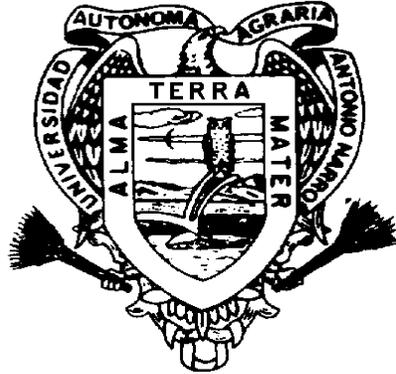


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Identificación de los Factores Ambientales que Determinan la Distribución del
Pinus durangensis Mtz. en la Región Tarahumara de Chihuahua, Utilizando
un Sistema de Información Geográfica.**

Por :

Saúl Colín Ortiz

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero Forestal

Buenavista Saltillo Coahuila, México.

Mayo del 2000

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL**

Identificación de los Factores Ambientales que Determinan la Distribución del *Pinus durangensis* Mtz. en la Región Tarahumara de Chihuahua, Utilizando un Sistema de Información Geográfica.

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado calificador como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

QUE PRESENTA

Saúl Colín Ortiz

APROBADA

Dr. Alejandro Zarate Lupercio

Presidente del Jurado

M. C. Salvador Valencia Manzo

Ing. Celestino Flores López

Sinodal

Sinodal

M.C. Reynaldo Alonso Velasco

Coordinador División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Mayo del 2000

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dios de toda gracia por su misericordia, fidelidad y todas las bendiciones que ha dado a mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por los conocimientos que ha brindado a mi persona.

Al Dr. Alejandro Zarate Lupercio por su amistad y por el apoyo incondicional para realizar el presente trabajo.

Al Ing. Celestino Flores López por su valiosa aportación de datos para llevar a cabo el presente trabajo y por su disposición para participar en el mismo.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su orientación y sus aportaciones en este trabajo y por ser un excelente maestro de la universidad.

A todo el equipo de trabajo del laboratorio de sistemas de información geográfica del departamento forestal, por el apoyo que me brindaron en la realización de éste trabajo.

Agradezco a toda la congregación del templo La Nueva Jerusalén, por su apoyo espiritual y moral, muy en especial a la hermana Rosa Elia Torres de Herrera.

A todos los compañeros de generación por su amistad y apoyo, especialmente a Mario Jarillo, Hector Sánchez y Efraín López.

DEDICATORIA

A mis padres:

Esteban Colín Arroyo

Oliva Ortiz Ulloa

A mis hermanos Angélica, Erica, Oracio, Elizabeth, Esteban (QEPD) y Esteban.

Muy especialmente a mi padre por apoyar siempre la educación de sus hijos y a mi hermana Erica por el apoyo moral y económico que siempre me ha dado, haciendo posible la terminación de mis estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 HIPÓTESIS.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Conceptos ecológicos.....	3
2.1.1 Especie.....	3
2.1.2 Variedad.....	4
2.1.3 Forma.....	4
2.1.4 Ecotipo.....	5
2.1.5 Nicho ecológico.....	5
2.2 Factores que determinan la distribución de los organismos.....	7
2.2.1 Factores extrínsecos.....	8
2.2.1.1 Factores geográficos.....	8
2.2.1.2 Factores edáficos.....	8
2.2.1.3 Factores climáticos.....	8
2.2.1.4 Factores fisiográficos.....	10
2.2.1.5 Factores bióticos.....	12
2.2.1.6 Factores humanos.....	12
2.2.2 Factores intrínsecos.....	12
2.2.2.1 Morfología de semillas.....	12
2.2.2.2 Número de diásporas y poder germinativo.....	12
2.2.2.3 Multiplicación vegetativa.....	13
2.2.2.4 Antigüedad de la especie.....	13
2.2.2.5 Plasticidad genética y tolerancia ecológica.....	13
2.2.2.6 Composición química.....	13
2.3 Información sobre la especie.....	14
2.3.1 Descripción botánica de <i>Pinus durangensis</i> Mtz.....	14
2.3.2 Autoecología de la especie.....	15
2.3.3 Importancia de la especie.....	16
2.3.4 Distribución de la especie.....	17

2.4 Tablas de contingencia.....	17
2.4.1 Corrección de Yates.....	21
2.4.2 Índices de asociación.....	22
2.5 Sistemas de información geográfica.....	23
2.5.1 Modelo de datos vectorial.....	24
2.5.2 Modelo de datos raster.....	24
2.5.3 Utilidad de los SIG en estudios ecológicos.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Descripción del área de estudio.....	28
3.1.1 Ubicación geográfica.....	28
3.1.2 Infraestructura y vías de acceso.....	29
3.1.3 Clima.....	29
3.1.4 Fisiografía.....	31
3.1.5 Hidrología.....	32
3.1.6 Geología.....	33
3.1.7 Edafología.....	37
3.1.8 Tipos de vegetación y usoS del suelo.....	41
3.1.9 Fauna silvestre.....	50
3.2 Registro de datos de campo e información adicional.....	51
3.3 Procesamiento de datos de campo.....	53
3.3.1 Herramientas utilizadas.....	53
3.3.2 Entrada de datos al sistema de información geográfica.....	55
3.3.3 Tabulación cruzada crosstab.....	57
3.4 Análisis estadístico.....	59
3.5 Elaboración del mapa de áreas potenciales.....	62
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.1 Resultados.....	63
4.2 Discusión.....	75
V. CONCLUSIONES.....	80
VI. RECOMENDACIONES.....	81
VII. LITERATURA CITADA.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

1. Asociación del <i>Pinus durangensis</i> con rangos de altitud en la región Tarahumara, Chih.....	64
2. Asociación del <i>P. durangensis</i> con temperatura media anual °C en la región Tarahumara, Chih.....	67
3. Asociación del <i>P. durangensis</i> con precipitación media anual mm en la región Tarahumara, Chih.....	67
4. Asociación del <i>P. durangensis</i> con tipos de suelo en la región Tarahumara, Chih.....	68
5. Asociación del <i>P. durangensis</i> con textura del suelo en la región Tarahumara, Chih.....	69
6. Asociación del <i>P. durangensis</i> con fases físicas del suelo en la región Tarahumara, Chih.....	70
7. Asociación del <i>P. durangensis</i> con exposición en la región Tarahumara, Chih.....	71
8. Asociación del <i>P. durangensis</i> con pendiente en % en la región Tarahumara, Chih.....	71
9. Asociación del <i>P. durangensis</i> con tipos de vegetación en la región Tarahumara, Chih.....	72
10. Concentración de los rangos y clases de los factores asociados con el <i>P. durangensis</i> en la región Tarahumara, Chih.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Tabla de contingencia 2x2	18
2. Ubicación geográfica del área de estudio.....	28
3. Mapa de las principales vías de acceso a la región Tarahumara, Chih.....	30
4. Mapa de climas de la región Tarahumara, Chih.....	32
5. Mapa de unidades fisiográficas de la región Tarahumara, Chih.....	34
6. Mapa de regiones hidrológicas de la región Tarahumara, Chih.....	35
7. Mapa de corrientes superficiales de la región Tarahumara, Chih.....	36
8. Mapa de unidades de suelo dominante de la región Tarahumara, Chih.....	38
9. Mapa de tipos de vegetación y usos del suelo de la región Tarahumara, Chih	43
10. Esquema general de la metodología utilizada.....	53
11. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.....	58
12. Obtención de las tablas de contingencia.....	58
13. Tabla de contingencia 2x2.....	59
14. Tabla de contingencia tipo Excel.....	60
15. Esquema del procedimiento para obtener el mapa de sitios potenciales.....	62
16. Mapa de áreas potenciales para <i>Pinus durangensis</i>	74

RESUMEN

En el presente trabajo se identificaron los rangos y clases de los factores ambientales (suelo, textura del suelo, fases físicas del suelo, temperatura, precipitación, altitud, exposición, pendiente y tipos de vegetación) a los que se ase asocia el *Pinus durangensis* Mtz. en la región Sierra Tarahumara de Chihuahua. Así mismo se elaboró un mapa donde se representa las áreas donde están presentes todos los rangos y clases de los factores ambientales a los que resultó asociada la especie.

Para hacer lo anterior, se realizó un muestreo sistemático en la región de estudio, el cual tiene la particularidad de que los sitios se levantaron siguiendo algunas carreteras de la región, donde cada cuatro kilómetros aproximadamente se levantó un sitio; la información que se obtenía era si la especie en estudio estaba presente o no y también se registraba la ubicación geográfica de los sitios; cada sitio se ubicaba a una distancia de entre 300 y 600 metros de la carretera, hacia el interior del bosque, de esta manera se realizaron 207 sitios.

También se utilizó la información que obtuvo de la región de estudio el Ing. Celestino Flores López; la cual consiste en el registro de las especies de pino que se presentaban al hacer un recorrido con vehículo por algunas carreteras del área de estudio y en cada kilómetro se hizo el registro de esa información.

Cada sitio se introdujo a un Sistema de Información Geográfica obteniendo así un mapa digital en formato Raster que contiene ubicados geográficamente los sitios levantados y donde se identifican los sitios donde la especie en cuestión esta presente y donde no.

En el programa Idrisi se realizó la sobreposición del mapa que contiene los sitios con cada uno de los mapas temáticos de la región, es decir con el mapa de suelo, textura del suelo, fases físicas del suelo, temperatura, precipitación, altitud, pendiente y tipo de vegetación; esta operación se llama Crosstab. Con esto se obtuvo una tabla que contiene el número de sitios donde la especie en cuestión está presente y donde está ausente en cada rango o clase de los factores ambientales considerados y a partir de esta tabla en una hoja de cálculo de Excel, se realizó una tabla de contingencia para analizar la independencia o dependencia del *Pinus*

durangensis con cada rango o clase de los factores ambientales. Así también se analizó el grado de asociación entre los rangos y clases de los factores ambientales y la especie en estudio por medio de los índices de asociación de Dice, Jaccar y Ochiai.

En resultados obtenidos el *Pinus durangensis* se asocia con un rango de altitud de 2000 a 2600, con el suelo regosol eútrico, con una textura media, con las fases físicas del suelo Lítica y Sin Fase Física, con un rango de temperatura media anual de 8 a 12° C, con un rango de precipitación anual de 600 a 1200 mm y con el bosque de pino; no resultó asociación entre los tipos de exposición y la especie en estudio.

Una vez que se obtuvieron los rangos y clases de los factores ambientales asociados a la especie, se realizó la reclasificación de los mapas de los factores ambientales, dándoles el valor de uno a los rangos o clases que resultaron estar asociados con la especie en estudio y el valor de cero a los rangos o clases que no se asocian a la especie en cuestión, posteriormente se multiplicaron los mapas en el programa Idrisi de tal manera que se obtuvo un mapa con valores de cero y uno, y las áreas con valor uno son en donde están presentes todos los rangos y clases de los factores ambientales a los que se asocia la especie.

I. INTRODUCCIÓN

La Sierra Tarahumara de Chihuahua, forma parte de la Sierra Madre Occidental, es una región de relevante importancia económica, ecológica, política y social, para México. Por su ubicación geográfica contiene grandes e importantes bosques, y añadiendo las muy variadas formas del terreno, forman paisajes con gran belleza escénica.

Una de las principales actividades económicas en la región, es el aprovechamiento de los bosques, sobresaliendo como uno de los Estados más importantes de nuestro país forestalmente hablando. Armendariz y Barragán (1992) mencionan que aproximadamente el veinte por ciento de la superficie de la entidad está constituida por superficie arbolada y participa en la producción forestal con alrededor de un veinte por ciento a nivel nacional; desde el punto de vista industrial esta entidad es de gran importancia ya que hasta 1992 contaba con aproximadamente 396 industrias, de las cuales las de aserrío son las más numerosas.

Los bosques de la Sierra Tarahumara están constituidos por varias especies de pino, entre las más importantes se puede mencionar *al Pinus arizonica*, *P. durangensis* y *P. engelmannii*. El *Pinus durangensis*, es una especie que por sus características fenotípicas, calidad de la madera y su abundancia en la Sierra Madre Occidental, constituye un recurso forestal de gran importancia tanto económica como ecológica y es una de las especies de pino que más se aprovecha en esa región. Perry (1991) señala que anteriormente formaba extensos bosques puros en Durango y sur de Chihuahua, sin embargo, debido a las intensas cortas a las que ha sido sometida durante muchos años, se ha reducido su distribución, a los lugares menos accesibles.

El presente trabajo está orientado a identificar los principales factores ambientales que determinan la distribución del *Pinus durangensis* Mtz. en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, utilizando para ello un sistema de información geográfica; contribuyendo así al conocimiento de la autoecología de la especie, lo que ayudará a dar un mejor manejo a la misma.

1.1 HIPÓTESIS

Ho: La distribución y abundancia del *Pinus durangensis* En la Sierra Tarahumara de Chihuahua, están determinadas por ciertos rangos y clases de los factores ambientales.

1.2 OBJETIVOS

a) Identificar los rangos y las clases de los factores ambientales, que determinan la distribución y abundancia del *Pinus durangensis* Mart. en la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

b) Generar un mapa de aptitud potencial para repoblaciones forestales con *Pinus durangensis* Mart.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Conceptos Ecológicos

2.1.1 Especie

De acuerdo con Cronquist (1977) la palabra especie es tomada del latín, que significa un tipo o clase particular. Y en el uso biológico, una especie es un tipo particular de planta o animal, que retiene sus diferencias en otros tipos de igual naturaleza por un periodo de muchas generaciones sucesivas.

Por su parte Ruiz *et al.*, (1977) señala que existen dos criterios para definir la especie: uno morfológico y otro fisiológico. Según el primero, especie es el conjunto de individuos muy semejantes entre sí, cuyas diferencias morfológicas radican en modificaciones de un carácter de poca importancia que afecta a un solo órgano, o de diversos caracteres de escasa importancia que se refiere a pocos órganos. Según el criterio fisiológico, la especie está formada por individuos capaces de cruzarse entre sí y originar descendencia fecunda a la que transmiten sus caracteres.

También Grant (1989) enfatiza que la especie es la unidad básica de la clasificación formal; así mismo señala que es una categoría taxonómica universal en todas las formas de la vida y se fundamenta en semejanzas y diferencias morfológicas, dado que una especie es un conjunto de individuos morfológicamente similares que difieren de otros conjuntos semejantes. Este mismo autor retoma la definición de Cronquist (1977) donde menciona que las especies son los grupos más pequeños que son consistente y persistentemente distintos y distinguibles por medios ordinarios; donde “consistentemente distinto” significa que todos, o una proporción muy grande de los individuos bajo consideración, pertenecen claramente a un grupo u otro, y no ocupan ninguna posición intermedia. La frase “por medios ordinarios”, acentúa la tradición y lo práctico. Sin embargo para Jones y Luchsinger (1979) una especie comprende todas las variaciones que se presentan en sus poblaciones, para proporcionar un formal reconocimiento taxonómico a esta variación, se utiliza categorías infraespecíficas, estas son: la variedad y la forma.

2.1.2 Variedad

De acuerdo con Jones y Luchsinger (1979) la categoría variedad es aplicada a poblaciones de especies en varias fases de diferenciación. Es una divergencia gradual de las plantas, como parte de los procesos de evolución y especiación, esta divergencia esta relacionada con la adaptación de algunas poblaciones a áreas geográficas o climáticas diferentes, o también localmente pero con hábitats ecológicos muy distintos. Durante el proceso de adaptación a diferentes hábitats, las poblaciones se hacen genéticamente distintas. Esta diferenciación genética es reflejada en la morfología y fisiología de las plantas. Frecuentemente estas poblaciones diferenciadas, ocupan lugares adyacentes donde se intercrucan, en los lugares de contacto y estas poblaciones generalmente forman la base de una variedad. En la práctica los términos subespecie y variedad son usados para indicar variaciones morfológicas dentro de las especies y se usa uno u otro termino dependiendo de la filosofía de cada taxónomo.

Por su parte Cronquist (1977) señala que las variedades y/o subespecies, son poblaciones dentro de las especies persistentemente diferentes para ameritar ser notadas, pero que están conectadas unas con otras por numerosos individuos intermedios.

2.1.3 Forma

Lawrence (1951) señala que la forma es la categoría más pequeña usada en taxonomía es aplicada generalmente a las variaciones triviales que ocurren en algunos individuos de alguna población. Estas variaciones son representadas por ejemplo, en el color de la corola, color del fruto, en respuesta al hábitat. Este mismo autor menciona que algunos botánicos consideran que la forma es una variante que ocurre esporádicamente en una población de una especie, independientemente del grado de variación morfológica.

También Jones y Luchsinger (1979) concuerdan con la definición anterior en que el término forma es usado para reconocer y describir variaciones esporádicas, tales como plantas ocasionales con flores blancas donde normalmente son púrpuras y si las flores blancas no son correlacionadas con algunas otras características de las plantas, incluyendo la distribución geográfica o ecológica, ellas pueden ser descritas como una forma. Este autor también señala que, pequeña significancia taxonómica es agregada para la menor y casual variación en que forma es normalmente usada.

2.1.4 Ecotipo

Grant (1989) define como ecotipo aquellos miembros de una especie que están adaptados para sobrevivir en un tipo particular de ambiente dentro del área total de distribución de la especie. Y agrega que dos o más ecotipos son capaces de intercambiar genes libremente sin pérdida de fertilidad o vigor en la progenie.

Originalmente la palabra ecotipo fue pensada para ciertas plantas, para describir los ajustes locales, determinados genéticamente, entre los organismos y su ambiente dentro de las especies y que las diferencias principales dentro de las especies, pero entre hábitats diferentes, han sido demostradas traslapando las plantas de diversos hábitats naturales a un hábitat común, y dejando que se desarrollen a lo largo de una o varias estaciones vegetativas (Begon *et al.*, 1995)

Debido a las variadas condiciones ambientales, ciertas poblaciones de una especie se establecen en diferentes regiones ecológicas dentro del área de distribución de la especie; esto permite la variabilidad genética y por consiguiente, la adaptabilidad de la progenie de la especie a condiciones ambientales variadas. Así la mayoría de las especies vegetales están formadas por muchos tipos de individuos que se desarrollan y que reaccionan de manera diferente debido a su diferente constitución genética. Estas subdivisiones ecológicas de las especies reciben el nombre de ecotipos y son poblaciones genéticamente distintas. Los ecotipos se consideran en ocasiones como subespecies, pero en otros casos no son suficientemente diferentes morfológicamente para merecer tal denominación. Cada ecotipo es el resultado de la selección ejercida por su ambiente y se halla especialmente adaptado para un cierto número de condiciones (Clarke, 1971).

2.1.5 Nicho ecológico

Los ecólogos utilizan el termino nicho, para expresar en una palabra: dónde, cuándo y cómo una especie se encuentra genéticamente preparada para competir con otras especies (por luz, la humedad, los nutrientes, etc.) en un ecosistema, o dicho de otra manera, su lugar o hábitat, su tiempo de dominación en la secuencia respectiva y sus adaptaciones funcionales al ambiente. El nicho es el resultado de las especializaciones multifuncionales de éstas en el ecosistema (Spurr y Barnes 1982). La especialización de las especies en una comunidad es semejante a los seres humanos que se especializan en cierta área o actividad y tienen alto grado de habilidad o eficiencia en su oficio, de esta manera, dos individuos que siguen diferentes especialidades,

conseguirán los recursos que necesitan para su vida, puesto que no tendrán competencia; esta misma situación se observa en las comunidades naturales, donde las especies tienen diferentes especialidades para evitar la competencia directa, de lo contrario si dos especies fueran competidoras directas, utilizando los mismos recursos en el mismo sitio y en el mismo tiempo, lo más probable es que una de ellas desaparezca (Whittaker, 1972).

Odum (1972) menciona que el nicho ecológico, es un término que incluye no sólo el espacio físico ocupado por un organismo, sino también su papel funcional en la comunidad (por ejemplo, su posición trófica) y su posición en los gradientes ambientales de temperatura, humedad, pH, suelo y otras condiciones de existencia. Por consiguiente, el nicho ecológico de un organismo depende no sólo de dónde vive, sino también de lo que hace y de cómo es coaccionado por las otras especies.

Spurr y Barnes (1982) mencionan que el nicho tiene tres componentes: el componente espacial, el componente temporal y el componente funcional, a continuación se hace referencia a estos:

El componente espacial está dado por las características del medio ambiente donde la especie ocurre, como las características físicas y químicas del lugar, su elevación, su posición topográfica, su exposición. Cada especie tiene su propio sitio en un espacio horizontal o vertical, esto quiere decir que dos especies pueden tener requerimientos diferentes en relación con el espacio, entonces, estas especies pueden coexistir, puesto que difieren en sus requerimientos de espacio horizontal o vertical en la comunidad (Whittaker, 1972).

Un ejemplo del componente espacial se puede observar en un bosque tropical lluvioso, donde existe gran variedad de especies con requerimientos diferentes, por ejemplo, los árboles grandes que requieren estar expuestos a la luz, estos ocupan el estrato superior, sin embargo, bajo estos árboles se encuentran otros que pueden vivir bajo la sombra, formando así otro estrato medio y aún debajo de estos existen plantas menores como las herbáceas que forman el estrato bajo. De esta manera podemos observar que estas especies ocupan lugares diferentes dentro de una comunidad ya que tienen diferentes maneras de explotar el medio ambiente (Emmel, 1973).

En el componente temporal las especies se diferencian en su nicho, no por sus condiciones primarias, sino por las adaptaciones fisiológicas que las capacitan para predominar en una localización durante diferentes épocas (Spurr y Barnes, 1982).

Cada especie en una comunidad tiene un particular tiempo de máxima actividad, esto permite que puedan existir muchas especies en un área; si todas las especies llevaran a cabo sus actividades en un mismo tiempo, esto daría cabida a la competencia entre las especies (Emmel, 1973).

El componente temporal puede ser ilustrado cuando una especie es la primera en dominar el área a continuación de un incendio, en la secuencia de formación de la flora de la región, y ocupan el sitio por un tiempo determinado, mientras que éstas crean las condiciones adecuadas para que otras especies se establezcan y desplacen a las primeras (Spurr y Barnes, 1982).

En el componente funcional se ponderan todas las relaciones de un organismo en su medio y se interpreta en relación con el papel que desempeña el organismo. La función o actividad de un organismo en su hábitat puede ser de la más variada naturaleza; tales como la de constituir una fuente de alimento o de energía para otros organismos. La función del organismo puede ser transformar energía luminosa de una cierta longitud e intensidad en energía química vegetal; puede ser también modificar el hábitat y los recursos creando condiciones microambientales para que otras especies se desarrollen; o bien, afectar a algunas especies a través de la predación, parasitismo o enfermedades. En general, cualquier función que desarrolle un organismo o parte de él constituye su nicho (Clarke, 1971).

