estado de México. Revista Chapingo IX (43- 44).

- Martínez, M. A.; J. G. Flores G. y J. de D. Benavides S. 1990. Índices de riesgo de incendio en la Sierra de Tapalpa, Estado de Jalisco. *Ciencia Forestal en México* 15 (67): 3-34.
- Martínez, R. E. 2001. Manual de quemas controladas. Mundi- Prensa. Madrid, España. 175p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1982 . Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. 1982. El Índice meteorológico de peligro de incendios forestales. Mimeografiado. Madrid, España. 44p.
- Poder Ejecutivo Federal, 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994; que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación. Organismo del Gobierno constitucional de los estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Desarrollo Social. Tomo CDLXXXVIII No. 10. México, D. F.
- Rodríguez, T., D. A. 1994. La lucha contra el fuego. Universidad Autónoma de Chapingo- DICIFO- SARH. México, D. F. 171 p.
- Rodríguez, T., D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma de Chapingo -Mundi- Prensa. México, D. F. 630 p.
- Rojo, M. G. E. 1998. Propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal para bosques de clima templado de México. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. UACH. 76p.
- Santillán, P. J. 1993 Sistema para determinar indicadores de peligro de incendio forestal. Acuerdo de cooperación en materia forestal entre México y Finlandia. Informe Técnico 14. México. 24p.
- SARH, 1994. Inventario Nacional Periódico del Estado Coahuila. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía

- SEDUE, 1989. Información Básica sobre las Áreas Naturales Protegidas de México. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. Mexico, D.F. 82p.
- Shank, H.M. 1935. A measure of forest fire hazard in central Idaho. *Journal of Forestry* 33:389-391.
- Soares, R.V. 1972. Determinacao de un índice de perigo de incendio para a regio centro- paranaese, Brasil. Tese de grau de Magister Sciential. Turrialba, IICA. 72 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT. México, D. F. 690 p.
- Tuner, J. A.; B. D. Lawson. 1978. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System. Canadian Forestry Service. Pacific Forest Reseach Centre. BC-x- 177. Victoria, Canadá. 40p.
- Vélez, R. M. 1968. El índice de peligro de incendios forestales. *FAO: Montes* 143. pp 419- 447.
- Vélez, R. M. 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 1301p.
- Van Wagner, C E. 1974. Structure of the canadian forest fire weatrher index. *Canadian Forestry*. Publication No. 1333.
- Wright, H. E. and M. L. Heinselman. 1973. The ecological role of fire in natural conifer forests of western and northern North American. *Quaternary Res* 513p.
- Zapata, P. C. 1990. Determinación de indicadores de peligro de potencial Incendios forestales con base en la cuantificación del material combustible. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosque. 76p.
- Zarate, L. A. 1999. Ordenamiento ecológico del territorio como apoyo al Fortalecimiento a la gestión ambiental del estado de Coahuila. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y Secretaria de Desarrollo Social del Gobierno del Estado. Saltillo, Coahuila, México.