2.2 Factores que determinan la distribución de los organismos

Es conocido que los organismos de una especie dada solo están presentes en algunos lugares y en otros no. Para entender este hecho, es necesario establecer si sus límites dependen o no de que el organismo en cuestión no tenga acceso a un área dada, es decir, que muchas veces la especie no está presente en determinado lugar porque tiene problemas para llegar allí, no porque el ambiente de este lugar no sea propicio para sobrevivir y reproducirse (Krebs, 1985).

A efecto de vivir en un ambiente dado, los organismos de una especie necesitan sobrevivir, crecer y reproducirse, lo anterior puede ocurrir sólo si los efectos de los factores ambientales lo permiten. Para medir estos efectos la principal herramienta a la que se puede recurrir es la ley de tolerancia, que se puede expresar de la siguiente manera: “la distribución de una especie dependerá del factor ambiental para el que la escala de adaptabilidad o control del organismo es el menor o el mayor” (Krebs, 1985).

Cabrera y Willink (1973) dividen los factores que determinan la distribución de los organismos en factores intrínsecos y extrínsecos, a continuación se mencionan.

2.2.1 Factores extrínsecos

2.2.1.1 Factores geográficos

Las características geográficas constituyen factores de gran importancia en la distribución de los organismos y actúan en forma favorable o desfavorable. La naturaleza de una ruta migratoria depende, de la continuidad de condiciones apropiadas del medio; por lo contrario una barrera a la migración consiste en una interrupción en la continuidad de ambientes apropiados. Los mares, los ríos las montañas, los desiertos pueden ser unas veces caminos de la migración y otras barreras infranqueables (Cabrera y Willink, 1973).

2.2.1.2 Factores edáficos

Desde que se practica la agricultura el hombre ha tenido que aprender que entre las plantas y el suelo se establecen unas relaciones, que la misma planta no crece igualmente bien en diferentes suelos, y que los distintos suelos no son igualmente apropiados para todas las plantas (Braun-Blanquet, 1979). Si bien los suelos francos con pH medio pueden ser colonizados por numerosas especies, hay otras que requieren suelos especiales: suelos arenosos, suelos profundos, salobres, ácidos, etc. (Cabrera y Willink, 1973).

2.2.1.3 Factores climáticos

El clima es el factor más importante en la distribución de las plantas. Cada especie requiere condiciones especiales de temperatura, humedad y luz para germinar, crecer, florecer y

fructificar. Cuando los factores climáticos exceden el grado de tolerancia de una determinada especie, ésta no puede vegetar ni desarrollar su ciclo vital.

La temperatura y la humedad son los dos principales factores limitantes de la distribución de la vida en el planeta. Son amplias las diferencias de temperatura en el planeta, lo cual es el reflejo de dos variables básicas. La luz solar y la distribución de tierra y agua.

La temperatura puede actuar en cualquier etapa del ciclo vital y limitar la distribución de una especie a través de sus efectos en: supervivencia, reproducción, desarrollo de organismos jóvenes y en la competencia con otras formas cerca de los límites de tolerancia de temperatura.

No hay una norma general aplicable, para decir que aspecto de la temperatura (máxima, mínima, promedio o la variabilidad de las temperaturas) es relevante en la distribución de una especie y la importancia de una medida o de otra depende del mecanismo por el que la temperatura ejerce sus efectos en la especie afectada. Las plantas responden en forma diferente a las mismas variables ambientales durante fases diversas de su ciclo vital, por lo que las temperaturas promedio u otras semejantes no siempre están correlacionadas con los límites de distribución, incluso si la temperatura es la variable decisiva (Krebs, 1985).

El agua es la sustancia inorgánica más necesaria para las plantas y se encuentra presente en éstas en grandes cantidades. La fuente principal de agua que tiene el árbol es, el suelo, por medio de la humedad que hay en el mismo.

La cantidad de humedad en la atmósfera es importante, sin embargo, actúa en forma indirecta debido a que aporta la mayor parte de la humedad del suelo y, además, afecta el grado de pérdida de agua de las hojas en el proceso de transpiración. También el follaje puede absorber directamente el agua abastecida por el rocío, la lluvia o la niebla (Spurr y Barnes, 1982).

El agua pasa de los océanos y el suelo hacia las nubes para caer de nuevo en forma de lluvia, en un ciclo que se repite indeterminadamente. La distribución de la precipitación pluvial mundial es el resultado de estos fenómenos. Hay una zona de alta precipitación cercana al ecuador, y la lluvia alcanza nuevamente niveles altos entre los 45 y 55° de latitud. Por otra parte,

la distribución de los continentes y océanos también ejerce efectos importantes en la distribución de la precipitación pluvial mundial. Por último, las montañas interceptan en gran manera las nubes de lluvia, y las zonas situadas a sotavento ellas son de "sombra de lluvia", es decir, de menor precipitación pluvial (Krebs, 1985).

La energía que hace posible el crecimiento de los árboles y otras plantas proviene directa o indirectamente del sol. Así, la naturaleza y la cantidad de radiación solar recibida sobre la superficie de la tierra afectará la distribución y crecimiento del bosque. La fotosíntesis, siendo una reacción que toma lugar sólo con presencia de luz, está afectada obviamente por la cantidad y calidad de la luz. Además, la estructura, el crecimiento e incluso la supervivencia del árbol son afectados en otras formas por el factor iluminación. Finalmente, la radiación solar gobierna en última instancia la temperatura del aire y determina, por lo tanto, indirectamente, las condiciones térmicas alrededor y dentro de la planta (Spurr y Barnes, 1982).

La importancia más obvia de la radiación solar en los árboles forestales descansa en la dependencia de la vida sobre la fotosíntesis y la dependencia que a su vez tiene la fotosíntesis de la luz (Spurr y Barnes, 1982).

La reproducción en la mayor parte de las especies tiene lugar sólo en una época determinada del año, por lo que necesariamente debe haber un estímulo que de manera confiable desencadene la activación de los fenómenos fisiológicos de reproducción de tales especies; la duración del día es un factor idóneo, ya que sus cambios a lo largo del año son del todo predecibles.

2.2.1.4 Factores fisiográficos

La exposición es un factor de gran importancia en la distribución de las especies. Es frecuente que en una superficie pequeña de terreno, las especies sean distintas según las exposiciones. En el hemisferio Norte, las exposiciones Sur y Oeste tendrán temperatura más elevada, y aire generalmente más seco. En las exposiciones expuestas al viento dominante los efectos desencantes y mecánicos de éste serán mayores (Huguet, 1929).

La distribución de muchos límites altitudinales de la vegetación que oscilan hacia arriba y hacia abajo, es función esencialmente de la orientación. Los límites más altos se presentan en la orientación Suroeste y los más bajos en la Norte y Noreste. Las plantas que buscan la luz alcanzan sus máximos límites de altitud en exposición al Norte, Noroeste y Noreste. Las diferencias en la radiación que llega a las laderas Norte y Sur de las montañas son muy superiores a las del llano. La suma de luz es de 1.6 a 2.3 veces superior en exposición al Norte que al Sur; las grandes diferencias entre la vegetación de las laderas Norte y Sur son condicionadas sin duda por la distribución de la luz (Braun-Blanquet, 1979).

Las variaciones de temperatura del suelo en las distintas orientaciones son válidas incluso en el estrato más profundo de las raíces y son más significativas ecológicamente que las diferencias en la temperatura atmosférica. Las temperaturas máximas de la superficie del suelo en la exposición Sur parecen decisivas para la composición del estrato arbóreo, ya que pueden afectar a muchas plántulas (Braun-Blanquet, 1979).

La pendiente influye también en la distribución de las especies. El efecto directo se basa en la modificación del suministro de agua del suelo y en la variación del ángulo de incidencia de la radiación solar, que modifica su intensidad. Cuanto mayor sea la pendiente, más se acelera la erosión mecánica y la circulación del agua en la superficie y en el interior del suelo. Los suelos muy inclinados, son normalmente ricos en oxígeno, a consecuencia de la buena circulación del agua. La pendiente de las laderas abruptas actúa directamente en la selección de las plantas colonizadoras y en los depósitos de los productos de alteración de la roca (Braun-Blanquet, 1979).

A medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar se incrementa el efecto de las radiaciones; lo mismo sucede con las radiaciones térmicas o la intensidad de la radiación ultravioleta. Sin embargo, la temperatura media anual desciende y lo hace a razón de 0.50° a 0.55° cada 100 metros de altura en las montañas no tropicales. Este descenso térmico tiene como consecuencia un acortamiento correspondiente en el periodo de vegetación y que trae como consecuencia una aceleración de los procesos vitales, en especial el de floración y la fructificación (Braun-Blanquet, 1979).

2.2.1.5 Factores bióticos

Muchos vegetales están íntimamente ligados a ciertos animales, de los cuales depende su polinización o su diseminación. Otras veces, los animales actúan como depredadores destruyendo las plantas. Por otra parte, también los vegetales actúan sobre otras especies de plantas en la competencia por luz, por el espacio o por nutrientes, o bien secretan sustancias que inhiben el desarrollo de otras plantas. Así, la presencia o ausencia de animales polinizantes o diseminadores condiciona el alcance del área de las especies adaptadas a ellos (Cabrera y Willink, 1973).

2.2.1.6 Factores humanos

El hombre es el factor biótico más importante en la limitación o expansión de las áreas. Destruyendo la vegetación o estableciendo cultivos ha modificado el área de muchísimas especies vegetales y animales, y ha sido la causa de la extinción de muchas especies y de la introducción de otras. Puede asegurarse que son muy pocos los territorios donde el hombre no haya alterado la vegetación natural (Cabrera y Willink, 1973).

2.2.2 Factores intrínsecos

2.2.2.1 Morfología de semillas

La morfología de las semillas es un factor decisivo en la extensión del área de los vegetales. Frutos o semillas pesadas, desprovistos de estructuras u órganos especiales, tienen pocas probabilidades de alejarse de la planta madre. La presencia de pelos largos o alas que facilitan el transporte por el viento, o bien de ganchos o glándulas para adherirse a los animales, favorece la rápida diseminación a distancia, también los frutos carnosos o semillas carnosos, apetecibles por aves y mamíferos, que se encargan de transportar las semillas lejos de su lugar de origen.

2.2.2.2 Número de diásporas y poder germinativo

En las plantas, el número de frutos o de semillas que produce una especie tiene gran importancia para la ampliación de su área geográfica. Especies que producen gran número de semillas, tienen más probabilidades de perpetuarse y de invadir nuevas áreas, que aquellas cuyo

número de semillas es menor. El poder germinativo de las semillas es muy importante también, así como el hecho de que una misma planta posea semillas con diferentes períodos de reposo.

2.2.2.3 Multiplicación vegetativa

En las plantas superiores, la multiplicación vegetativa por medio de estolones, rizomas, bulbos, es otro medio de dispersión de las especies, aunque de manera muy lenta, pero tiende a determinar la dominancia de la especie en el área original.

2.2.2.4 Antigüedad de la especie

La edad de la especie constituye un factor significativo en la extensión de su hábitat, ya que una especie cuyo origen se remonte a miles o millones de años ha tenido más tiempo para extenderse que otra originada hace menos tiempo. Esta correlación entre edad y área, es muy relativa, ya que sólo tendrá valor en igualdad de otras condiciones, como morfología, adaptabilidad, etc. Por otra parte hay especies antiguas cuyas áreas se han reducido por envejecimiento o por competencia con otras más jóvenes y más agresivas.

2.2.2.5 Plasticidad genética y tolerancia ecológica

Muchas especies son genéticamente muy homogéneas y casi toda su descendencia posee las mismas características y el mismo grado de tolerancia con respecto a los factores ambientales. La descendencia de estas especies requerirá condiciones del medio idénticas a las de sus predecesores y sólo podrá ocupar áreas con tales características. En cambio, otras especies son genéticamente heterogéneas, es decir la descendencia posee pequeñas diferencias morfológicas y también grados de tolerancia diversos, de modo que habrá formas aptas para ocupar microambientes diversos.

2.2.2.6 Composición química

La composición química de los vegetales influye también en la ampliación del área. Cuando un vegetal contiene sustancias apetitosas para los herbívoros, el efecto será negativo ya que muchas plantas serán destruidas por éstos. Pero si las sustancias se hallan en los frutos, el efecto puede ser favorable, porque los herbívoros esparcirán sus semillas. Otras veces, la presencia de sustancias tóxicas o desagradables para los herbívoros determina que sea respetada por el ganado y pueda extenderse ampliamente.

2.3 Información sobre la especie

2.3.1 Descripción botánica de *Pinus durangensis* Mtz.

García y González (1998a) describen a esta especie como un árbol de fuste recto de 15 a 40 m de altura y hasta 1 (-1.5) m de diámetro a la altura del pecho; copa redondeada y compacta en los árboles maduros, con ramas péndulas a horizontales, frecuentemente sigmoideas; árboles jóvenes con copa de forma cónica. Ramillas tiernas a veces con tinte azulado. Corteza rugosa, dividida en grandes placas escamosas de color café oscuro, café rojizo pálido en la parte media, y separadas por fisuras. Madera ligera, suave, de color amarillento, de excelente calidad. Hojas en fascículos de 6, frecuentemente 6 o 7 y raramente 4 u 8, de 14 a 30 cm de largo, delgadas a medianamente gruesas, de 0.6 a 1 mm de ancho, 0.6 a 0.7 mm de grueso, de sección angostamente triangular, flexibles, erectas o algo colgantes, de color verde amarillento o verde pálido, lustrosas, márgenes finamente aserrados; estomas en 2 a 3 hileras sobre la superficie dorsal, 2 a 4 hileras sobre cada cara ventral; canales resiníferos 2 a 3, ocasionalmente 4, medios o raramente uno de ellos interno; paredes exteriores del endodermo engrosadas; hipodermo irregular, con intrusiones hacia el clorénquima; haces fibrovasculares dos, contiguas pero su carácter dual evidente, o a veces separados. Vainas persistentes, de color café castaño o rojizo y luego café oscuro, escamosas, de 20 a 30 mm de longitud cuando inmaduras, luego reduciéndose a 14 a 18 mm de longitud.

Florece en abril y los conos maduran después de un año, por los meses de octubre y noviembre, pero la fructificación es abundante o nula en diversos años. Conillos subterminales, ligeramente atenuados, color café rojizo, con anchas escamas carinadas y con puntas algo extendidas o dirigidas hacia la base, solitarios o en grupos de 2, 3 y 4 sobre pedúnculos firmes (Martínez, 1948). Conos ovoides, semipersistentes, algo colgantes y levemente encorvados cerca de la punta, por lo común de 7 a 8 cm, pero a veces hasta 9 o 10, de color moreno rojizo, cenicientos cuando viejos y casi opacos, tienen pedúnculo de 6 a 10 mm, el cual suele quedar oculto en las escamas basales, pareciendo entonces que el cono es sésil. Es frecuente que al caer quedan los pedúnculos en la rama con algunas escamas. Las escamas son duras y fuertes, de 18 a 22 mm de largo por 12 a 14 de ancho, sensiblemente uniformes, aplanadas por dentro, redondeadas o angulosas en el ápice, con apófisis levantada, a veces algo reflejada, subpiramidal,

comúnmente con grietas que aparecen con rayas negras, transversalmente aquillada, rematando en una cúspide cenicienta y saliente, provista de una espinita corta y delgada (Martínez, 1948).

García y González (1998a) mencionan que de manera tentativa, se incluyen bajo *P. durangensis* algunas variantes que no se ajustan en la descripción de otras especies, por ejemplo: a) árboles con acículas más cortas y en menor número (4 a 6), y con las apófisis de los conos no prominentes como en *P. durangensis*; b) árboles con (5-) 6 hojas, pero conos con apófisis piramidal baja y umbo piramidal bajo. Es probable que alguna de dichas variantes corresponda a taxa aún no descritos.

En su descripción de *P. durangensis*, Martínez 1942, compara a esta especie con *P. montezumae* por su aspecto general, distinguiéndolo por tener conos más pequeños y hojas más delgadas en número predominante de seis. de *P. ponderosa* lo diferencia por su falta de espina fuerte y persistente en las escamas y por su mayor número de hojas menos fuertes. *P. martinezii* E. Larsen, descrita de Michoacán, sinónimo de *P. durangensis* (García y González, 1998).

2.3.2 Autoecología de la especie

Es una especie de clima templado. Forma rodales puros de extensiones considerables y cuando se asocia, lo hace con *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. cooperi* var. *ornelasi* y especialmente con *P. arizonica* y *P. engelmanni*. Se encuentra en rangos altitudinales de 2200 a 2800 msnm, desarrollando mejores rodales entre 2500 a 2700 msnm.

En Durango y Chihuahua se observa sobre suelos café a café rojizos, de textura migajonosa con limo o arcilla, buen drenaje, mas de 2 m de profundidad, con pH de 5.0 a 6.8, ricos o medianamente ricos en materio orgánica, oxígeno, nitrógeno, calcio, y potasio, pero siempre pobres en fosforo.

García y González (1998a) mencionan que está presente en laderas, mesas y cañadas entre los 2400 y 3200 m de altitud en áreas de clima templado semihúmedo y húmedo. Por lo general se asocia a especies como *P. teocote*, *P. cooperi*, *P. arizonica*, *P. leiophylla*, *Quercus xideroxyla* y *Q. Rugosa* en sitios planos y en laderas, así como con *P. ayacahuite* y *Pseudotsuga* en cañadas.

Esta especie prefiere los suelos profundos y fértiles y tiene un mayor crecimiento en elevaciones de 2250 a 2500, en Durango y Chihuahua (Mc Vaugh, 1992). Perry (1991) menciona la especie crece de los 2 000 a los 2500 metros de altitud, en clima frío. Con precipitación anual alrededor de 600 mm, en Durango. Durante los meses fríos de diciembre y enero, es frecuente la escarcha y ocasionalmente cae nieve y amanece cubierto el suelo de cellisca.

El clima de la región de Durango y Chihuahua donde se encuentra la especie, tiene una precipitación variable de 600 a 1600 mm, siendo de 700 a 1000 los más representativos del área de distribución (Durango y Chihuahua). Se reparten en dos períodos: uno en verano que es el más lluvioso, de junio a septiembre, siendo de abril a mayo más secos y poco más noviembre; el otro ocurre en invierno, de diciembre a marzo la temperatura media de la zona es de 13.3° C, con extremas máximas de casi 40° C y mínimas hasta de 19° C.; los meses más calientes son de abril a junio y los más fríos en invierno, siendo entonces, cuando puede nevar rara vez y presentarse de 6 a 150 heladas al año (Eguiluz, 1978).

González y González (1993) mencionan que el *Pinus durangensis*, en la reserva de la biosfera La Michilía de Durango, prefiere los suelos profundos, lugares con humedad; exposiciones norte, noreste, noroeste, y oeste; se presenta en las partes bajas y altas de los cerros, en las laderas con escasa insolación y con suelo profundo, en los valles y cañadas. En un rango de altitud que va de los 2600 a los 2900 metros sobre el nivel del mar. Asociándose con varias especies de pino y encino principalmente.

2.3.3 Importancia de la especie

Produce abundante resina, aunque parece que se explota muy poco comercialmente. Su madera se utiliza para aserrío, triplay, molduras, duelas y ebanistería. Se le usa en menor grado, para muebles, pulpa y papel, postes para líneas cablegráficas, cajas de empaque y tableros de partículas. Se recomienda ampliamente para plantaciones comerciales, destinadas a la obtención de fustes rectos. Es ornamental (Eguiluz, 1978)

Según Olvera (1981) la madera del *Pinus durangensis* se utiliza principalmente para el aserrío, pero también para chapa, triplay, celulosa, durmientes, muebles, vigas, papel, postes para

cercas y leña para combustible, así como en la fabricación de muebles de tipo colonial, restiradores, caballetes, pupitres, estantería y archiveros, pisos no sometidos al desgaste y molduras.

Por su abundancia, *P. durangensis* no presenta actualmente problemas de conservación. Sin embargo, lo intensivo de su explotación podría poner en riesgo a futuro la persistencia de la especie (García y González, 1998a).

2.3.4 Distribución de la especie

Eguiluz (1978) señala que el *Pinus durangensis* se distribuye en la Sierra Madre Occidental, en los estados de Sonora, Chihuahua y Durango, entre los paralelos 19° 35' a 30° 15' de latitud Norte y meridianos 102° a 108° 20' de longitud Oeste.

Este mismo autor menciona que se ha reportado y/o colectado también en otros estados como los siguientes Aguascalientes en la sierra El Laurel, cerca de Calvillo; en Jalisco en la sierra de los Huicholes, a la altura de Bolaños Pimentel, Las 30 Vueltas, 10 km al noroeste del Platanar (San Martín de Bolaños); en Michoacán en el cerro de Los Metates, 5 km al este de Capacuaro, en el km 114 al Norte de la carretera a Uruapan.

Mc Vaugh (1992) señala que Martínez reporta a *Pinus durangensis* únicamente en Durango y Chihuahua, esto llevo a pensar que las poblaciones del Sur de Jalisco y la otra en el oeste de Michoacán se trata de *Pinus martinezii*.

Critchfield y Little (1966) señalan que el *Pinus durangensis* se distribuye únicamente en México, principalmente en la Sierra Madre Occidental, desde el Este de Sonora hasta el Sur de Durango, incluyendo Chihuahua.

2.4 Tablas de contingencia

Una tabla de contingencia es un conjunto de datos colocados en una clasificación bidireccional. Estos datos pueden ser cuentas de frecuencia, aún cuando esto no sea indispensable. A menudo se considera que el experimento multinomial es una tabla de

contingencia de $1 \times k$; sin embargo, en la tabla de contingencia suelen intervenir dos factores (o variables), y la pregunta suele consistir en cuestiones relativas a la independencia de los factores (Johnson, 1976).

Maisel (1973) menciona que una tabla de contingencia es una tabla de doble entrada, diseñada para probar la compatibilidad de las frecuencias observadas y esperadas. Generalmente se construye para estudiar la relación entre dos variables, utilizando la prueba de X^2 para probar la hipótesis de que las dos variables son independientes. Se dice que dos factores (o variables) son independientes si la distribución de uno es la misma, sin importar cual sea la distribución del otro (Daniel, 1987).

De acuerdo con Johnson (1976) el procedimiento para elaborar una tabla de contingencia 2×2 es el siguiente:

El primer paso es obtener las frecuencias observadas para las dos variables de que se trate A y B, para construir la tabla de contingencia:

- a = El número de frecuencias donde A y B ocurren.
- b = El número de frecuencias donde A ocurre, pero no B.
- c = El número de frecuencias donde B ocurre, pero no A.
- d = El número de frecuencias donde no se encuentra A o B.
- N= El número total de frecuencias ($N = a + b + c + d$).

Esta información se presenta en el Figura 1, que se conoce como tabla de contingencia 2×2 .

		Variable B		Totales
		Presente	Ausente	
Variable A	Presente	a	b	$m = a + b$
	Ausente	c	d	$n = c + d$
	Totales	$r = a + c$	$s = b + d$	N

Figura 1. Tabla de contingencia 2×2 .

Cada celda de la Figura 1, ubicada en una fila y una columna específicas, representa una de las $k = 2 \times 2 = 4$ categorías de una clasificación bidireccional de las N observaciones o frecuencias.

El objetivo de una tabla de contingencia es determinar si las variables tratadas son independientes, para esto se propone la siguiente hipótesis:

H_0 : Las dos variables son independientes

H_a : Las dos variables no son independientes

Para probar la hipótesis que las variables son independientes, se utiliza la prueba de Ji cuadrada, donde el número de grados de libertad que intervienen en el caso de las tablas de contingencia 2×2 , se obtienen de la siguiente manera: $gl = (\text{Número de filas} - 1) (\text{Número de columnas} - 1)$, el resultado es 1 grado de libertad (Daniel, 1987).

Antes de que se pueda encontrar el valor de Ji cuadrada, es necesario determinar los valores esperados para cada celda, en base a los totales observados. Para esto se debe recordar que en la hipótesis nula se dice que tales variables han de ser independientes una de la otra; en consecuencia se espera que los valores se distribuyan de acuerdo con los totales observados.

Los valores esperados para cada celda están dados por:

$$E(a) = \frac{(a+b)(a+c)}{N} = \frac{rm}{N}$$

$$E(b) = \frac{(a+b)(b+d)}{N} = \frac{sm}{N}$$

$$E(c) = \frac{(a+c)(c+d)}{N} = \frac{rn}{N}$$

$$E(d) = \frac{(b+d)(c+d)}{N} = \frac{sn}{N}$$

Donde:

$E(a)$ = Valores esperados de a

$r\ m$ = Número de frecuencias donde está presente a.

$s\ m$ = Número de frecuencias donde está presente b.

$r\ n$ = Número de frecuencias donde está presente c.

$s\ n$ = Número de frecuencias donde está presente d.

Se supone que la hipótesis nula es válida mientras no se tengan resultados que la desmientan. Haciendo esta suposición, se dice que la frecuencia esperada para la variable A que se representa como $f(A)$ y la frecuencia esperada para la variable B que se representa como $f(B)$ es independiente.

La frecuencia esperada para la variable A esta dada por:

$$f(A) = \frac{a+b}{N} = \frac{m}{N}$$

Y para la variable B:

$$f(B) = \frac{a+c}{N} = \frac{r}{N}$$

El valor de Ji cuadrada se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum \frac{(\text{observados} - \text{esperados})^2}{\text{esperados}}$$

Esta misma fórmula desglosada queda de la siguiente manera:

$$X^2 = \frac{[a - E(a)]^2}{E(a)} + \dots + \frac{[d - E(d)]^2}{E(d)}$$

En el caso de una tabla de contingencia de 2 x 2, Ji cuadrada puede calcularse también mediante la siguiente fórmula simplificada (Wayne, 1987).

$$X^2 = \frac{N(ad - bc)^2}{mnrs}$$

Donde a, b, c, d, son las frecuencias observadas de cada celda; m, n, r, s, son los totales observados en la tabla de contingencia 2 x 2. Entonces esta fórmula utiliza las frecuencias y los totales observados.

La regla de decisión es la siguiente:

Si $X^2_C > X^2_t$, con 1 grado de libertad, se rechaza H_0 .

Por lo tanto, las variables no son independientes, sino que la ocurrencia de una está asociada a la ocurrencia de la otra.

2.4.1 Corrección de Yates

Las frecuencias observadas en una tabla de contingencia son discretas, y de este modo, dan lugar a una estadística discreta, X^2 , que es aproximada por la distribución X^2 , que es continua. Yates propuso un procedimiento para corregir esto en el caso de tablas de 2 x 2. La corrección consiste en restar la mitad del número total de observaciones del valor absoluto de la cantidad $ad - bc$ antes de elevar al cuadrado, entonces la fórmula queda de la siguiente manera:

$$X^2_{Corregida} = \frac{N((ad - bc) - 0.5N)^2}{mnrs}$$

Si las frecuencias de las celdas esperadas son grandes, los resultados corregidos y sin corrección son casi los mismos. Cuando las frecuencias esperadas están entre 5 y 10, se debe aplicar la corrección de Yates (Walpole, 1999).

2.4.2 Índices de asociación

Los índices de asociación, son útiles para conocer la interacción entre dos especies o la similitud de sus requerimientos de hábitat (Hubálek, 1978). Según Muller-Dambois y Ellenberg (1974) un buen número de índices de asociación han sido evaluados, sin embargo, se utiliza comúnmente el índice de Jaccard (IJ), ya que es de simple aplicación. Este mismo autor señala que el índice de Jaccard, puede ser aplicado como índice de asociación de especies de tres maneras:

1. Para evaluar la correlación de presencia o ausencia de dos especies entre muestras o cuadrantes en campo.
2. Para comparar la correspondencia en valores cuantitativos o cantidad de cada especie presente
3. Para correlacionar la constancia de especies en tipos de vegetación.

Matteucci y Colma (1982) mencionan que el índice de asociación de Jaccard (IJ), es la relación entre el número de muestras en que dos especies coinciden y el número de muestras en que una o ambas están presentes. Y esta dado por la siguiente fórmula:

$$IJ = \frac{a}{a+b+c}$$

Donde:

a = Número de muestras en que la especie A y la especie B están presentes.

b = Número de muestras en que la especie A aparece sola.

c = Número de muestras en que la especie B aparece sola.

Si la asociación es total, es decir que las especies A y B aparecen siempre juntas, $IJ = 1$; si la especie A y la especie B nunca aparecen juntas, entonces $IJ = 0$.

Este mismo autor menciona que otro índice de asociación es utilizado para evaluar el grado de asociación entre dos especies, es el Índice de Dice (ID); que es equivalente a la relación entre el duplo del número de muestras en que ambas especies coinciden y la suma del número

total de muestras que contienen la especie A, más el número total de muestras que contienen la especie B:

$$ID = \frac{2a}{2a+b+c}$$

Al igual que en el caso anterior, $ID = 1$, si la asociación es completa e igual a 0 si no existe asociación.

El Índice de Ochiai (IO) está basado en la media geométrica de a/m y a/r , donde m es igual a la suma de $a + b$, y r es igual a la suma de $a + c$. Y está dado por la siguiente formula:

$$IO = \frac{a}{\sqrt{a+b}\sqrt{a+c}}$$

En este caso también si $IO=1$, la asociación es completa, y si no existe asociación el $IO = 0$.

Ninguno de estos índices tiene en cuenta las ausencias conjuntas de las especies, lo cual también puede ser una indicación de asociación (Matteucci y Colma, 1982).

2.5 Sistemas de información geografía

Un sistemas de información geográfica (SIG) se puede definir como una tecnología informática para gestionar y analizar información espacial o un conjunto de herramientas para reunir, introducir (en el ordenador), almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos (Bosque, 1992).

El Centro Nacional para Información y Análisis (NGCIA por sus siglas en ingles) 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 espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Bosque, 1992).

Los SIG son bases de datos informatizadas con algún tipo de componente espacial; esto significa que la información que almacena esta referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas u otro tipo de información sobre un territorio específico, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Por cuanto a la información que contienen se almacena en forma digital, los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de las computadoras, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales: generalización cartográfica, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, etc. Ampliando enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, facilita su almacenamiento y visualización, además permite almacenar la información espacial de forma eficiente y facilita su actualización y acceso directo (Chuvienco, 1990).

Varios hechos son importantes en las citadas definiciones: la capacidad de este dispositivo informático para gestionar/analizar datos espaciales y la combinación de distintas funciones operativas definidas sobre este tipo de información: 1°) introducir los datos espaciales en computadora, 2°) creación de una base de datos que conserve sus características de modo económico y coherente; 3°) gestión y manipulación para interrogar a la base de datos; 4°) análisis y generación de una nueva información a partir de la ya incluida en la base de datos; 5°) representación cartográfica (y por otros medios) de los datos (Bosque *et al.*, 1994).

La representación del aspecto espacial en los SIG se basa en dos formas diferentes o formatos: El de líneas y polígonos llamado vectorial y como celdillas o píxeles conocido como raster, este último es también conocido como matricial.

2.5.1 Modelo de datos vectorial

Este modelo define un objeto geográfico de la realidad a través de sus límites o fronteras con el exterior. Para ello establece, mediante unos 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. Dentro del mismo enfoque vectorial existen dos formas distintas de organizar y/o estructurar los datos: a) en lista de coordenadas, y b) en organización arco/nodo (Bosque *et al.*, 1994).

Este tipo de formato de datos es utilizado extensamente por cartógrafos para la producción de mapas. Los datos de los polígonos son ampliamente utilizados para el análisis de características lineales como patrones de flujo y longitudes de perímetro.

2.5.2 Modelo de datos raster

El modelo de datos raster representa digitalmente la información espacial de un modo diferente y, en cierto modo, complementario al anterior. Ahora lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites exteriores. Para ello, el procedimiento consiste en superponer 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 pixel) lo que la convierte en muy premiosa y detallada, y por lo tanto más complicada de manejar y de guardar en el ordenador (Bosque *et al.*, 1994).

Los SIG basados en formato raster permite el análisis espacial por medio de operaciones con mapas y tiene compatibilidad con sensores remotos y tecnologías automáticas de captura.

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: superponer dos o más mapas, delimitar cuencas visuales e hidrológicas, obtener mapas de gradientes, realizar operaciones de filtrado, reclasificar, etc.

2.5.3 Utilidad de los SIG en estudios ecológicos

Dada la problemática ambiental que atraviesa actualmente nuestro país, surge la necesidad de utilizar tecnología que apoye de una manera eficaz en la toma de decisiones, principalmente en el manejo de los recursos naturales y en la conservación y restauración de los mismos.

Los sistemas de información geográfica, son una tecnología que ofrece un potencial para enfrentar los retos de la administración de los recursos naturales en un mundo en el que ya no se puede hacer uso extensivo de los mismos. México llega al encuentro de los SIG cuando esta

tecnología se encuentra lo suficientemente madura (tanto en software, hardware y aplicaciones) para obtener el mayor provecho de ella (Moreno y Moreno, 1995).

Los SIG son una importante herramienta en actividades como los inventarios forestales, el manejo de fauna silvestre, la protección de recursos naturales contra los incendios forestales, el control y combate de plagas y enfermedades forestales, el aprovechamiento de recursos naturales, entre otras aplicaciones.

En el estudio de la biodiversidad, por ejemplo, los SIG permiten representar cartográficamente la distribución y la abundancia de las especies tanto en el ámbito regional como en el nacional, lo que contribuye al conocimiento de las diferentes zonas biogeográficas y de las regiones con alta biodiversidad o con endemismos. Mediante los SIG se puede evaluar de manera geográfica la información y el conocimiento acerca de la biodiversidad con que cuenta una determinada región, estado o país.

Mediante el uso de los sistemas de información geográfica se puede analizar también, la relación entre los principales factores abióticos como la exposición, elevación, pendiente, precipitación, temperatura, edafología y geología y los patrones de distribución de la cobertura vegetal, para mapear los tipos de cobertura vegetal en regiones montañosas de difícil acceso (González y Lozano, 1995).

Así mismo, los SIG permiten desarrollar estrategias para enfrentar el problema de la cuantificación, del estado y avance de la desertificación en zonas áridas (De la Torre *et al.*, 1983).

El Instituto nacional de investigaciones forestales y agropecuarias, desde mediados de 1991, ha realizado investigaciones a nivel nacional con la aplicación de los SIG, como por ejemplo, ha hecho estudios del potencial productivo de especies forestales, además a generado resultados para apoyar la toma de decisiones en la planeación del uso del suelo (Moreno y Moreno, 1995). Actualmente algunas de las universidades de México participan en la difusión de los conocimientos en relación con los Sistemas de Información Geográfica.

Un trabajo que se relaciona mucho con el presente, sobre todo en la metodología utilizada, es el que realizó Ramírez (1998) para la Sierra de Zapalinamé, en Coahuila; el cual consistió en identificar los factores ambientales que determinan la ocurrencia de los tipos de vegetación y usos del suelo, por medio de la evaluación de siete factores ambientales contra nueve tipos de vegetación y ocho usos del suelo, utilizando como herramienta un sistema de información geográfica.

García (1998b) realizó un trabajo que consistió en evaluar la diversidad del paisaje en la Sierra Zapalinamé, Coahuila; utilizando dos gradientes ambientales, la altitud y la exposición; para esto utilizó también un sistema de información geográfica.

Lo anterior nos muestra que los SIG son una herramienta, que se puede utilizar para realizar trabajos de muy variada naturaleza, y en las ciencias forestales, su uso debería ser mas intensivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

La región Tarahumara ocupa una superficie aproximada de 71,231.133 y tiene una elevación promedio de 2,500 msnm, comprende una gran variedad de expresiones ecogeográficas representadas por cuatro grandes subsistemas; barrancas y tierras bajas, serranías con altitudes menores a los 2,000 msnm, mesetas y sistemas montañosos con elevaciones mayores a los 2,500 msnm (INI, 1993).

El área de estudio se ubica al Suroeste del estado de Chihuahua. Geográficamente se encuentra comprendida entre las coordenadas $106^{\circ} 03' 00''$ a $109^{\circ} 07' 00''$ de longitud Oeste y entre los $25^{\circ} 56' 00''$ y $29^{\circ} 26' 00''$ de latitud Norte (Figura 2).



Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio

3.1.2 Infraestructura vías de acceso

La Región presenta diferentes vías de acceso que incluyen carreteras, vías de ferrocarril, caminos de terracería, brechas y veredas. Por la parte Norte se tiene acceso a través de la carretera No 10, de Janos-Nuevas Casas Grandes- Madera. Por la parte Este, comunica la carretera No 16 de la Junta-Yepachic-Yecora-Sonora, la cual atraviesa la barrera geográfica de esta gran zona serrana. Por el Sur se entra a el área por la carretera No 24 San José (en proceso de pavimentación)-Guadalupe y Calvo-El Vergel-Parral. Al centro del área de estudio se tiene acceso por la carretera que comunica a las ciudades de Cuauhtémoc con Hermosillo, Son.

Además en el área atraviesa el ferrocarril que comunica a la ciudad de Chihuahua con el pacífico mexicano, pasa por el poblado de la Junta, Creel y Temoris para enlazar con los Mochis y el puerto de Topolobampo, Sonora. Del poblado la Junta comunica con Ciudad Juárez atravesando los poblados de Maderas y Nuevas Casas Grandes (Figura 3).

3.1.3 Clima

De acuerdo con la cartografía climática realizada por la UNAM (1970) en el área de estudio se presentan básicamente tres tipos de climas: templados húmedos (C), cálidos húmedos (A) y climas secos (B), con pequeñas variaciones en los sectores involucrados (Figura 4).

Los climas templados húmedos se caracterizan por tener inviernos benignos, con una temperatura media del mes más caliente inferior a los 18°C, pero superior a -3°C. La temperatura media del mes mas caliente superior a 10° C. La temperatura media del mes más frío de -3°C, se presentan lluvias en verano por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia, en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco. Este tipo de climas se distribuye sobre las sierras, cañadas, mesetas y llanuras.

Los climas cálidos húmedo, se caracterizan por presentar una temperatura del mes más frío superior a los 18°C, la del mes más frío menor de 18°C, las plantas tropicales sensibles al frío prosperan en este clima, es la zona de las plantas megatermas que necesitan temperaturas constantemente altas y abundante precipitación poseen por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia, en el mes más lluvioso de la mitad caliente del año, que en el mes menos lluvioso, por lo

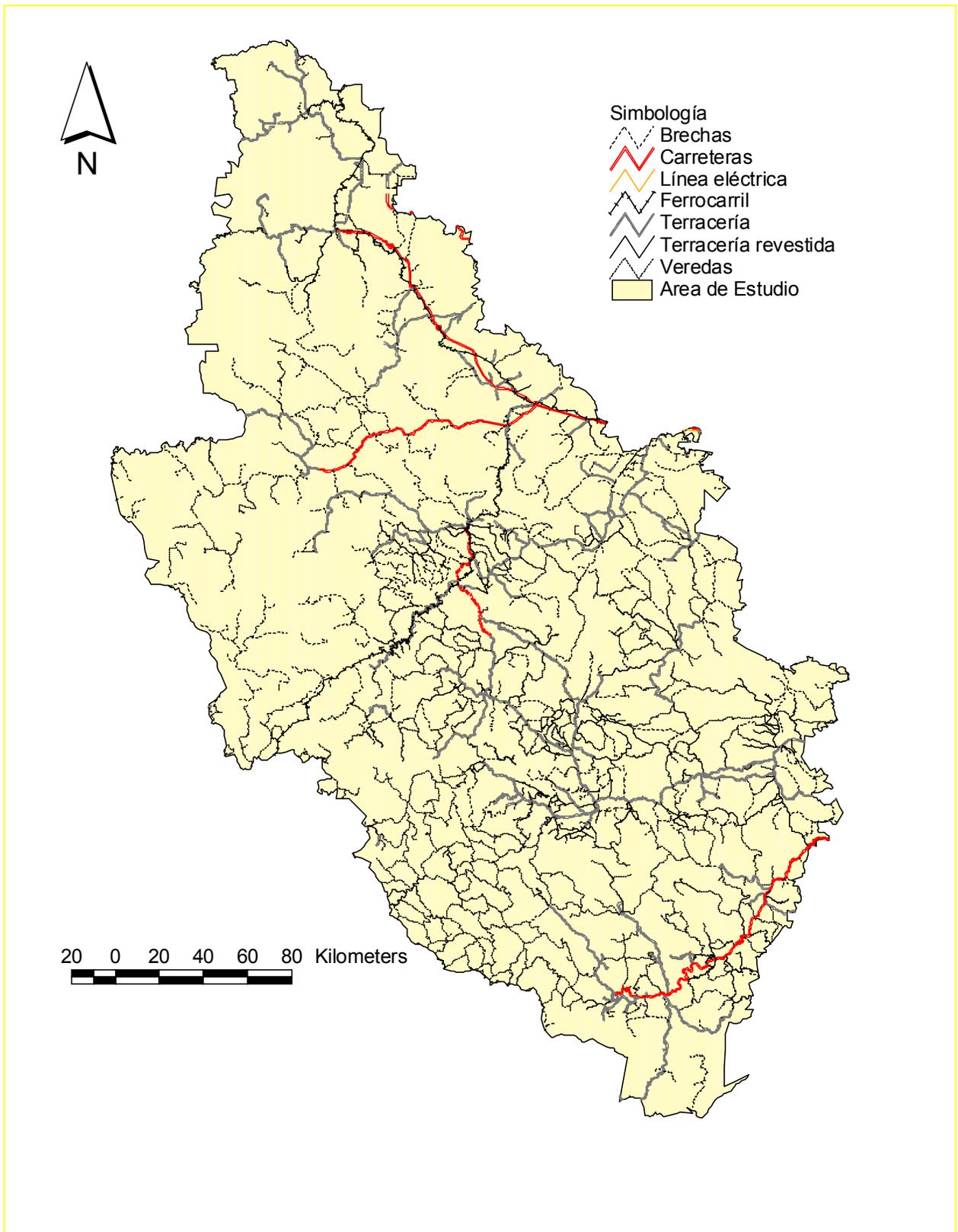


Figura 3. Mapa de las principales vías de acceso de región Tarahumara, Chih.

Fuente: INEGI, 1981. Cartas topográficas escala 1:250,000.

menos un mes con precipitación media menor de 60 mm. Principalmente se distribuye en los cañones de la sierra.

Los climas secos se caracterizan porque la evaporación excede a la precipitación, esta última no es suficiente para alimentar corrientes de agua permanente, lo que hace que sean climas semiáridos o esteparios su temperatura media anual es mayor de 22°C, la del mes más frío mayor de 18°C, mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que el mes más seco, presenta un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual. Este clima se distribuye primordialmente sobre los valles del área de estudio y lomeríos.

3.1.4 Fisiografía

Toda el área se encuentra dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental, la cual forma una gran planicie de rocas volcánicas, con angostas depresiones estructurales entre serranías de cima suave, mesas y mesetas; segmentadas por gargantas de corrientes transversales antecedentes o corrientes remotantes que fluyen a través de barrancas profundas hacia las tierras bajas de la Costa del Pacífico (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Esta gran provincia comprende a su vez cinco subprovincias fisiográficas: la gran meseta y cañones chihuahuenses, la gran meseta y cañones duranguenses, sierras y cañadas del norte, sierras y llanuras de Durango, y sierras y llanuras tarahumaras. Donde las más predominantes corresponde a la subprovincia de la gran meseta y cañones chihuahuenses y a las sierra y cañadas del Norte.

Por otra parte en la región se presentan cinco grandes topofomas, que son: lomeríos, llanuras, mesetas, sierra, y valles; las mesetas, valles y sierras son los que ocupan mayores superficies, siendo esta última la más abundante (Figura5).

La región fisiográficamente corresponde a la subprovincia fisiográfica gran meseta y cañones chihuahuenses en 61.93% y sierras y cañadas del Norte de 17.84%; con respecto a su topofoma el área presenta en su gran parte sierras con un porcentaje de 54.67.

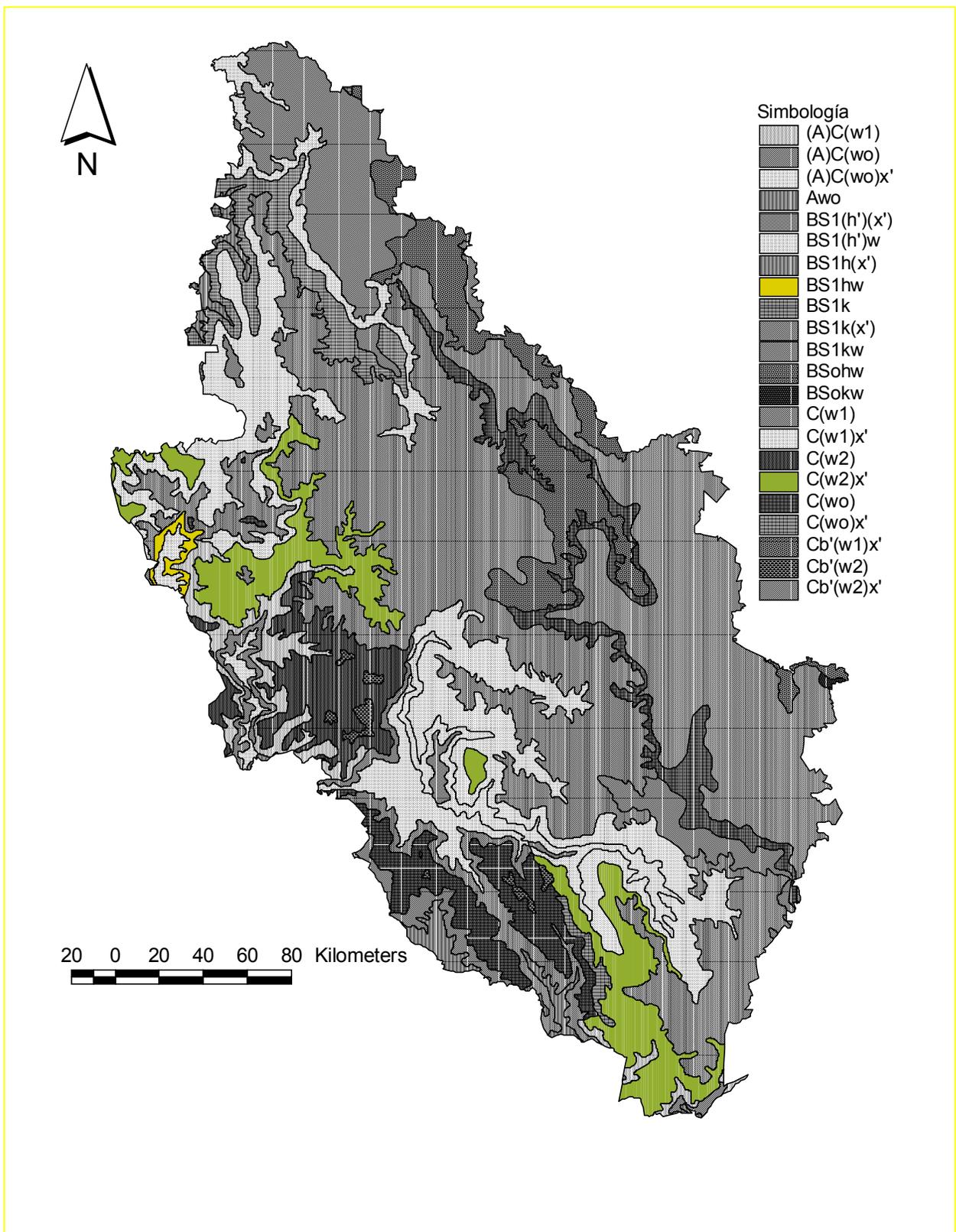


Figura 4. Mapa de climas de la región Tarahumara, Chih.

Fuente: UNAM, 1970. Cartas de climas escala 1:500,000.

3.1.5 Hidrología

La región básicamente esta integrada en cuatro regiones hidrológicas; Sinaloa (RH10), Sonora (RH9), Río Bravo–Conchos (RH24) y Cuencas Cerradas del Norte (RH34), siendo las más dominantes en cuanto a superficie de ocupación son la RH10, RH24 y RH9. Estas regiones a su vez comprenden diez subcuencas, siendo las más abundantes la subcuenca del Río Fuerte (RH10-G) y la subcuenca del Río Yaqui (RH9-B) principalmente (Figura 6).

El potencial hidrológico está integrado por las corrientes que drenan al interior (cuencas endorreicas), de los depósitos de agua de lagunas y presas, así como también por las aguas subterráneas. Estos son alimentados por una precipitación media anual de 470 mm anuales. Los escurrimientos superficiales que se presentan en el área corresponden principalmente a los del rango 20-50 mm, 100-200 mm y 200-500

Así mismo las corrientes superficiales que se presentan dan origen a las corrientes de la vertiente del Golfo de California, donde los tributarios que predominan por su caudal corresponde al Río Mayo, Río Fuerte, Río Yaquí y Río Sinaloa, los cuales alimentan a las cuencas que dan riqueza agrícola a los estados de Sonora y Sinaloa. También se tiene otros ríos importantes; Septentrión, Otero, Urique, San Miguel, Los Loera, Tenorivo, Bazonapa, Turuachis, Río Verde, Candameña, Tutuaca y Río Aros (Figura 7).

Las embalses y cuerpos de agua que existen dentro del área son de gran importancia económica para el desarrollo de ciertas actividades productivas. Destacan tres importantes cuerpos de agua que están localizados al Norte de la región; Laguna de Babícora, Presa Abraham González y Laguna de los Mexicanos.

3.1.6 Geología

La región del Tarahumara se ubica en la unidad geotectónica más importante del Noroeste de México, denominada provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, que comprende un substrato basal prevolcánico y un potente conjunto de rocas volcánicas, que en su

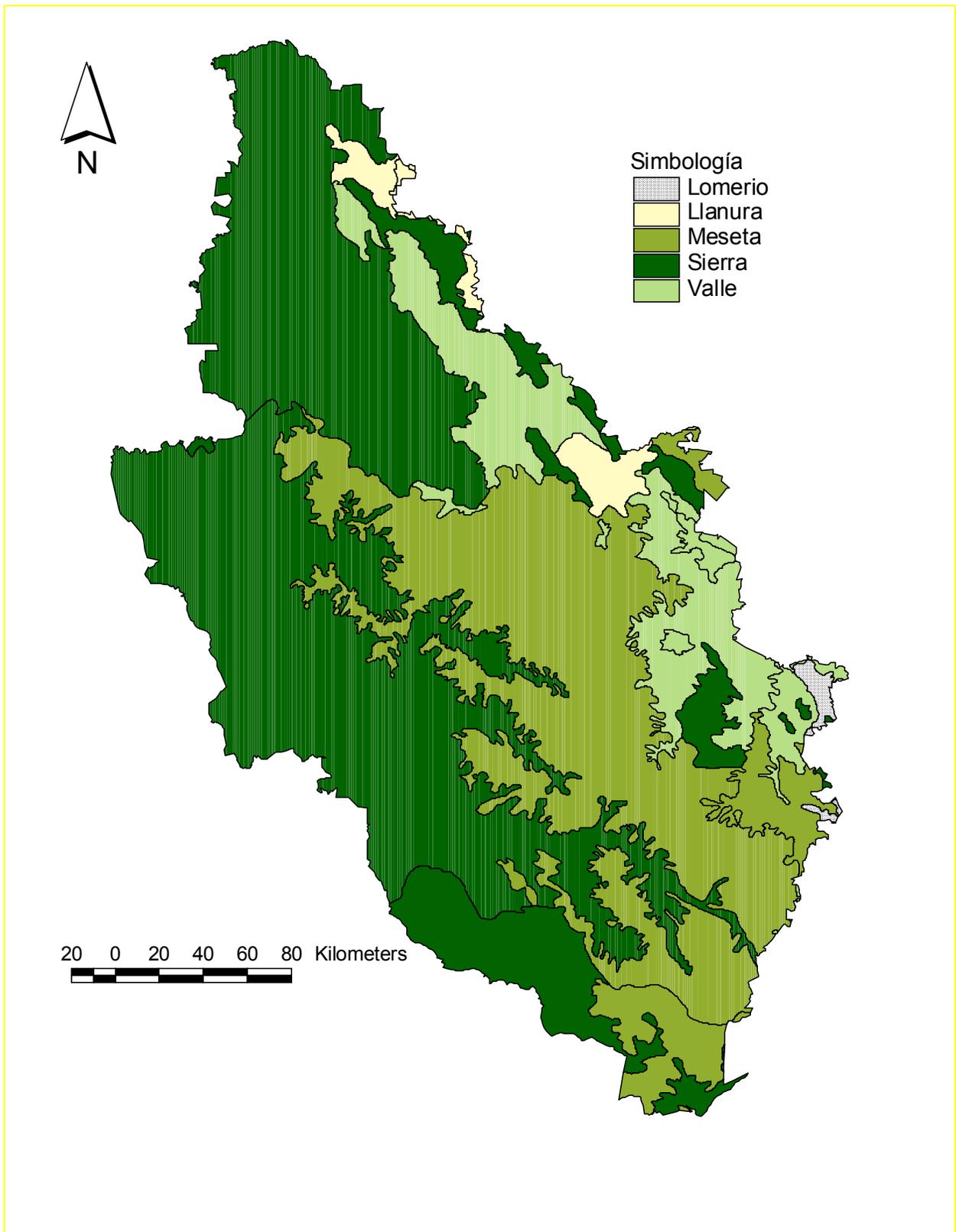


Figura 5. Mapa de unidades fisiográficas de la región Tarahumara, Chih.

Fuente: SPP, 1981. Cartas fisiográficas escala 1:1,000,000.

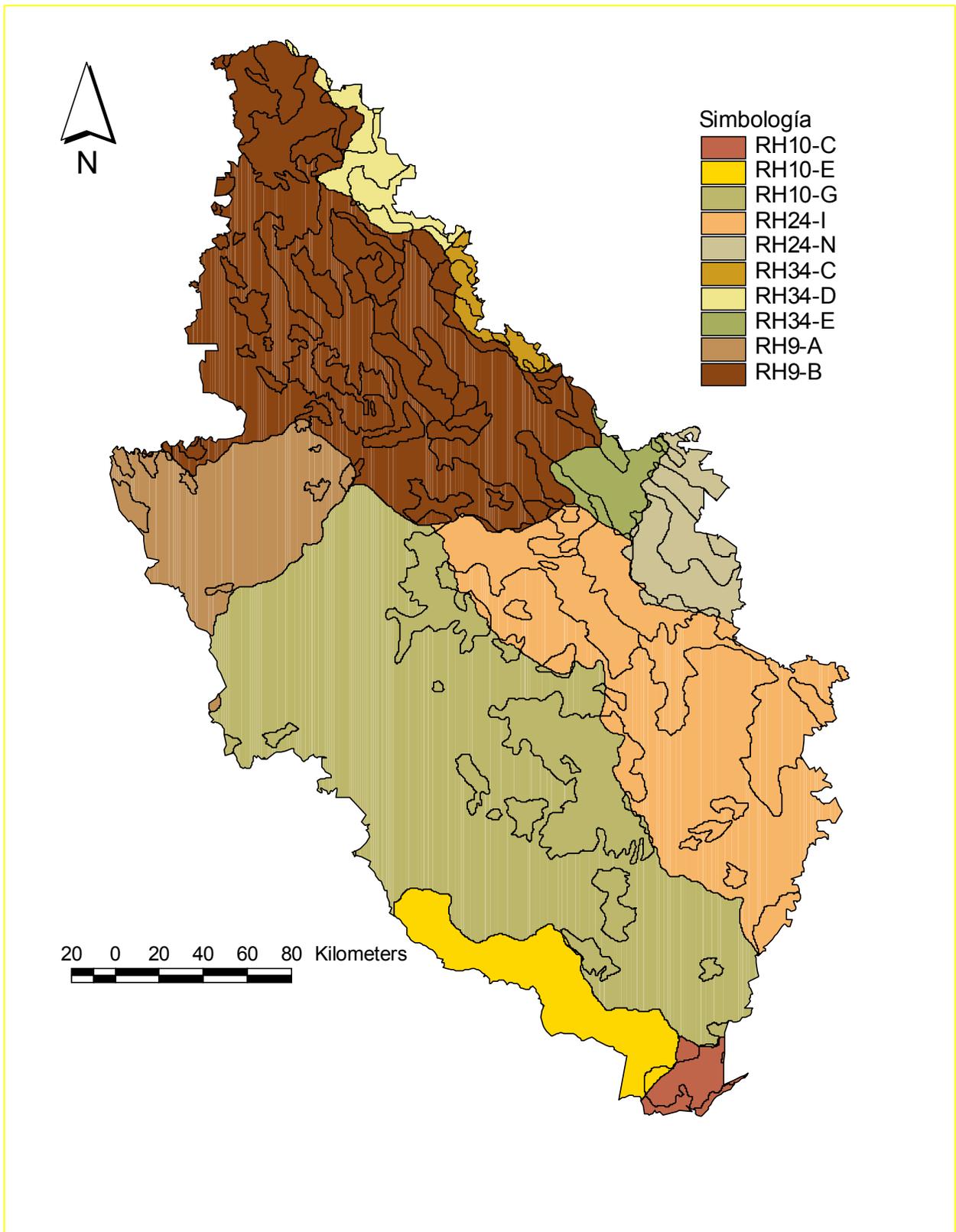


Figura 6. Mapa de regiones hidrológicas de la región Tarahumara, Chih.

Fuente: SPP, 1981. Cartas hidrológicas de Aguas Superficiales escala 1:1,000,000.

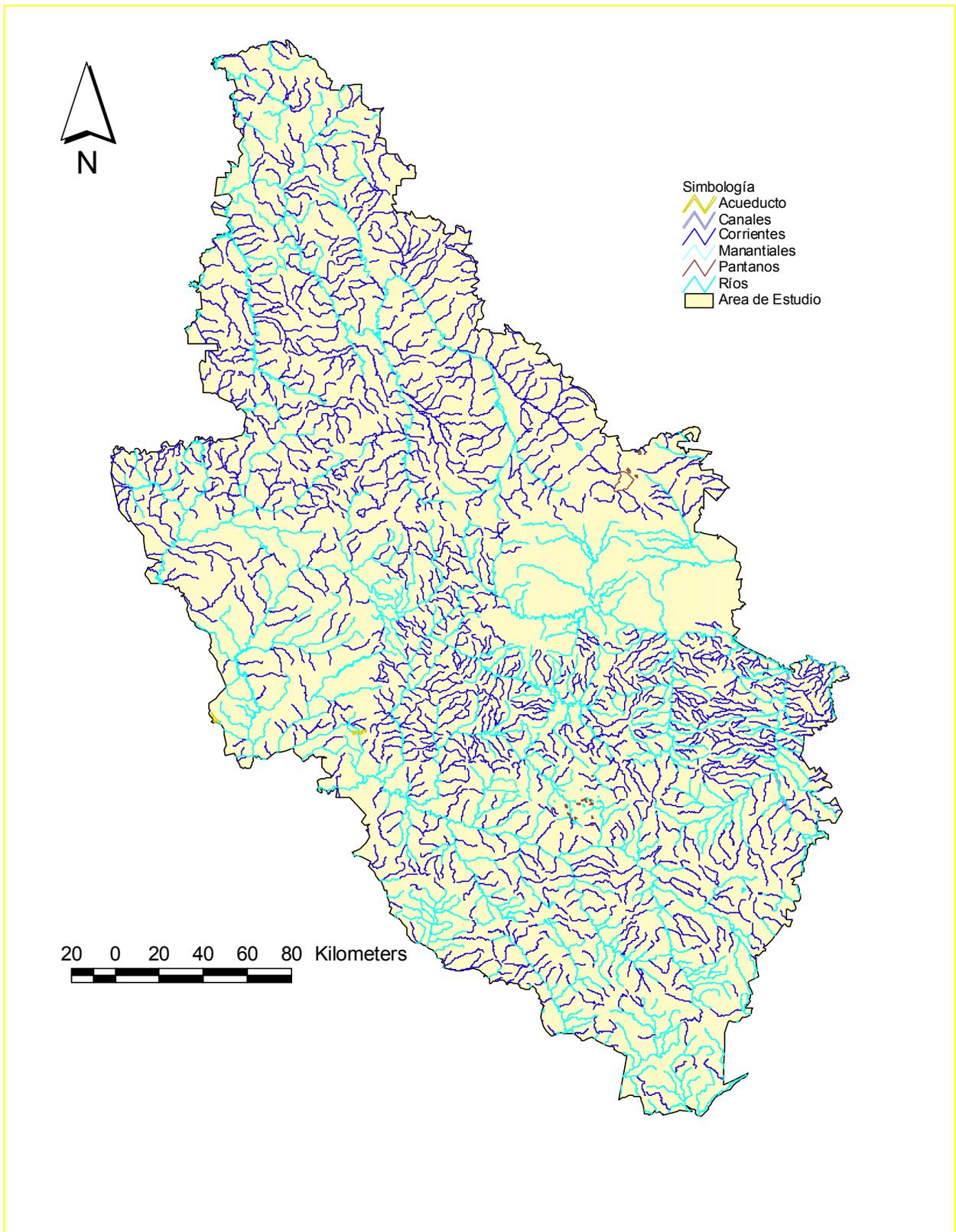


Figura 7. Mapa de corrientes superficiales del región Tarahumara Chih.

Fuente: INEGI, 1981. Cartas Topográficas escala 1:250,000.

mayor volumen corresponden al intervalo cretácico-oligoceno, y que se divide a su vez en dos grandes secuencias con denominación informal; el complejo volcánico inferior, compuesto fundamentalmente por andesitas, con más de 3 kilómetros de espesor, generalmente basculada y alterada, emitidas a partir del estrato volcánico; y la serie volcánica superior que excede 1.5 kilómetros de espesor, constituida por la carpeta ignímblica subhorizontal que conforma la mesa alta presente a lo largo de toda las provincias. Sin embargo, existen pequeñas superficies de rocas sedimentarias o calizas. Los materiales que existen en el área son: mineral de cuarzo, feldespatos alcalinos, plagioclasas sódicas, feldespatos potásicos, plagioclasas cálcicas, ferromagnesianos y feldespatoides (Consejo de Recursos Minerales,1994).

Básicamente la región esta conformada por rocas ígneas extrusivas ácidas en un 65.64%, rocas ígneas extrusivas básicas en un 19.18% y un 11.07% por conglomerados.

3.1.7 Edafología

La caracterización de suelos del área, se realizó utilizando las unidades de suelo dominantes descritas en la carta edafológica escala 1:1,000,000 de donde se obtuvieron 18 unidades de suelos de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO realizada por SPP (1981) (Figura 8).

Como se aprecia en la Figura 9 en la región predominan las unidades de suelo feozem háplico en la parte central y Norte de la región, el regosol calcárico en los extremos sur y en la parte central y por último el litosol en el extremo occidental, ocupando en conjunto el 86.3% de la superficie total en estudio.

Las características de estos suelos, así como de las 15 unidades menos representadas se definen a continuación de acuerdo con INEGI (1989).

Cambisol

Son suelos jóvenes y poco desarrollados, presentes en cualquier clima, excepto en zonas áridas, puede sostener cualquier tipo de vegetación. Se caracteriza por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo de roca, ya que en ella se forman terrones, además puede tener

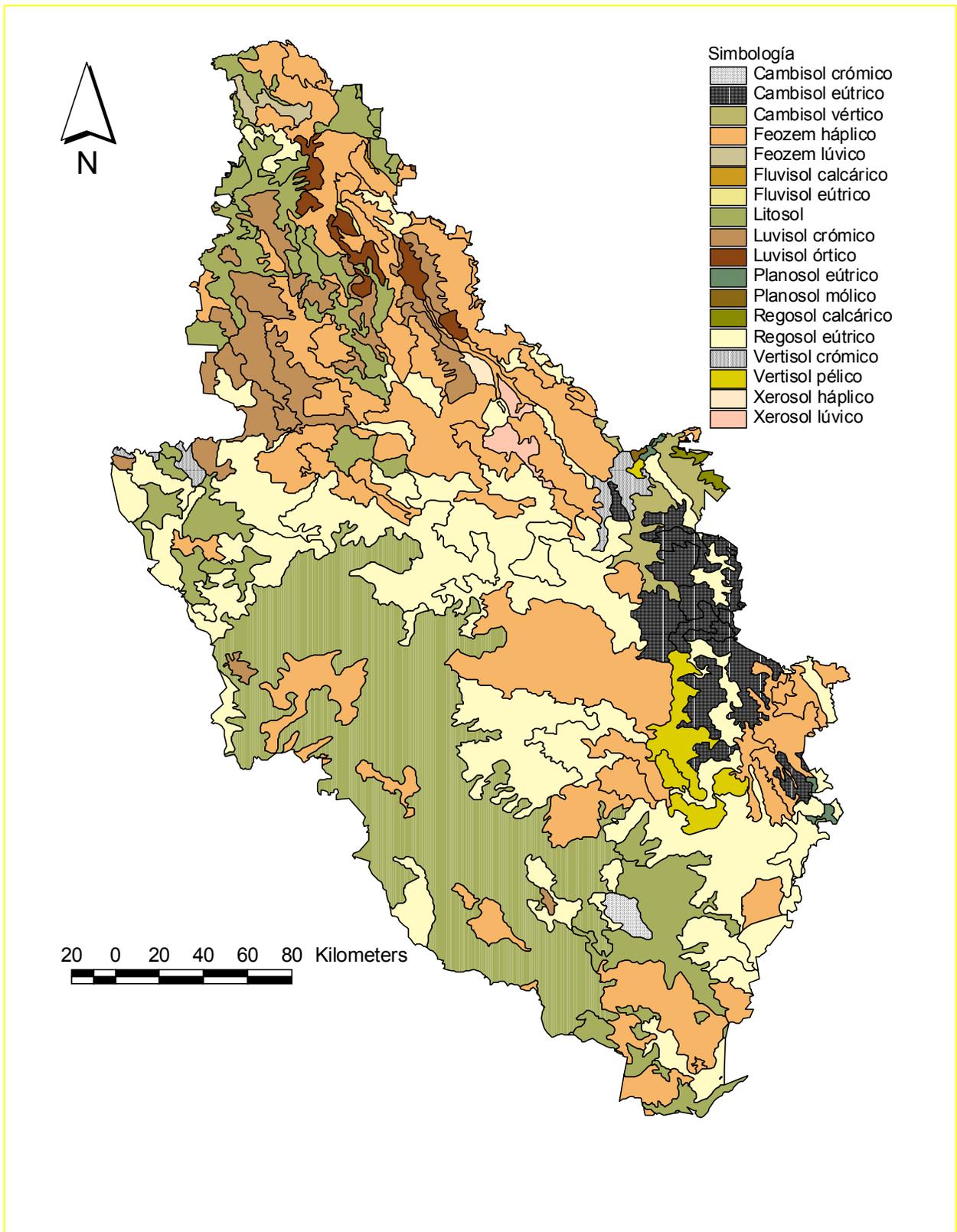


Figura 8. Mapa de unidades de suelo dominante de la región Tarahumara Chih.

Fuente: SPP, 1981. Cartas edafológicas escala 1:1,000,000.

acumulación de algunos materiales como arcilla, carbonatos de calcio, fierro, manganeso, etc., pero sin que esta acumulación sea muy abundante.

Feozem

Estos suelos se localizan en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas, hasta templados o tropicales muy lluviosos, así como en diversos tipos de terrenos, desde planos a muy montañosos. En condiciones naturales son capaces de presentar casi cualquier tipo de vegetación. La característica distintiva de este suelo es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes y no presentan capas ricas en cal, que es lo que lo hace diferente de los chernozem y castañozem. Los feozem profundos y localizados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego y temporal en cultivos de legumbres, granos u hortalizas, con altos rendimientos. Los menos profundos situados en laderas y pendientes tienen rendimientos bajos y son muy susceptibles a erosionarse. Sin embargo pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables.

Fluvisol

Están formados por materiales acarreados por agua y constituidos por materiales disgregados que no presentan estructura en terrones, es decir, son suelos muy poco desarrollados. Están presentes en todos los climas y regiones de México cerca de lagos o sierras, desde donde escurre el agua a los llanos, así como en los lechos de los ríos. En muchas ocasiones presentan capas alternadas de arena grava o arcilla, los cuales son producto del acarreo de estos materiales por inundaciones no muy antiguas. Algunos son someros o profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles, en función al tipo de materiales que lo conforman.

Litosol

Suelos que se localizan en todos los climas con diversos tipos de vegetación. Tienen menos de 10 cm de profundidad hasta la roca, tepetate o caliche duro. Los litosoles son característicos de las laderas, barrancas o malpais, así como en lomeríos o algunos terrenos planos. Sus características varían mucho dependiendo del material que lo forma. Pueden ser fértiles o estériles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona en donde se localice (topografía y del mismo suelo), y puede ser desde moderada hasta muy alta.

Su uso depende de la vegetación que lo cubre. Su uso se ve limitado por el peligro de la erosión que siempre existe. Este tipo de suelo es el de mayor predominancia en la región de estudio tanto en superficie (21,558.83 km²) como en distribución.

Luvisol

Se localizan en zonas templadas o tropicales lluviosas, aunque en ocasiones se pueden encontrar en climas algo más secos. Su vegetación es de bosque o selva. A semejanza de los Acrisoles tienen un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, pero son más fértiles y menos ácidos que estos. Son frecuentemente rojos o claros, aunque también presentan tonos pardos o grises que no llegan a ser muy oscuros. Son suelos altamente susceptibles a la erosión y en nuestro país muchos Luvisoles se hallan erosionados debido al uso agrícola y pecuario que se ha hecho en ellos sin tomar las debidas precauciones para evitar este fenómeno.

Regosol

Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos. Se encuentran en mayor o menor grado en las laderas de todas las sierras mexicanas, muchas veces acompañado de litosoles y presencia superficial de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, de fertilidad variable y con uso agrícola condicionado a su profundidad y al hecho de que no presentan pedregosidad en sus diferentes estratos. Son suelos que se pueden localizar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación.

Vertisol

Presentes en climas templados y cálidos en zonas en las que hay una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural de estos suelos se encuentra desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semisecos. Se caracterizan por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos en la época de sequía; son suelos muy arcillosos, frecuentemente negros o grises o cafés rojizos, son pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos, en ocasiones son salinos. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva; por lo general son fértiles aunque presentan ciertos problemas para su manejo debido a que su dureza dificulta la labranza y frecuentemente presentan problemas de inundación y drenaje.

Xerosol

Se ubican en las zonas áridas y semiáridas del centro y Norte del país, su vegetación natural son los matorrales y pastizales. Tienen una capa superficial de color clara y muy pobre en humus; debajo de ellas puede haber un subsuelo rico en arcillas, o muy semejante a la capa superficial; a cierta profundidad muchas veces presentan manchas, polvo, o aglomeraciones de cal y cristales de yeso o caliche, de mayor o menor dureza; a veces son salinos. Son suelos con baja susceptibilidad a la erosión excepto cuando se localizan en pendientes o sobre caliche o tepetate.

Planosol

Los planosoles se presentan generalmente en climas semiáridos en nuestro país. Su vegetación natural es de pastizal. Su característica principal es presentar debajo de la capa más superficial una capa más o menos delgada de un material claro que es siempre menos arcilloso que las capas que lo cubren y lo subyacen. Esta capa es infértil y ácida, y a veces impide el paso de las raíces. Debajo de la capa mencionada se presenta un subsuelo muy arcilloso e impermeable, o bien, roca o tepetate, también impermeable. En ocasiones se utiliza también para la agricultura, con rendimientos variables en función del tipo de capa superficial. Son muy susceptibles a la erosión, sobre todo en las capas más superficiales que descansan sobre la arcilla o tepetate impermeable.

3.1.8 Tipos de vegetación y usos de suelo

La vegetación del área se consideró tomando como base la descripción realizada en las cartas de vegetación y uso de suelo escala 1:250,000 (INEGI,1985). La información sobre las características fisonómico-florísticas de algunas comunidades vegetales, se obtuvo del estudio de la vegetación de México, realizado por Rzedowski (1978).

El área de estudio se localiza en su mayor parte dentro de la Provincia Florística denominada: Sierra Madre Occidental, en donde los bosques ocupan una mayor superficie, aún cuando también son frecuentes los de *Quercus*, especialmente sobre altitudes inferiores.

Las especies vegetales que se encuentran en los bosques de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua, presentan una mayor afinidad geográfica boreal, asimismo, se encuentran en estos

bosques, géneros de origen neotropical y algunos géneros endémicos de esta provincia fisiográfica.

La amplia diversidad biológica de la Sierra Madre Occidental en el estado de Chihuahua, es debido a la variedad del clima y la topografía irregular de tal provincia fisiográfica, las cuales, además de las características geológicas de la región, han influido en la presencia de variadas comunidades vegetales, integradas por una flora relativamente rica, estos tipos de vegetación constituyen el hábitat de un gran número de especies de fauna silvestre.

En el área de estudio se presentan 25 tipos de vegetación y otros usos del suelo, de los cuales 21 son tipos de vegetación natural y 5 representan otros usos del suelo (Figura 9), la diversidad en los tipos de vegetación, representa variantes de los bosques templado subhúmedo, de pino y de pino encino, matorrales desértico, pastizales y la selva baja caducifolia. A continuación se describen cada uno de estos tipos de vegetación.

Bosque de pino

Son rodales más o menos homogéneos dominados principalmente por el género *Pinus*, estos rodales se distribuyen principalmente en las sierras de la región; las especies *Pinus arizonica*, *P. lumholtzii*, *P. reflexa*, *P. durangensis* y *P. engelmannii*, dominan la fisonomía de esta comunidad y en general son comunes en toda el área de estudio.

La Sierra Madre Occidental en su porción correspondiente al estado de Chihuahua, tiene amplias extensiones de pinares, sobre todo entre 1,800 y 3,000 m, en general estos pinares son bastante abiertos, otros árboles y arbustos acompañantes son de los géneros *Quercus*, *Arbutus*, la especie de *Pinus chihuahuana* es frecuente en las laderas bajas, mientras que *P. durangensis*, *Pseudotsuga*, *Abies* y *Picea* se localizan en parajes húmedos, en laderas más altas (Rzedowski, 1978). La comunidad de bosque de pino presenta una mayor representatividad en el centro de la región de estudio.

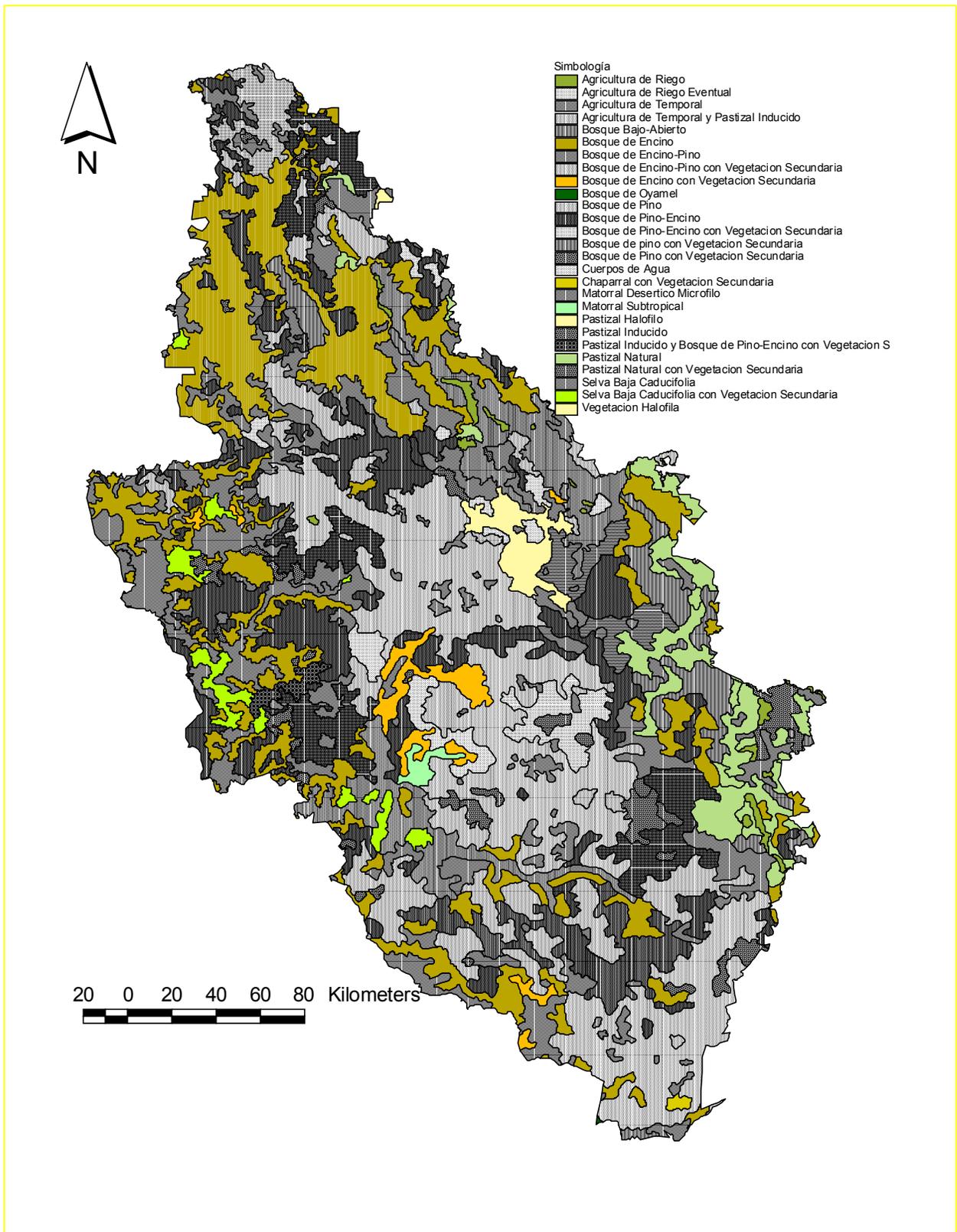


Figura 9. Mapa de tipos de vegetación y usos de suelo de la región Tarahumara Chih.

Fuente: INEGI, 1985. Cartas de uso de suelo y vegetación Escala 1:250,000.

Bosque de pino-encino

Es prácticamente semejante al bosque de encino-pino, con la variante de que el dominante es el género *Pinus*, se presenta en las laderas altas con pendientes regulares, en altitudes entre 2,000 a 3,000 msnm, en ocasiones también en los valles intermontanos, donde los suelos son de mayor profundidad. Entre las especies arbóreas se encuentran las siguientes: *Pinus arizonica*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. ponderosa* y *P. engelmannii*, las especies de encino más características son: *Quercus sideroxylla*, *Q. grisea*, *Q. rugosa*, *Q. hypoleucoides* y *Q. fulva*, el estrato herbáceo está integrado por *Pteridium aquilinum*, *Muhlenbergia montana* y *Fragaria mexicana*, se puede localizar con representatividad en los sectores Barranca Occidente con 7.55% y en el Macizo Norte con 2.47%.

Bosque de pino-encino con vegetación secundaria

Prácticamente es similar a la comunidad anterior, es decir, presenta las mismas características ya mencionadas sólo que los disturbios han dado lugar al desarrollo de asociaciones densas de arbustos de poca altura (1-3 m). Algunos de los arbustos e inclusive árboles como *Arctostaphylos pungens*, así como especies de los géneros *Quercus* y *Juniperus* han sido favorecidos por la perturbación humana. Se desarrolla principalmente en laderas de cerros y macizos montañosos. Su distribución y representatividad en el área de estudio son mínimas.

Bosque de pino con vegetación secundaria

Bosque de clima templado, afectado por las actividades agropecuarias, o por siniestros generalmente de incendios, al grado de quedar solo algunos manchones y en cuyas áreas impactadas por los incendios forestales, ha dado origen al desarrollo de un matorral denso de encinos y otras especies arbustivas tales como *Arctostaphylos pungens* y *Cercocarpus montanus*, entre otros, su representatividad en el área es prácticamente intrascendente.

Bosque bajo abierto

Este tipo de bosque se caracteriza por ser una comunidad de bosques de porte bajo con grandes espacios entre individuos arbóreos, los cuales son ocupados principalmente por gramíneas, se localiza en una faja de transición entre los bosques de pino y los bosques de encino, se le ha llamado también pastizal con encino-enebro.

Esta comunidad vegetal se desarrolla en elevaciones medias y laderas abruptas, de terrenos rocosos con suelos delgados. Las especies más comunes son *Quercus chihuahuensis*, *Q. grisea*, *Q. emoryi*, *Q. arizonica*, *Juniperus macrosperma*, *J. monosperma*, *Arbutus arizonica* y *Fraxinus papillosa*, entre los zacates *Bouteloua gracilis*, *B. hirsuta*, *Muhlenbergia emersleyi* y *Heteropogon contortus*, son las especies que frecuentemente integran el estrato herbáceo. Su representatividad en el área no es relevante.

Bosque de encino

La comunidad es propia de regiones protegidas y con abundante humedad, tales como cañones y valles intermontanos, las especie dominantes son de poca altura, siendo entre 3 y 8 m, con las copas redondeadas, formando comunidades esparcidas o densas, los encinares se caracterizan por la dominancia de especies arbóreas y caediza en la época de sequía, de las especies dominantes destacan las siguientes: *Quercus sideroxyla*, *Q. crassifolia*, *Q. grisea*, *Q. arizonica*, *Q. emoryi*, *Prunus serotina*, *Pinus arizonica*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii*, *Fraxinus papillosa*, *Acer brachypterum*, *Tilia mexicana*, el estrato herbáceo se compone de gramíneas como *Bouteloua curtipendula*, *Muhlenbergia emersleyi* y *Aristida pansa*.

Bosque de encino con vegetación secundaria

Constituye asociaciones densas de arbustos resistentes al fuego, las especies más abundantes son los encinos de porte bajo y muy densos, acompañados a menudo por *Arctostaphylos pungens* y otras especies arbustivas tales como *Cotoneaster* sp, *Adenostoma fasciculatum* y *Cercocarpus montanus*, es frecuente en la zona de transición entre el clima templado subhúmedo y semicálido, así como en el templado y semifrío, se desarrolla principalmente en laderas montañosas, por arriba de los matorrales de las zonas áridas, de los pastizales y en ocasiones se entremezcla con los bosques de pino-encino, su representatividad en el área de estudio es mínima.

Bosque de encino-pino

Comprende las comunidades mezcladas de los géneros *Quercus* y *Pinus* en proporción diversa, favoreciendo al genero *Quercus*, sus límites altitudinales se ubican entre las cotas de los 1900 y 2400 msnm, localizado en las partes altas planas o con pendientes regulares, el estrato arbóreo está dominado por los encinos, *Quercus rugosa*, *Q. hypoleuroides* y *Q. sideroxyla* y los

pinos codominantes para estas áreas son *Pinus leiophylla*, *P. arizonica*, *P. engelmannii*, *P. cembroides*, *P. lumholtzii*, además se presentan *Alnus arguta* y *Juglans major*, el estrato arbustivo está representado por *Ceanothus fendleri*, *Rhus aromatica*, el estrato herbáceo lo integran *Pteridium aquilinum* y *Muhlenbergia montana*, se localiza con una representatividad del 2.40% en el sector Barranca Occidente.

Bosque de encino pino con vegetación secundaria

Este tipo de vegetación es prácticamente similar al bosque de pino encino, sólo que se ha logrado desarrollar comunidades de arbustivas resistentes al fuego, su representatividad en el área es irrelevante

Bosque de oyamel

Se localiza en pequeñas porciones de las partes altas de las sierras, con climas templados y semihúmedos, a altitudes cercanas a los 3000 m, las principales especies de esta comunidad son el *Abies durangensis* var. *durangensis* y *Pseudotsuga menziesii*, formando parte de estas comunidades *Pinus arizonica*, *Cupressus arizonica*, *Populus tremuloides*, *Arbutus xalapensis* y *Arctostaphylos pugens*, así como pequeñas poblaciones de *Picea chihuahuana* especie endémica para la región.

Rzedowski (1978) menciona que para la Sierra Madre de Chihuahua, existen bosques mixtos de *Abies*, *Pseudotsuga* y *Pinus* confinados a las partes más húmedas y altas y de extensión reducida y discontinua, además los bosques de *Pseudotsuga* son los más frecuentes que los de *Abies* y los bosques de *Picea chihuahuana* se encuentran en unas pocas localidades de la Sierra Madre de Chihuahua, creciendo en lugares particularmente protegidos.

Matorral desértico micrófilo

Es una comunidad característica por la presencia de elementos arbustivos, con hojas pequeñas, no siempre espinosos y se localiza principalmente sobre terrenos aluviales planos y laderas inferiores de serranías, la especie más común es la gobernadora *Larrea tridentata*, asociada con las especies *Flourensia cernua*, *Parthenium incanun*, *Prosopis glandulosa* y *Acacia neovernicosa* y algunas gramíneas en el estrato herbáceo, como *Bouteloua gracilis*, *Muhlenbergia* y *Tridens*, su representatividad en el área de estudio es irrelevante.

Matorral subtropical

Comunidad vegetal formada por arbustos o árboles bajos, siendo inermes o espinosos que se desarrollan en una amplia zona de transición ecológica entre la selva baja caducifolia y los bosques templados y el matorral de zonas áridas y semiáridas, la mayor parte de la flora que la integra pierde el follaje en la estación seca del año. Las especies más comunes de este matorral son *Ipomoea arborescens*, *Bursera laxifolia*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia pennatula*, *Forestiera sp.*, *Erythrina goldmanii*. Su representatividad en el área es irrelevante.

Pastizal natural

Es aquel que está formado por los efectos de clima, suelo y la biota de una región. Se desarrolla en suelos medianamente profundos de laderas con poca pendiente, fondos de valles, casi siempre de naturaleza ígnea (Rzedowski, 1978). Lo constituyen diferentes especies de gramíneas (zacates), aunque puede haber también algunas especies arbustivas y árboles bajos, de distribución esparcida, en suelos bien drenados y con textura de migajón. Las especies de *Bouteloua* dominan sobre las de otros géneros, siendo las siguientes especies: *B. gracilis*, *B. eriopoda*, *B. curtipendula* y *Aristida divaricata*, las especies más abundantes, esta comunidad es prácticamente poco representativa de la región.

Pastizal natural con vegetación secundaria

Este tipo de vegetación conserva las características del pastizal natural con la variante que debido a disturbios como fuego o actividades agropecuarias a dado lugar a la invasión de arbustos principalmente de los géneros *Acacia* y *Opuntia*, no es relevante la superficie ocupada en el área.

Pastizal inducido

Es aquel que aparece a consecuencia de la eliminación de la vegetación original que de manera natural crece en un área determinada. Puede aparecer debido a los desmontes de cualquier tipo de vegetación, también se observa en áreas agrícolas abandonadas o bien producto de áreas que son susceptibles de ser incendiadas con frecuencia. Su representatividad en el área de estudio es mínima.

Pastizal inducido y bosque de pino-encino con vegetación secundaria

Este tipo de vegetación conserva las características del bosque de pino-encino solo que por actividades agropecuarias o disturbio, ha propiciado que se desarrollen comunidades de pastizales y de matorrales resistentes a los incendios forestales. Presenta poca representatividad en el área.

Pastizal halófilo

Es una comunidad dominada por especies de gramíneas, se desarrolla sobre suelos que contienen gran cantidad de sales, siendo estos denominados suelos salino-sódicos. Este tipo de vegetación se desarrolla principalmente en el fondo de las cuencas cerradas, algunos de los géneros más comunes son *Sporobolus airoides* e *Hilaria mutica*, así como otras arbustivas tales como *Sesuvium portulacastrum* y *Lycium sp.* Su representatividad es irrelevante en el área.

Vegetación halófila

Son aquellas agrupaciones vegetales que se desarrollan principalmente en el fondo de las cuencas cerradas, donde existen grandes concentraciones de sales, las principales especies son *Atriplex canescens*, *Suaeda* y *Allenrolfea*, la comunidad vegetal tiene poca representatividad en el área.

Selva baja caducifolia

Se caracteriza porque sus componentes arbóreos localizados en climas cálido-húmedos y subhúmedos y esta compuesto por la mezcla de un gran número de especies, las alturas varían entre 8 a 10 metros, las especies que la constituyen pierden sus hojas durante la época seca del año, que es prolongada, se encuentra en altitudes de hasta los 1,000 msnm. Las especies que destacan en esta comunidad son: *Bursera laxifolia*, *Lysiloma divaricata*, *Cordia sabastena* y *Ceiba acuminata*. En las áreas degradadas dominan *Acacia cymbispina* y *Dodonea viscosa*. Se encuentra en Macizo Centro con 9,613 ha, Barranca Occidente con 451,561 ha, Lomeríos Vertiente Pacífico con 13,962 ha y Macizo Norte con 451,561 ha.

Selva baja caducifolia con vegetación secundaria

Vegetación arbórea de clima cálido húmedo, presentada por selvas parcialmente desmontadas, en tales áreas son frecuentes los acahuals, los cuales están conformados por

comunidades vegetales secundarias con diferentes estadios sucesionales, donde la dinámica de la comunidad se encuentra en vías de recuperación. Se localiza en el Sector Barranca Occidente con una superficie de 83,986 ha y en lomeríos de la Vertiente Pacífico con 3,610 ha y Macizo Norte con 83,986 ha.

Chaparral con vegetación secundaria

Esta integrado por asociaciones de arbustos densos resistentes al fuego, generalmente de encinos bajos y densos de uno a dos metros de altura, acompañados por *Arctostaphylos pungens* y otras especies arbustivas como *Cotoneaster* spp, *Adenostoma fasciculatum* y *Cercocarpus montanus*, con diferentes fases de desarrollo serial hacia el clímax del bosque de pino. Se localiza en las zonas climáticas intermedias entre climas áridos y climas semihúmedos.

Agricultura de riego

Se refiere a las tierras dedicadas a la agricultura en las cuales se dispone de agua para efectuar su irrigación, por lo menos una vez durante el ciclo agrícola ya sea por gravedad, aspersión o cualquier otra técnica de riego. Se practica generalmente en los sectores Plano Nororiental con 35,885 ha y 0.50% y en el Macizo Centro con 4,000 ha.

Agricultura de temporal

Este tipo de agricultura comprende todas las tierras abiertas a la agricultura, tanto en regiones de relieve uniforme como irregular que se encuentran en explotación actual, en descanso o abandono, condicionadas desde luego por la precipitación pluvial que se presente en el ciclo agrícola. Incluye las clases de agricultura nómada, de humedad y de riego suspendido, este uso del suelo comprende la actividad económica más importante del medio.

Agricultura de temporal y pastizal inducido

En esta agricultura predominan las características de la agricultura de temporal solo que por condiciones de abandono de tierras agrícolas, así como de áreas que se incendian con frecuencia ocasionando que se desarrollen comunidades de pastizal inducido.

Agricultura de riego eventual

En esta clasificación se agrupan las áreas que anteriormente se desarrollaba la agricultura de riego, sin embargo, actualmente no es posible realizar su irrigación, lo cual es debido a que no existe agua para irrigar o bien por la mala calidad de ésta, la cual ocasiona la acumulación de sales en el suelo y que impide el desarrollo potencial de la agricultura. Presenta poca representatividad en el área de estudio.

Cuerpos de agua

Dentro de esta categoría se agrupan los cuerpos de agua, tales como presas, presones, estanques tales áreas tienen poca representatividad.

3.1.9 Fauna silvestre

La diversidad de ambientes que ocurren en esta región propicia el desarrollo de una variedad considerable de fauna silvestre, sobre todo en lo referente a mamíferos y aves, a continuación se mencionan algunas de las especies.

Mamíferos

Glaucomis volans, *Lutra longicaudis annectens*, *Taxidea taxus berlandieri*, *Felis yagouaroundi*, *Sciuris aberti*, *Erethizon dorsatum couesi*, *Canis lupus baileyi*, *Ursus arctos nelsoni*, *Ursus americanus machetes*, *Felis onca arizonensis*, *Felis pardelis sonorensis*, *Felis wiedi glaucula*, *Didelphis virginiana californica*, *Artibeus hirsutus*, *Natalus stramineus mexicanus*, *Euderma maculatum*, *Eumops perotis californicus*, *Lepus californicus texianus*, *Lepus callotis gaillardi*, *Sylvilagus audobonii*, *Glaucomys valans madrensis*, *Baiomys taylori paulus*, *Canis latrans*, *Canis lupus baileyi*, *Vulpex velox zinseri*, *Felis concolor azteca*, *Odocoileus virginianus couesi*, *Ovis canadensis mexicana*.

Aves

Asio flammeus, *Strix occidentalis*, *Falco peregrinus*, *Aquila chrysaetos*, *Rhynchopsitta pachirhyncha*, *Campephilus imperialis*, *Cyrtonyx montezumae*, *Anas acuta*, *Anas americana*, *Fulica americana*, *Charadrius montanus*, *Actitis macularia*, *Larus dalawarensis*, *Accipiter cooperi*, *Falco mexicanus*, *Columba fasciata*, *Trogon elegans*, *Tyto alba*, *Asio otus*, *Aeronautes saxatalis*, *Corvus corax*, *Vireo bellii*, *Cardinalis cardinalis*, *Carduelis pinus*.

3.2 Registro de datos de campo e información adicional

Para conocer los factores ambientales que están asociados con la distribución del *Pinus durangensis*, en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, se realizó un muestreo sistemático en el área de estudio, el cual se llevó a cabo del 29 de junio al 19 de julio de 1999.

La Sierra Tarahumara está compuesta por varios tipos de vegetación, por lo que el muestreo estuvo dirigido principalmente en los bosques de pino y pino-encino, ya que la especie en estudio forma parte de estas comunidades. Considerando que la superficie del área en estudio es grande (71,231.133 km²) y que el muestreo se limitaba a un presupuesto destinado para el trabajo de campo; se decidió levantar los sitios siguiendo rutas predeterminadas que siguen las principales vías de acceso al área como carreteras pavimentadas y brechas de terracería que son transitables con vehículo en la temporada de lluvias.

Las rutas que se siguieron, fueron determinadas con anterioridad a la salida, se marcaron sobre los caminos de las cartas topográficas 1: 250,000 lo que sirvió de guía en campo. Generalmente las rutas tenían inicio en las afueras de un poblado, donde empezaba el bosque y se levantaba el primer sitio, el próximo sitio se tomaba a cuatro kilómetros después del primero aproximadamente y así sucesivamente hasta terminar la ruta. Para ubicar el sitio, los equipos se internaban en el interior del bosque y en un lugar representativo de ese rodal se ubicaba el sitio, generalmente se caminaba de la carretera hacia el interior del bosque entre 300 y 600 metros, ésto para evitar registrar información en lugares con alteraciones propias de las orillas de la carretera. Para medir la distancia entre sitio y sitio se utilizó el tacómetro del vehículo. En cada sitio se registró la presencia o ausencia del *Pinus durangensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus engelmannii*, ya que se pretende conocer los factores ambientales asociados con las tres especies mencionadas, pero por separado. Se registraba también en un formato la ruta, y la ubicación geográfica del sitio en coordenadas UTM, utilizando un geoposicionador; de esta manera se levantaron 207 sitios de muestro. También se levantó información dasométrica y ecológica, con el objetivo de recabar la información necesaria para evaluar la productividad de La Sierra Tarahumara de Chihuahua y obtener información para realizar otros trabajos como este. No se consideró necesario detallar sobre la demás información que se tomó ni la manera en que se hizo puesto que para este trabajo no fue utilizada.

Las rutas que se cubrieron son las siguientes:

1. Ciudad Madera - El Largo Maderal.
2. Mesa del Huracán- La Norteña.
3. Ciudad Madera - Agua Colorada.
4. Cuauhtemoc – Límite estatal de Chihuahua y Sonora.
5. La Junta - San Juanito – Creel.
6. Creel - San Rafael.
7. Creel – Guachochi.
8. Guachochi – Yoquivo – Polanco.
9. Guachochi – Balleza.

Se utilizó también la información que el Ing. Celestino Flores López registró en la región de estudio. Esta información consiste en el registro de las especies de pino que se presentan al hacer un recorrido por carretera de un poblado a otro como rutas predeterminadas y deteniéndose cada kilómetro para registrar las especies de pino presentes en ese lugar, el número progresivo de kilómetro y una referencia para ubicar el lugar como el nombre de un poblado u otra referencia como un río por ejemplo. Cabe señalar que en esa ocasión no se registró la ubicación geográfica de cada sitio.; de esta manera se obtuvieron 1062 puntos más los levantados en campo, se tiene un tamaño de muestra de 1269 puntos. Esta información se tomó cubriendo gran parte del área de estudio; a continuación se mencionan las rutas que se formaron con los recorridos realizados:

1. Ciudad Madera – El Largo Maderal – El Colorado
2. Cuauhtemoc – La Junta
3. La Junta – Tomochi – Basaseachi – Frontera de Sonora y Chihuahua
4. San Juanito – Basaseachi
5. San Juanito – Creel – Guachochi
6. Creel – San Rafael
7. Entronque San Juanito a Basaseachi – Uruachi
8. Entronque Guachochi a Creel – Balleza
9. El Ocote – El Vergel – Puerto Justo.
10. Guachochi – Yoquivo – Polanco

El número de sitios que en total se levantaron es de 1269, de los cuales en 630 está presente el *Pinus durangensis*. En la Figura 11 se presenta el mapa de la región de estudio con la ubicación de los sitios de muestreo.

3.3 Procesamiento de los Datos de Campo

3.3.1 Herramientas Utilizadas

En 1999, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, elaboró un estudio de impacto ambiental para la región Tarahumara de Chihuahua, y como parte de él se elaboró un Sistema de Información Geográfica, el cual fue utilizado en el presente trabajo aprovechando la cartografía digital del área en estudio. A continuación se presenta de manera esquemática (Figura 10) la metodología utilizada para el procesamiento de datos de campo.

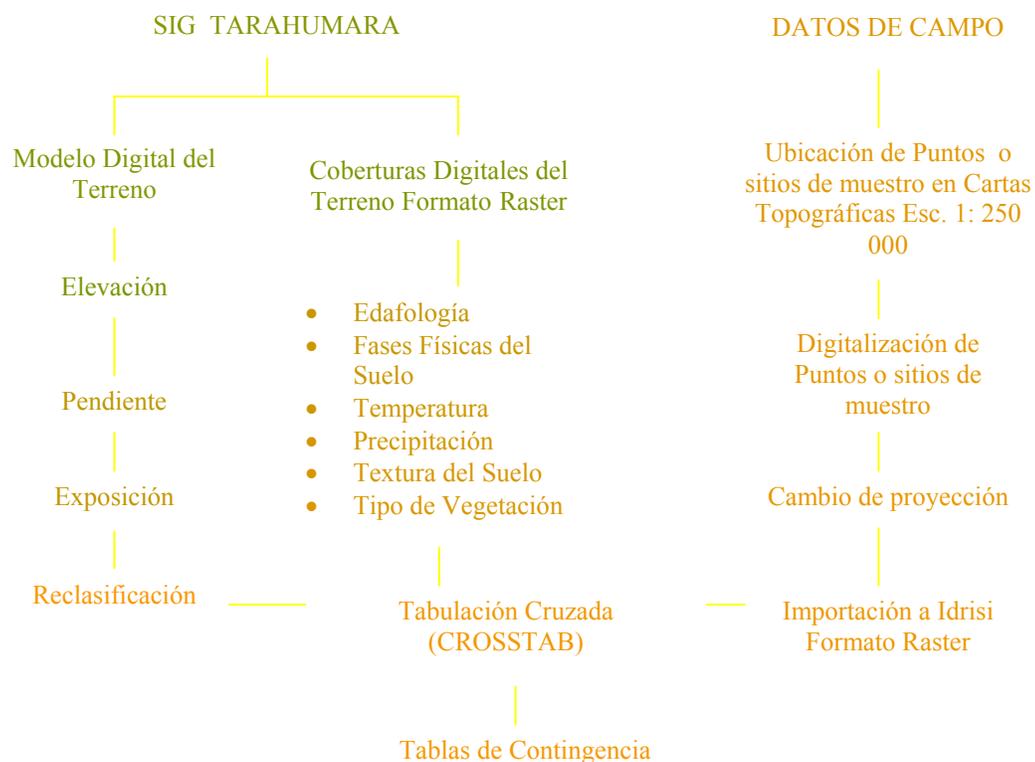


Figura 10. Esquema general de la metodología utilizada

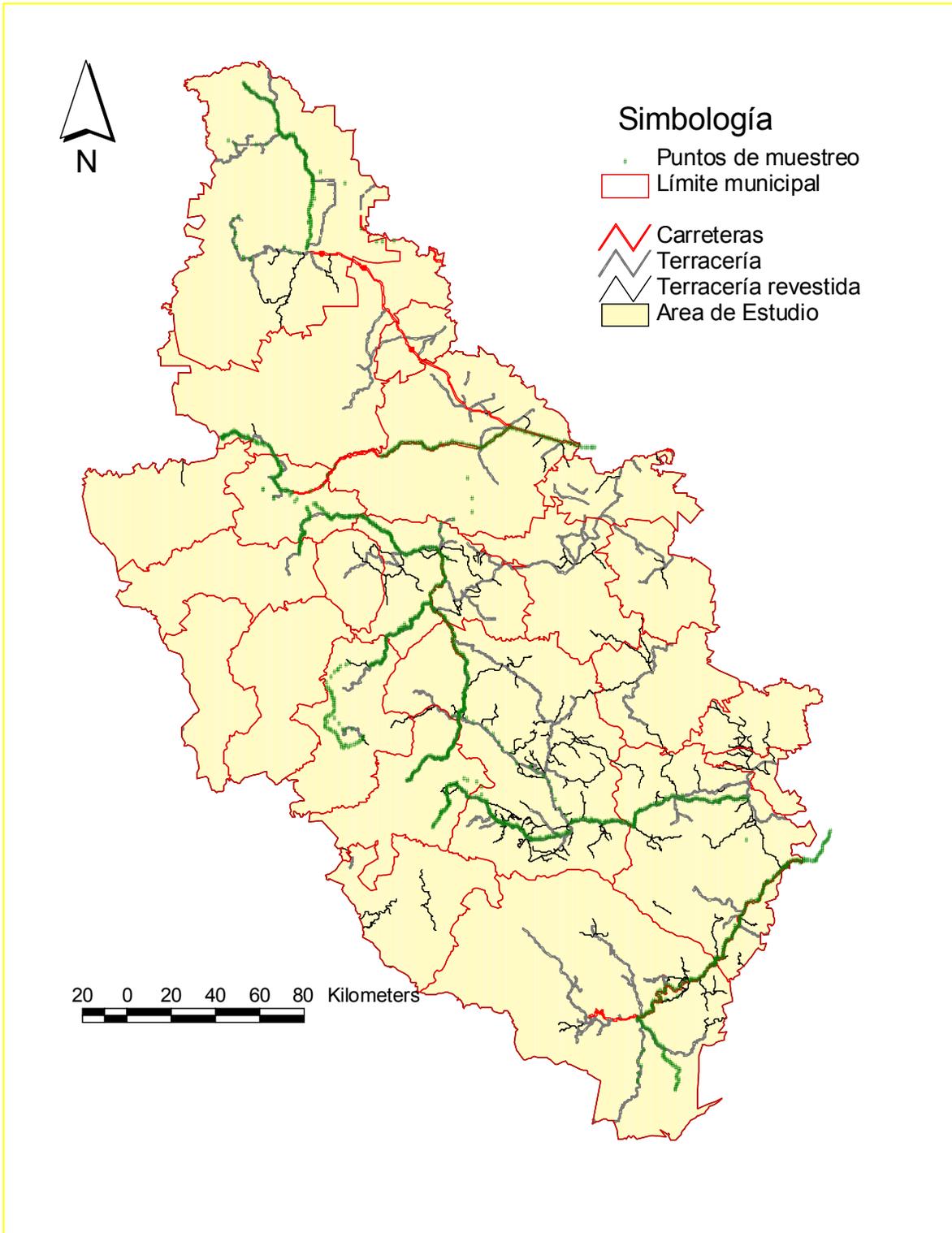


Figura 11. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.

3.3.2 Entrada de datos en el sistema de información geográfica

La introducción de datos al sistema de información geográfica consistió en el ingreso de los puntos donde se registró la presencia o ausencia del *Pinus durangensis* en la Sierra Tarahumara.

En primer lugar se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos. Como se mencionó anteriormente, la información se tomó en diferente tiempo y de diferente manera, es por esto que, una parte de los puntos tienen su ubicación geográfica en coordenadas UTM y la otra parte de estos no tienen su ubicación geográfica, debido a esto la entrada de datos al SIG se hizo de dos maneras, a continuación se mencionan.

Los puntos con ubicación geográfica, se les cambió la proyección de coordenadas UTM a coordenadas geográficas, para esto fue necesario, vaciar la información de los formatos de campo a una base de datos en la hoja de cálculo de Excel, esta se grabó como un archivo de texto delimitado por tabulaciones (*.txt), y desde Arc Info, se cambió la proyección de los puntos, utilizando el comando PROJECT FILE de ARC INFO™.

Para los puntos sin ubicación geográfica, el procedimiento fue diferente, a continuación se mencionan los pasos seguidos.

Ubicación de puntos en cartas

Consistió en marcar los puntos de cada sitio, en cartas topográficas a escala 1: 250,000. Primeramente se ubica el lugar donde comienza la ruta y donde se ubicó el primer sitio, y de este posteriormente se marcaron los siguientes sitios a intervalos de 1 km tomando en cuenta la escala de la carta, hasta terminar la ruta.

Digitalización

La digitalización de los puntos se hizo en forma manual, en el módulo ArcEdit de ARC INFO™. Se colocó sobre la tableta digitalizadora la carta que contenía marcados los puntos, con el mouse de la tableta se agregó una etiqueta en cada punto, no sin antes poner los puntos de control o Tics. La posición exacta del mouse en coordenadas de tableta (pulgadas o centímetros)

son transmitidos a CPU, donde los recoge el software utilizado para digitalizar y los almacena en un formato específico, e inclusive simultáneamente despliega en pantalla los elementos digitalizados, en este caso los puntos.

Georreferenciación y cambios de proyección

Este procedimiento consiste en transformar cada una de las coordenadas de localización de todos los elementos de la cobertura digitalizada a sus coordenadas geográficas reales. Para esto se creó una cobertura con los mismos tics que la cobertura digitalizada, utilizando el comando CREATE desde el Starter Kit, esta nueva cobertura sólo tiene el Archivo BND y el archivo TIC, después se actualizaron los tics de la cobertura nueva, introduciendo los valores de las coordenadas en grados decimales. Posteriormente con el comando TRANSFORM se realizó la transformación a coordenadas geográficas.

Creación de una cobertura de puntos

Para poder obtener las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos de las coberturas digitalizadas, en un archivo de texto, fue necesario convertir estas coberturas en coberturas de puntos; este procedimiento se hizo con el comando UNGEN POINT, desde el Starter Kit.

Base de datos general

Los puntos ahora tienen coordenadas geográficas, el paso siguiente fue crear una base de datos en Excel con todos los puntos, esta base de datos contiene como encabezado en la primera columna un identificador de cada punto, en las dos columnas siguientes las coordenadas X e Y, en las tres columnas siguientes se agregaron las especies que se pueden presentar en cada punto, (*P. durangensis*, *P. arizonica* y *P. engelmannii*), una especie en cada columna; para indicar que especie (s) se presentó en cada punto, en la celda donde se intercepta la fila y la columna del punto y la especie que se presentó se puso una clave; estas claves son Du para *P. Durangensis*, Ar para *P. arizonica* y En para *P. Engelmanni*.

Se utilizaron las próximas tres columnas, para poner como encabezado un identificador que indicara la presencia o ausencia de cada una de las especies en los puntos de muestreo,

poniendo 1 o 2, en la celda de intersección de cada fila y cada columna de los puntos y las especies. 1 indica presencia y 2 indica ausencia de determinada especie en determinado punto.

Esta base de datos se creó para generar una cobertura diferente para cada especie, y obtener por separado los resultados de cada especie.

Base de datos como archivo shape

La base de datos general se desplegó como un proyecto general en ArcView y se convirtió a un archivo Shape. Este procedimiento se realizó con la opción Convert to Shapefile que está en el menú de Theme de la barra de menú de ArcView.

Importación de Arcinfo a Idrisi

El paso siguiente fue importar a IDRISI y por separado los puntos donde ocurre el *P. durangensis*, este paso se realizó con la opción IMPORT y con el modulo ARCIDRIS de IDRISI. Este procedimiento convierte a formato raster la base de datos que estaba como archivo Shape. El resultado fue una cobertura con pixels de unidades regulares de 90 x 90 m, correspondiendo a cada pixel un área de 8100 m²; y que contiene los puntos donde ocurre el *P. durangensis* que se indica con el valor 1 y el valor 2 indica su ausencia, este ultimo valor corresponde a la presencia del *P. arizonica* y de *P. engelmannii*.

Reclasificación de mapas

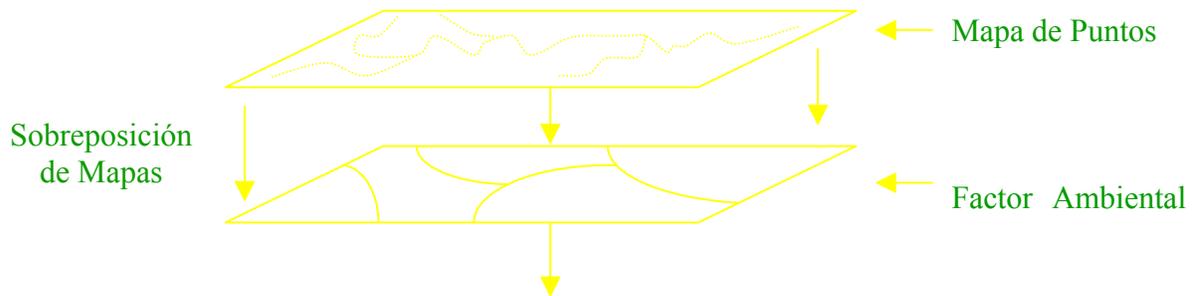
Como se mencionó en un principio, se utilizó para realizar este trabajo el SIG de la región Tarahumara de Chihuahua, elaborado por la UAAAN. Entonces fue necesario hacer la reclasificación de los mapas de pendiente, orientaciones del terreno y el de altitud, donde se definieron los límites y los valores de cada clase del factor considerado a intervalos iguales. Este procedimiento se realizó en Idrisi, con la opción RECLASS.

3.3.3 Tabulación cruzada (Crosstab)

Esta opción de Idrisi, realiza el cruce tabulado de los valores de dos mapas, donde las categorías de un mapa son comparadas con las categorías de otro. En este caso se utilizó el mapa con los puntos que contiene dos categorías, los puntos donde está presente el *P. durangensis* que se indica con el valor 1 y la otra los puntos donde esta ausente y que se indica con el valor 2; este

mapa se superpuso a cada una de los mapas de los factores ambientales, que son los siguientes: edafología, fases físicas del suelo, temperatura media anual, precipitación media anual, pendiente, textura del suelo, tipos de vegetación, altura sobre el nivel del mar, y exposiciones del terreno. De esta manera se obtuvo las clases de cada factor ambiental considerado donde está presente con mayor o menor frecuencia el *P. durangensis*.

Lo anterior es tabulado en una tabla de contingencia, donde las filas corresponden a la presencia o ausencia de la especie en cuestión (i) y las columnas a las clases de cada factor ambiental (j), y el valor de las celdas de intersección de las filas y las columnas (X_{ij}) corresponde al número de pixels donde está presente o no (i) la especie en estudio en cada clase de los factores ambientales (j) (Figura 12).



Variable A \ Variable B	Clases				Totales
	$j(1)$	$j(2)$	$j(3) \dots$	n	
$i(1)$ Presencia	X_{11}	X_{12}	$X_{13} \dots$	X_{1n}	$r_{i(1)}$
$i(2)$ Ausencia	X_{21}	X_{22}	$X_{23} \dots$	X_{2n}	$r_{i(2)}$
Totales	$c_{j(1)}$	$c_{j(2)}$	$c_{j(3)}$	$c_{j(n)}$	N

Figura 12. Obtención de las tablas de contingencia

3.4 Análisis estadístico

Tablas de contingencia

Las tablas cruzadas, se pasaron a una hoja de cálculo de Excel, para aprovechar las funciones de fórmulas que ofrece este programa y poder calcular los valores de X^2 , de la tabla de contingencia que se formó con la tabla cruzada de cada factor ambiental, y de esta forma probar la independencia o dependencia de la especie y cada clase de los factores ambientales considerados. Así mismo, se calcularon los índices de asociación de Ochiai, Jaccard, y de Dice; para evaluar el grado de asociación entre la especie y cada clase de los factores ambientales.

A continuación se explica como se obtuvieron los valores de X^2 de las tablas de contingencia y los valores de los índices de asociación.

En una tabla de contingencia 2 x 2, A puede representar a la especie en cuestión (*P. durangensis*), y B la clase temática del factor ambiental considerado, entonces se puede formar una tabla de contingencia (Figura 13).

		B		
		Presente	Ausente	Totales
A	Presente	a	b	m = a + b
	Ausente	c	d	n = c + d
	Totales	r = a + c	s = b + d	N

Figura 13. Tabla de contingencia 2 x 2.

Donde :

$$X^2_{Corregida} = \frac{N((ad - bc) - 0.5N)^2}{mnrs}$$

La hipótesis que se propone es la siguiente:

Ho: A y B son independientes

Ha: A y B no son independientes

La regla de decisión es: Si $X^2_C > X^2_t$, con $\alpha .01$ y con 1 grado de libertad, se rechaza Ho. Por lo tanto la ocurrencia de A (especie) y B (clase del factor considerado), no es al azar, sino que la ocurrencia de una esta asociada a la ocurrencia de la otra.

En la hoja de calculo de Excel, se pueden representar una tabla de contingencia, identificando cada celdilla en la hoja de cálculo y obtener los valores para X^2 y los valores de los índices de asociación, introduciendo las fórmulas en la hoja de calculo (Figura 14).

	A	B	C	D	E	F
1		1	2	3	4	Totales
2	1	B2				F2
3	2	B3				F3
4	Totales	B4				F4
5	X^2					
6	ID					
7	IJ					
8	IO					

Figura 14. Tabla de contingencia en hoja de calculo tipo Excel.

Donde, en las filas se tiene 1 = presencia y 2 = ausencia de la especie en estudio y en las columnas las clases temáticas de un factor ambiental determinado. Entonces en esta hoja se representa: filas = A especie y columnas = B clases temáticas del factor en estudio. Formando una tabla de contingencia 2 x 2 para cada clase temática del factor considerado.

Así mismo se tiene que:

$B2 = \text{Frecuencia donde A y B ocurren} = (a)$

$B3 = \text{Frecuencias donde ocurre B pero no A} = (c)$

$F2 - B2 = \text{Frecuencias donde ocurre A pero no B} = (b)$

$F3 - B3 = \text{Frecuencias donde no se encuentra A o B} = (d)$

$F4 = \text{Número total de frecuencias} (N)$

Por lo tanto:

$m = F2$

$r = B4$

$n = F3$

$s = F4 - B4$

Entonces en el renglón 5 se pueden calcular los valores de X^2 incluida la corrección de Yates, probando así, la independencia de la especie con y cada clase temática del factor en cuestión, especificando la fórmula siguiente para cada celdilla del renglón 5, por ejemplo para la celdilla B5 la fórmula sería la siguiente:

$$X^2 = F4 * \text{Potencia} \left(\frac{(B2 * (F3 - B3)) - ((F2 - B2) * B3) - (0.5 * F4)}{F2 * F3 * B4 * (F4 - B4)} \right)^2$$

$F3$, $F2$ y $F4$, son constantes y en las constantes no se especifica la celdilla, sino el valor de la celdilla.

De la misma manera, en el renglón 6 se calculan los valores del índice de asociación de Dice (ID); en el renglón 7 para el índice de asociación de Jaccar (IJ) y en el renglón 8 los del índice de asociación de Ochiai (IO).

$$IO = B2 / (\text{Raíz}(F2) * \text{Raíz}(B4))$$

$$ID = 2 * B2 / (2 * B2 + (F2 - B2) + B3)$$

$$IJ = B2 / (B2 + (F2 - B2) + B3)$$

$F2$ es constante, y no se especifica la celdilla, sino el valor de la celdilla.

4.5 Elaboración del mapa con los rangos y clases de los factores ambientales asociados a la especie

Una vez que se obtubieron los rangos y clases de los factores a los que se asocia la especie, el siguiente paso fue elaborar un mapa que representara las áreas donde estan presentes estos rangos y clases de factores ambientales que resultaron asociados a la especie. Este mapa se elaboró realizando la reclasificación de los mapas de temperatura, precipitación, altitud, edafología, fases físicas del suelo, textura del suelo, pendiente, tipo de vegetación, menos el mapa de exposiciones del terreno debido a que no resultó ser factor limitante en la distribución del la especie en estudio. La reclasificación de mapas se realizó en el programa Idrisi con la opción Reclass, asignando valores de 1 a las clases que resultaron estar asociadas con la especie y valores de 0 a las clases que no determinan la distribución de la especie. Hecho este paso se realizaron operaciones de multiplicación de mapas utilizando el mismo programa pero con la opción Overlay, donde se multiplicaron por pares los mapas antes reclasificados obteniendo en cada multiplicación otro mapa con valores de 1 donde coinciden los Pixels con el mismo valor y valores de 0 donde en algun mapa hay Pixels con valor 0. Este procedimiento se realizó con todos los mapas antes mencionados el resultado fue un mapa que muestra las áreas que tienen los factores ambientales que requiere la especie para su desarrollo; en estas áreas es muy probable que esté presente la especie es cuestión, pero si no es así, estos lugares son apropiados para establecer de manera artificial el *P. durangensis* (Figura 15).

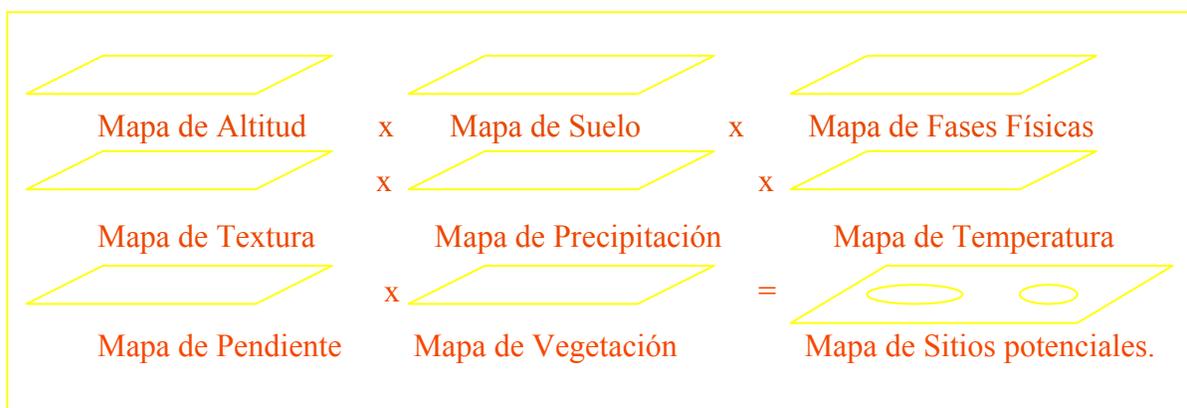


Figura 15. Esquema del procedimiento para obtener el mapa de sitios potenciales

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Para cada factor ambiental se presenta un cuadro de resultados, donde a partir de los valores de presencia y ausencia (valores observados) de *Pinus durangensis* Mtz. en cada rango o clase de los factores ambientales, se obtuvieron los valores de X^2 calculada utilizando una tabla de contingencia, la cual sirve para probar la independencia entre dos factores o variables a partir de una muestra de la población y en este caso se prueba si el *P. durangensis* se distribuye independientemente de la distribución que tengan los diferentes rangos o clases de los factores ambientales que se consideraron. El valor de Ji cuadrada de tablas con un grado de libertad y una probabilidad de cometer el error tipo uno $\alpha = 0.01$, es igual a 6.634.

Para explicar como se pueden interpretar los cuadros donde se presentan los resultados se tomará como ejemplo el caso del Cuadro 1, que corresponde a la asociación entre el *P. durangensis* y la altura sobre el nivel del mar.

En la primera columna se presentan los rangos de latitud de la región de estudio con los cuales se prueba la independencia con la especie en estudio.

En la columna siguiente se presenta el número de sitios donde la especie está presente en cada rango de altitud; y en la siguiente columna se presenta el número de sitios donde la especie no está presente en cada rango altitudinal. La suma de los valores de presencia y corresponde al número de sitios que se levantaron en cada rango de altitud. Tomando como ejemplo el caso del rango de 400 a 600 msnm la especie está presente en 0 sitios y está ausente en 2 sitios, la suma es 2 que corresponde al número total de sitios levantados en éste rango de altitud.

La siguiente columna contiene los valores de Ji cuadrada calculada, donde los valores que tienen asterisco son significativos, es decir, que rebasan el valor de Ji cuadrada de tablas (6.634) lo que indica que la especie no es independiente de este rango altitudinal.

En las tres columnas siguientes se presentan los valores de los índices de asociación, el índice de Ochiai (IO), de Dice (ID) y de Jaccard (IJ), que indican el grado de asociación entre las dos variables comparadas. Cuando las casillas están vacías es porque en el rango al cual corresponde el valor de Ji cuadrada no es significativo como es el caso del rango de 400 a 600 msnm, por lo tanto no hay dependencia entre éste rango y la especie, y ya no es necesario medir el grado de asociación entre éstas dos variables.

Cuadro 1. Asociación del *Pinus durangensis* con rangos de altitud en la región Tarahumara, Chih.

Rangos de altitud m	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
400 > X <= 600	0	2	4.465			
600 > X <= 800	1	13	*12.021	0.011	0.003	0.002
800 > X <= 1000	0	10	*12.040	0.000	0.000	0.000
1000 > X <= 1200	0	13	*15.034	0.000	0.000	0.000
1200 > X <= 1400	0	2	4.465			
1400 > X <= 1600	1	13	*12.021	0.011	0.003	0.002
1600 > X <= 1800	6	52	*39.217	0.031	0.017	0.009
1800 > X <= 2000	21	70	*28.837	0.088	0.058	0.030
2000 > X <= 2200	89	168	*29.822	0.221	0.201	0.112
2200 > X <= 2400	244	162	*25.483	0.482	0.471	0.308
2400 > X <= 2600	205	71	*84.337	0.492	0.453	0.292
2600 > X <= 2800	58	44	2.008			
2800 > X <= 3000	5	19	*9.341	0.041	0.015	0.008
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Se observará ahora el caso cuando los valores de Ji cuadrada son significativos (*) como en el rango de 600 a 800 msnm ($\chi^2_c = 12.021$) que indica dependencia entre la especie de estudio con éste rango de altitud; pero los índices de asociación tienen valores (IO=0.011, ID=0.003, IJ=0.002) que indican que no hay asociación o que es baja; esto se podría entender

como una contradicción si no se está familiarizado con la metodología. La explicación es que el valor de Ji cuadrada es significativo pero para la ausencia de la especie en este rango de altitud; es decir, que en éste rango la especie va a estar presente. El caso contrario es cuando la especie depende de la presencia de algún rango altitudinal para que se presente, lo cual se puede ver el rango de 2000 a 2200 msnm, que tiene un valor de Ji cuadrada significativo e indica dependencia de la especie con éste rango, y los valores de los índices de asociación son altos comparados con los valores de los rangos menores de 2000 y mayores de 2600 msnm, lo cual indica que el grado de asociación entre la especie y el rango de 2000 a 2200 msnm es alto, por lo tanto cuando se presenta éste rango altitudinal la especie también se presenta.

Cabe señalar que no es proporcional la cantidad de sitios entre los rangos de altitud, la mayoría están concentrados en el rango de entre 2000 y 2600 msnm; si fuera proporcional la cantidad de sitios en todos los rangos entonces el valor de Ji cuadrada sería significativo en todos los rangos y en algunos la significancia sería para la ausencia de la especie que es cuando la presencia de un rango determina la ausencia de la especie y en otros la significancia sería para la presencia de la especie y donde para que se presente la especie es necesaria la presencia del rango altitudinal al que se asocia y para distinguir estos dos casos se utilizan los índices de asociación que indican el grado de asociación entre la especie con cada rango, y cuando los valores se acercan a 1, entonces es el caso donde existe significancia para la presencia de la especie y cuando los valores se acercan 0, es el caso donde la significancia es para la ausencia de la especie.

Como se observa en el Cuadro 1, tomado como ejemplo, los rangos de altitud donde no hay asociación con la especie, la tendencia general de los datos es que hay mayor cantidad de sitios en la columna de ausencia de la especie y en los rangos donde hay asociación con la especie los sitios están repartidos más proporcionalmente entre las columnas de presencia y ausencia de la especie, y de éstos rangos donde hay mayor asociación, hay más cantidad de sitios en la columna de presencia de la especie. De ésta manera se pueden interpretar los cuadros de resultados.

Altitud

Como se observa en el Cuadro 1, el *P. durangensis* resultó estar asociado a los rangos de 2000 a 2200, 2200 a 2400 y 2400 a 2600 (negritas), la asociación es mayor para los dos últimos rangos, donde hay más presencia de la especie. Formando un solo rango se puede decir que ésta especie en la región Tarahumara Chih., se distribuye en un rango de altura sobre el nivel del mar de 2000 a 2600 m.

Temperatura

En el caso de la temperatura media anual, la especie de estudio resultó estar asociada con los rangos de 8 a 10° C y de 10 a 12°C (negritas), el grado de asociación es mayor con el segundo rango, por lo que la especie tendrá mayor distribución en éste rango. Se puede formar un rango temperatura en el cual se distribuye la especie en la región de estudio y éste rango es de 8 a 12°C, Cuadro 2.

En el rango de 12 a 14°C el valor de Ji cuadrada no es significativo, debido a que los valores de presencia (127 sitios) y ausencia (138 sitios) son muy parecidos y no hay tendencia hacia presencia o para ausencia de la especie, debido a que es un rango de transición donde empieza a disminuir la presencia de la especie, pero como se levantaron muchos sitios (265) en éste rango entonces se reparten proporcionalmente los sitios entre presencia y ausencia de la especie en este rango; si la especie prefiriera este rango de temperatura habría mayor número de sitios en la columna de presencia de la especie.

Precipitación

El *P. durangensis* en la región Tarahumara Chih., se asocia en mayor grado con el rango de 800 a 1000 mm de precipitación media anual, también resultó estar asociado con los rangos de 600 a 800 y 1000 a 1200 (negritas) mm pero en menor grado que con el primero. Entonces el rango de precipitación en el cual se distribuye la especie en la región de estudio es de 600 a 1200 mm Cuadro 3.

Cuadro 2. Asociación del *P. durangensis* con temperatura media anual °C, con *P. durangensis* en la región Tarahumara, Chih.

Rangos de temperatura °C	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
22 > X ≤ 24	1	25	*24.182	0.008	0.003	0.002
20 > X ≤ 22	0	7	*9.080	0.000	0.000	0.000
18 > X ≤ 20	0	11	*13.035	0.000	0.000	0.000
16 > X ≤ 18	6	43	*30.096	0.034	0.018	0.009
14 > X ≤ 16	19	75	*36.463	0.078	0.052	0.027
12 > X ≤ 14	127	138	0.489			
10 > X ≤ 12	378	291	*26.034	0.582	0.582	0.410
8 > X ≤ 10	99	49	*19.161	0.324	0.254	0.146
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Cuadro 3. Asociación del *P. durangensis* con precipitación media anual en la región Tarahumara, Chih.

Rangos de Precipitación mm	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
400 > X ≤ 500	0	65	*69.654	0.000	0.000	0.000
500 > X ≤ 600	13	73	*45.492	0.056	0.036	0.018
600 > X ≤ 800	184	241	*10.697	0.356	0.349	0.211
800 > X ≤ 1000	298	183	*46.156	0.541	0.536	0.367
1000 > X ≤ 1200	118	74	*12.078	0.339	0.287	0.168
1200 > X ≤ 1500	17	3	*8.774	0.151	0.052	0.027
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Suelo

El *P. durangensis* en la región Tarahumara Chih., resultó estar asociado con el tipo de suelo regosol eútrico, Cuadro 4 (negritas); como se observa en éste cuadro, la mayoría de los sitios que se levantaron se reparten en sólo dos tipos de suelo, el regosol eútrico y el feozem háplico, esto lleva a pensar que la especie en estudio se distribuye en el suelo feozem háplico, sin embargo, el valor de Ji cuadrada no es significativo para ésta unidad de suelo, por lo tanto no hay asociación entre la especie de estudio y el suelo feozem háplico.

Cuadro 4. Asociación del *P. durangensis* con tipos de suelo en la región Tarahumara Chih.

Tipos de suelo	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
Cambisol eútrico	0	1	3.975			
Cambisol vértico	0	5	*7.144	0.000	0.000	0.000
Feozem háplico	241	288	6.347			
Feozem lúvico	5	4	0.000			
Litosol	86	85	0.010			
Fluvisol eútrico	1	2	1.308			
Luvisol crómico	15	36	*9.566	0.084	0.044	0.023
Luvisol órtico	0	10	*12.040	0.000	0.000	0.000
Regosol eútrico	275	176	*35.229	0.516	0.509	0.341
Vertisol pélico	7	23	*9.622	0.051	0.021	0.011
Xerosol lúvico	0	9	*11.049	0.000	0.000	0.000
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Textura del suelo

Como se observa e el cuadro 5, el *P. durangensis* en la región Tarahumara Chih., resultó estar asociado con la clase de textura media (negritas), la cual ocupa un gran superficie del área de estudio, es por esto que la mayor cantidad de sitios (1212) se levantaron en los suelos con éste tipo de textura, y se puede ver en el cuadro 4, que los valores de los índices de asociación tienen valores muy cercanos a uno en ésta clase de textura.

Cuadro 5. Asociación del *P. durangensis* con textura del suelo en la región Tarahumara, Chih.

Clases de textura	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
Media	616	596	*13.989	0.705	0.669	0.502
Fina	14	43	*16.090	0.074	0.041	0.021
Total	630	639	= 1269 Sitios			

X^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Fases física del suelo

En el Cuadro 6, se puede ver que el *P. durangensis* en la región Tarahumara Chih., está asociado con los suelos que tienen la fase física lítica, y también se asocia con los suelos sin fase física pero en menor grado que con la fase lítica; éste tipo de fase física es la que ocupa mayor superficie en la región de estudio. Las otras fases físicas del suelo no se presentan en el cuadro porque no se encuentran en la región de estudio, según la carta edafológica de INEGI.

Cuadro 6. Asociación del *P. durangensis* con fases físicas del suelo en la región Tarahumara, Chih.

Tipos de fases físicas	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
Sin fase física	114	159	*9.062	0.275	0.252	0.144
Gravosa	0	14	*16.037	0.000	0.000	0.000
Lítica	478	363	*50.740	0.657	0.650	0.481
Pedregosa	38	103	*33.712	0.127	0.099	0.052
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Exposición

En este caso ninguna exposición del terreno mostró asociación con el *P. durangensis* en la región de estudio, como se observa en el Cuadro 7, los valores de ji cuadrada no son significativos en ningún tipo de exposición, por lo tanto existe independencia entre los tipos de exposición y el *P. durangensis*. Así mismo, en las columnas de presencia y ausencia de la especie los sitios no muestran una tendencia ni para presencia ni para ausencia de la especie, y las proporciones del número de sitios son muy parecidas para éstas dos columnas en todos los tipos de exposición, lo que indica también que no hay asociación entre la especie en estudio y la exposición del terreno.

Pendiente

Respecto a la pendiente del terreno el *P. durangensis* mostró estar asociado con una pendiente ligera de 0 a 5%, cuadro 8 (negritas). Como se observa en éste cuadro, 682 sitios fueron levantados en el rango de pendiente de 0 a 15 %, y conforme la pendiente aumenta el número de sitios registrados en cada rango de pendiente disminuyen.

Cuadro 7. Asociación del *P. durangensis* con exposición en la región Tarahumara, Chih.

Tipos de exposición	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
Cenital	21	18	0.137			
$0 > X \leq 45^\circ$ NNE	67	60	0.417			
$45 > X \leq 90^\circ$ ENE	109	83	4.265			
$90 > X \leq 135^\circ$ ESE	76	63	1.362			
$135 > X \leq 180^\circ$ SSE	71	78	0.367			
$180 > X \leq 225^\circ$ SSW	67	69	0.034			
$225 > X \leq 270^\circ$ WSW	82	113	5.680			
$270 > X \leq 315^\circ$ WNW	68	88	2.893			
$315 > X \leq 360^\circ$ NNW	69	67	0.032			
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Cuadro 8. Asociación del *P. durangensis* con pendiente en % en la región Tarahumara, Chih.

Rangos de pendiente %	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
$0 > X \leq 5$	312	370	*9.300	0.476	0.476	0.312
$5 > X \leq 10$	150	117	5.449			
$10 > X \leq 20$	115	86	5.119			
$20 > X \leq 30$	39	30	1.105			
$30 > X \leq 40$	10	22	5.231			
$40 > X \leq 100$	4	14	*6.662	0.038	0.012	0.006
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Tipos de vegetación

Como se observa en el Cuadro 9, el *P. durangensis* está asociado con el tipo de vegetación bosque de pino (negritas), del cual forma parte. En éste tipo de vegetación se levantaron 591 sitios, debido a que el muestreo estuvo dirigido en los bosques de pino principalmente.

Cuadro 9. Asociación del *P. durangensis* con tipos de vegetación en la región Tarahumara de Chih.

Tipos de vegetación	Presencia de la especie	Ausencia de la especie	χ^2	IO	ID	IJ
Agricultura de riego	2	15	*11.486	0.019	0.006	0.003
Agricultura de temporal	38	99	*30.478	0.129	0.099	0.052
Bosque bajo abierto	0	7	*9.080	0.000	0.000	0.000
Bosque de encino	15	29	5.079			
B. de encino con veg. Sec.	7	22	*8.804	0.052	0.021	0.011
B. de encino-pino	7	38	*23.125	0.042	0.021	0.010
B. de encino-pino con veg. sec.	9	15	1.981			
Bosque de pino	393	198	*124.405	0.644	0.644	0.475
B. de pino con veg. sec.	22	15	1.092			
B. de pino-encino	88	96	0.376			
B. pino-encino con veg. Sec.	22	17	0.484			
Matorral subtropical	0	26	*28.237	0.000	0.000	0.000
Pastizal inducido	25	13	3.445			
Pastizal natural	0	44	*47.019	0.000	0.000	0.000
Selva baja caducifolia	1	2	1.308			
Vegetación alófila	0	1	3.975			
Bosque de pino-encino	1	2	1.308			
Total	630	639	= 1269 Sitios			

χ^2 = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

En el Cuadro 10, se concentran únicamente los rangos y las clases de los factores ambientales a los cuales se asocia el *P. durangensis*.

Cuadro 10. Concentración de los rangos y clases de los factores asociados con el *P. durangensis* en la región Tarahumara, Chih.

Factor ambiental	Rangos o clase asociados	X ²	IO	ID	IJ
Altitud m	2000-2200	*29.822	0.221	0.201	0.112
	2200-2400	*25.483	0.482	0.471	0.308
	2400-2600	*84.337	0.492	0.453	0.292
Suelo	Regosol eútrico	*35.229	0.516	0.509	0.341
Textura	Media	*13.989	0.705	0.669	0.502
Fase física	Lítica	*50.740	0.657	0.650	0.481
	Sin fase Física	*9.062	0.275	0.252	0.144
Temperatura °C	10-12	*26.034	0.582	0.582	0.410
	8-10	*19.161	0.324	0.254	0.146
Precipitación mm	600-800	*10.697	0.356	0.349	0.211
	800-1000	*46.156	0.541	0.536	0.367
	1000-1200	*12.078	0.339	0.287	0.168
Pendiente %	(0-5)	*9.300	0.476	0.476	0.312
Exposición					
Vegetación	Bosque de pino	*124.405	0.644	0.644	0.475

X² = Ji cuadrada calculada IO = Índice de Ochiai, ID = Índice de Dice,

IJ = Índice de Jaccar

Se obtuvo también un mapa con las áreas donde están presentes todos los rangos y clases de los factores ambientales considerados a los cuales se asocia el *P. durangensis* y donde en muchas de éstas áreas se distribuye actualmente; en el presente trabajo a éstas áreas se les llama áreas potenciales para *P. durangensis* para indicar que es donde se puede establecer la especie. Las áreas más grandes se encuentran en los municipios de Guachochi y Bocoyna, otras áreas más pequeñas se ubican en los municipios de Madera, Ocampo y Guadalupe y Calvo, del estado de Chihuahua (Figura 16).

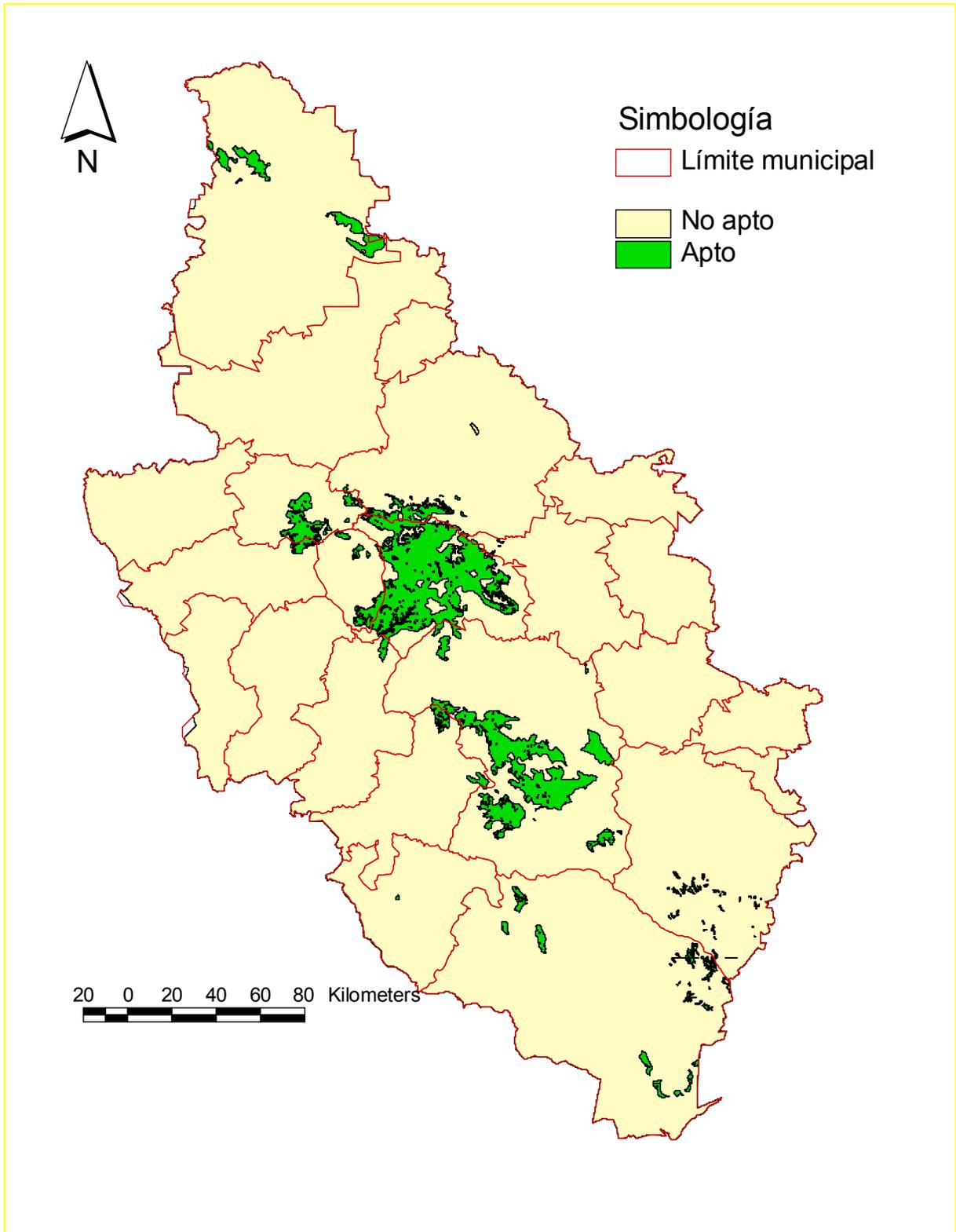


Figura 16. Mapa de áreas potenciales para *Pinus durangensis*.

4.2 Discusión

Una de las preocupaciones de los que estudian la vegetación es la de encontrar las correlaciones existentes entre la distribución de las especies y los factores del medio físico que están en juego. Sobre todo resulta de mucho interés encontrar los elementos que en una situación dada son los principales responsables de la presencia o ausencia de una comunidad o una especie en particular (Rzedowski, 1978).

Identificar los factores ambientales que determinan la distribución de una especie, no es sencillo, sin embargo, entender y evaluar las interacciones entre los factores del ambiente que construyen el hábitat donde viven las especies es más difícil. Analizar el efecto de los factores ambientales sobre las plantas por separado nos lleva a pensar que cada factor actúa como una fuerza independiente que afecta en forma particular a las plantas, pero se ignora que las plantas viven en un complejo integral que se denomina ambiente y un cambio en cualquier elemento de éste complejo puede traer un cambio en los requerimientos de la planta con respecto a otros factores (Spur y Barnes, 1982). Por lo tanto es necesario considerar globalmente las influencias interdependientes e interrelacionadas de los factores ambientales sobre las plantas.

Rzedowski (1978) señala que el clima mantiene el papel principal como factor determinante de la distribución de la vegetación y se debe a que éste elemento no solamente actúa en forma directa sobre las plantas, sino también, tiene influencia en los procesos de la formación de suelos y del modelamiento de la topografía.

El clima lo definen principalmente dos factores la temperatura y la precipitación; sin embargo, la altura sobre el nivel del mar es un factor que tiene influencia directa sobre la temperatura y ésta sobre la precipitación. A medida que aumenta la altitud hay un descenso de temperatura de 1°C cada 100 metros de altitud, esto permite que las masas de aire caliente y húmedo que proviene del mar se enfríen a medida que aumenta la altitud y disminuye la temperatura al subir por las montañas, de tal manera que se presenta la saturación y el agua cambia de su estado de vapor a líquido o sólido y las gotas que se forman por su tamaño y peso se precipitan sobre la superficie terrestre.

En el presente trabajo se identificaron los rangos de temperatura media anual a los cuales se asocia el *P. durangensis* en la región Tarahumara, Chih., la consideración que se hace, es que las temperaturas medias no indican los extremos de temperatura que soporta la especie de estudio y es necesario considerar la importancia de las temperaturas máximas y mínimas y su duración, debido a que muchas veces son un factor limitativo en la distribución de las especies; y sus efectos son mayores cuando se asocian con factores secundarios desfavorables como los vientos fuertes y secos o cuando se presentan temperaturas muy elevadas y una sequedad extrema; las heladas tardías son muy perjudiciales porque actúan sobre las plantas cuando están en estado activo.

Más localmente, la distribución de las especies está determinada por factores como las características del suelo, la exposición del terreno y la pendiente principalmente.

En el hemisferio norte en las exposiciones sur se presentan temperaturas más elevadas, aire generalmente más seco y la insolación es mayor que en la exposición Norte. Esto ocasiona que las especies vegetales sean distintas según sea la exposición, generalmente en la exposición Sur se presentan especies tolerantes a la sequía y en la exposición Norte especies que prefieren lugares húmedos. En la región Tarahumara, Chih., el *P. durangensis* no mostró preferencia por ningún tipo de exposición, entonces su distribución es independiente de la exposición. González y González (1993) mencionan que en la reserva de la biosfera “La Michilia” localizada al Sureste de Durango, el *P. durangensis* se distribuye en las exposiciones Oeste, Noroeste, Norte y Noreste; lo que indica que ésta especie no tiene preferencia por algún tipo de exposición en particular ya que se presenta en varios tipos de exposición por lo tanto se confirma que la exposición no influye en su distribución.

La pendiente del terreno es otro factor que influye en la distribución de las plantas, debido a que en las pendientes pronunciadas, el flujo de agua es más rápido, por lo que el suministro de agua para las plantas es menor, además la profundidad del suelo disminuye a medida que aumenta la pendiente y también cambia el ángulo de incidencia de la radiación solar, que modifica su intensidad; éstas condiciones hacen que la productividad del suelo disminuya con el aumento de la pendiente y por lo tanto habrá cambios en la composición de la vegetación.

Respecto a la pendiente del terreno el *P. durangensis* mostró asociación con lugares con pendiente ligera de 0 a 5%. Es necesario aclarar que este dato no es muy confiable, debido a que los sitios se ubicaron cerca de la carretera y éstas son trazadas por los lugares menos accidentados. Sin embargo, debido a que muchos factores edáficos tienen una estrecha relación con el grado de pendiente, seguramente mientras la pendiente es muy abrupta o fuerte las condiciones para el desarrollo de la especie serán menos adecuadas y al disminuir la pendiente, las condiciones mejorarán. Sin embargo se debe considerar que el rango de pendiente donde la especie en estudio se desarrolla no fue abarcado satisfactoriamente en este trabajo, por las particularidades del método de muestreo.

Harold y Hocker (1984) relacionaron el índice de localización con exposición, pendiente y profundidad del suelo, y encontraron que en las exposiciones Norte y Este el índice de localización es mayor, así mismo encontraron que a medida que aumenta la pendiente disminuye el índice de localización y al aumentar la profundidad del suelo el índice de localización es mayor. Índice de localización es una expresión de la calidad de la localización forestal en la altura dominante de los árboles en una edad arbitrariamente elegida.

El suelo es otro factor de importancia en la determinación de la distribución y crecimiento de las especies, y según sean sus características, se desarrollarán sobre él, determinadas especies según sea el caso. La profundidad, la textura, el pH, estructura, entre otras características del suelo son las que influyen y definen en mayor grado el tipo de vegetación o las especies que se establezcan en una localidad. En el presente trabajo se encontró que el *P. durangensis* se desarrolla sobre el suelo regosol eútrico y algunas de sus características importantes es que es un suelo fértil (del griego eu, bien; eutrófico, fértil) y su profundidad es de 20 a 50 cm, en general es un suelo con buenas características que permiten que el *P. durangensis* en la región Tarahumara presente buenas características fenotípicas. No se encontró literatura referente a las unidades de suelo a las que se asocia la especie en estudio. Sin embargo, Eguiluz (1978) señala que en Durango y Chihuahua, se le observa sobre suelos café a café rojizos, de textura migajonosa con limo o arcilla, buen drenaje, mas de 2 m de profundidad, con pH de 5.0 a 6.8, ricos o medianamente ricos en materia orgánica, oxígeno, nitrógeno, calcio, y potasio, pero siempre pobres en fósforo. Por su parte, Mc Vaugh (1992) señala que el *P. durangensis*, se encuentra principalmente en suelos profundos. Algunas de estas características coinciden con las

del suelo regosol, por lo que el resultado obtenido en este trabajo tiene relación con lo mencionado por los autores antes citados.

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo, específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm de diámetro; y es una característica del suelo de importancia ya que afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. La cartografía edafológica de México reporta además de las unidades de suelo, la textura, y la clasifica en fina, media y gruesa; y en base a esta clasificación se realizó el presente trabajo. La distribución del *P. durangensis* en la región Tarahumara, Chih., resultó estar asociada con la textura media del suelo, en la cual predomina el limo, y es la textura con menos problemas de drenaje, aireación y fertilidad. Eguiluz (1978) señala que el *P. durangensis* se presenta comúnmente en suelos de textura migajonosa con limo o arcilla y buen drenaje, lo que puede traducirse como una textura media, entonces, los resultados que en este trabajo se obtienen son similares con lo que este autor menciona.

Los suelos presentan frecuentemente horizontes cementados o endurecidos a diferente profundidad; o también sobre la superficie del suelo pueden existir fragmentos de roca de diferentes tamaños; a lo anterior se le conoce como fases físicas del suelo. Las fases físicas del suelo se clasifican en superficiales y de profundidad, entre las primeras se encuentran la fase pedregosa y la fase gravosa y dentro de la segunda se encuentra la fase lítica, petrocálcica, petrogypsica, dúrica, frágica y concrecionaria; el *P. durangensis* mostró asociación en mayor grado con la fase lítica la cual es una capa de roca dura o continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de las raíces de las plantas; así mismo mostró asociación con los suelos sin fase física es decir que no existe capa endurecida al menos hasta una profundidad de un metro, ni fragmentos de roca sobre la superficie del suelo.

Al hacer la prueba de independencia entre los tipos de vegetación y el *P. durangensis*, en el presente trabajo se encontró que ésta especie se asocia al bosque de pino del cual forma parte, esto concuerda con lo que dice Eguiluz (1978), éste autor señala que el *P. durangensis* forma rodales puros de extensiones considerables y cuando se asocia lo hace con *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. cooperi*, *P. arizonica* y *P. engelmanni*.

Las áreas donde se presentan todos los rangos y clases de los factores ambientales a los cuales se asocia el *P. durangensis* (Figura 17) se encuentran concentradas principalmente en los municipios de Guachochi, Bocoyna, Ocampo, Madera y Guadalupe y Clavo; según el estudio de impacto ambiental realizado en 1999 por la Universidad Antonio Narro, los municipios de Guachochi, Ocampo y Bocoyna son considerados como de producción maderable alta con una extracción promedio anual de 110,572 a 273,905 m³, y los municipios de Madera y Guadalupe y Calvo son considerandos como de producción maderable muy alta con una extracción promedio anual de 273,405 a 578,815 m³. Si en algunas áreas potenciales para *P. durangensis* no se encuentra actualmente ésta especie, entonces se recomienda realizar repoblaciones artificiales con *Pinus durangensis* puesto que tienen los requerimientos ecológicos de la especie; sin embargo, se debe considerar el factor latitud en caso de mover la semilla de las poblaciones del Norte hacia el Sur o al contrario, por las diferencias en fotoperiodo de las áreas, debido a esto se pueden tener respuestas diferentes en desarrollo de las plantas al moverlas a otro lugar con fotoperiodo diferente; también sería conveniente realizar ensayos de procedencia antes de mover la semilla a lugares donde el fotoperiodo pueda ser un factor limitativo.

V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados y discusión se concluye lo siguiente:

La distribución y la abundancia del *Pinus durangensis* en la Sierra Tarahumara de Chihuahua están determinadas por ciertos rangos o clases de factores ambientales como la temperatura, precipitación, altura sobre el nivel del mar, tipo de suelo, textura del suelo, fases físicas del suelo, pendiente y tipo de vegetación; excepto por la exposición.

Los rangos y clases de los factores ambientales considerados en el presente trabajo a los cuales se asocia la especie en estudio:

- El rango de altitud es de 2000 a 2600 msnm.
- El rango de temperatura media anual es de 8 a 12° C.
- El rango de precipitación media anual es de 600 a 1200 mm.
- El tipo de suelo asociado con la especie es el Regosol Eutrítico.
- La clase de textura asociada es la textura media.
- Las fases físicas asociadas son la lítica y sin fase física.
- El tipo de vegetación al cual se asocia la especie es el bosque de pino.

En los lugares donde se reúnen los anteriores rangos o clases de factores ambientales, es donde la especie puede tener el mejor desarrollo y donde se puede establecer repoblación artificial utilizando el *Pinus durangensis*, considerando el factor latitud que tiene influencia sobre el fotoperiodo y puede afectar el desarrollo de las plantas, cuando se mueve la semilla de las poblaciones a lugares con diferente fotoperiodo, además se debe considerar también las poblaciones de la especie que están aisladas debido a que puede haber variaciones genéticas entre las poblaciones por los ambientes diferentes donde se desarrollan y al realizar plantaciones en lugares con condiciones ambientales diferentes la especie mostrará respuestas de desarrollo diferente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la metodología empleada en el presente trabajo para determinar los rangos o clases de factores ambientales que asocian a otras especie vegetales, especialmente en superficies grandes.
- Se recomienda también determinar los factores ambientales que determinan la distribución y abundancia de las especies de mayor importancia en el país.
- Así mismo se recomienda incluir el factor luz en trabajos similares a éste.
- Al emplear en otros trabajos la metodología utilizada en el presente trabajo, se recomienda buscar una solución para que el resultado del factor pendiente sea confiable; y podría ser ubicar los sitios en las cartas topográficas a un costado de la carretera a una cierta distancia de ésta.

VII. LITERATURA CITADA

- Armendariz O., R. y G. Barragán P. de L. 1992. La investigación Forestal en Chihuahua. Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos. Chihuahua, México. 31 p.
- Begon M.; J. L. Harper y C. R. Townsend. 1995. Ecología; individuos, poblaciones y comunidades. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 886 p.
- Bosque, S. J. 1992. Sistemas de información geográfica. Ediciones Rialp, S. A.. Madrid, España. 451 p.
- Bosque S., J., F. J. Escobar M., E. García H. y M. J. Salado G. 1994. Sistemas de información eográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. ra-ma Editorial. Madrid, España. 478 p.
- Braun-Blanquet, J., J. Lalucat y J. O. de Bolos C. 1979. Fitosociología, Bases para el Estudio de las Comunidades Vegetales. H. BLUME Ediciones. Madrid, España. 820 p.
- Cabrera A., L y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C. 120 p.
- Clarke, G. 1971. Elementos de ecología. Ediciones Omega. Barcelona, España. 637 p.
- Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-minera del Estado de Chihuahua. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas. México. 297 p.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España.
- Critchfield, W. B. y E. L. Little. 1966. Geographic distribution of the pines of the world. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Washinton, D. C. 96 p.
- Daniel, W. W. 1987. Bioestadística, bases para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México, D. F. 667 p.
- Cronquist, A. 1977. Introducción a la botánica. CECSA. México, D. F. 848 p.
- De la Torre A., J. C., S. Guajardo S. y J. Saser B. 1983. Monitoreo del proceso de desertificación en México a través del procesamiento digital de datos landsat. Ciencia Forestal 44(8) 1-23
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. 623 p.
- Emmel, T. C. 1973. An Introduction to ecology and population biology. W. W. Norton and Company. Inc. New York, USA. 196 p.

- García A., A. y M. S. González E. 1998a. Pinaceas de Durango. Instituto de Ecología A.C. México. 179 p.
- García V., J. 1998b. Evaluación de la diversidad del paisaje, Utilizando un Sistema de información Geográfica, para la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 75 p.
- González E., S. y M. González E. y A. Cortes O. 1993. Vegetación de la reserva de la Biosfera "La Michilía" Durango, México. Acta Botánica Mexicana. Núm. 22: 1-104.
- González M., R. G. y D. F. Lozano G. 1995. Modelos ecológicos de distribución de la cobertura vegetal. Memorias del VII congreso latinoamericano de percepción remota. Sociedad Latinoamericana de Percepción remota y Sistemas de Información Espacial. Puerto Vallarta, México. 639 p.
- Grant, V. 1989. Especiación vegetal. Editorial Limusa. México, D. F. 587 p.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT EDITOR, S.A. México, D.F. 446 p.
- Hubálek, Z. 1978. Coincidence of fungal species associated with birds. Ecology 59(3): 438-442.
- Huguet del V., E. 1929. Geobotánica. Editorial LABOR, S. A. Barcelona, España. 339 p.
- INEGI. 1981. Cartas topográficas. Claves H12-9, H12-12, H13-10, H13,7, G12-3, G12-6, G13-1, G13-4, G13-7. Escala 1:250,000.
- INEGI. 1985. Cartas usos del suelo y vegetación. Claves H12-9, H12-12, H13-10, H13,7, G12-3, G12-6, G13-1, G13-4, G13-7. Escala 1:250,000.
- INEGI. 1989. Guías para la interpretación de cartografía edafologica. Segunda Reimpresión. México. 46 p.
- INI. 1993. Pueblos indígenas y microdesarrollo en la Tarahumara. Programa de Desarrollo Forestal Chihuahua-Durango. Seminario Permanente Sobre Indigenismo. Chihuahua, Chihuahua. 109 p.
- Johnson, R. 1976. Estadística elemental. Trillas. México, D. F. 515 p.
- Jones, S. J. y A. E. Luchsinger. 1979. Plant systematics. McGraw-Hill Book Company. New York, USA. 512 P.
- Krebs, Ch. J. 1985. Ecología; estudio de la distribución y la abundancia. Segunda Edición. Editorial HARLA. México, D. F. 753 p.
- Lawrence G., H. M. 1951. Taxonomy of vascular plants. McMILLAN Publishing. New York, USA. 823 p.

- Maisel, L. 1973. Probabilidad y estadística. Fondo Interamericano, S.A.. México, D.F. 280 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda Edición. Ediciones Botas. México. 361 p.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C. 168 p.
- Mc Vaugh, R. 1992. Flora NovoGaliciana. University of Michigan, Herbarium ann Arbor. United States América. 467p.
- Moreno S., R. y F. Moreno F. 1995. Los sistemas de información geográfica en la administración de recursos naturales: Recomendaciones de las experiencias del INIFAP. Ciencia Forestal 78(20) 93-109
- Mueller-Dombois D. y Ellenberg H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. New York, USA. 547 p.
- Odum, E. P. 1972. Ecología. Tercera Edición. Editorial Interamericana, S. A. de C. V. México, D F.. 639 p.
- Olvera C., P. 1981. Estudio anatómico de la madera de siete especies del genero *Pinus*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. 51 p.
- Perry, J. P. 1991. The pines of mexico and central America. timber Press. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Ramírez M., J. C. 1998. Un sistema de información geográfica para la identificación de los determinantes de la vegetación y usos del suelo en la sierra de Zapalinamé, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 103 p.
- Ruiz O., M., D. Nieto y R. A y I. Larios R. 1977. Tratado elemental de botánica. Décima Cuarta Edición. E.C.L.A.L.S.A. México, D. F. 730 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial LIMUSA, Primera Edición. México. 432 p.
- UNAM. 1970. Cartas de climas. Claves 13R-III, 13R-V, 12R-II, 12R-IV, 12R-VI. Escala 1:500,000. Dirección de Planeación - U.N.A.M.
- SPP. 1981. Cartas edafológicas. Chihuahua, La paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981. Cartas fisiográficas. Chihuahua, La paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981. Cartas hidrológicas de aguas superficiales. Chihuahua, La paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.

Spurr, S. H. y B. Barnes V. 1982. Ecología forestal. AGT Editor, S. A. México, D. F. 691 p.

Walpole, R. E., R. H. Myers y S. L. Myers P. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Sexta Edición. PrenticeHall Hispanoamericana, S. A. México, D. F. 752 p.

Whittaker, R. H. 1972. Communities and ecosystems. Edit. Macmillan Company. New York, USA. 158 p.