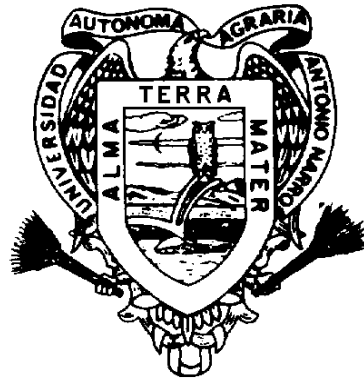


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus engelmannii* Carr.
en Sierra Tarahumara, Chih., utilizando Sistemas de Información
Geográfica**

Por :

SIMEY DANIEL CRUZ JARQUIN

TESIS

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

INGENIERO FORESTAL

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.
Febrero de 2001**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus engelmannii* Carr. en Sierra Tarahumara, Chih., utilizando Sistemas 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

Simey Daniel Cruz Jarquin

APROBADA

Dr. Alejandro Zárate 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
Febrero de 2001

DEDICATORIA

A mis padres: Teodora y Simei

Por ser los mejores padres del mundo. Por siempre creer en mí, y ser el mejor ejemplo de humildad, trabajo y esfuerzo, siempre dando lo mejor para la preparación de sus hijos; pero lo más importante su amor, amistad y comprensión. Gracias por apoyarme con sus sabios consejos y disciplina a lo largo de mi vida, lo cual hace de este nuevo logro que más que mío de ustedes.

A mi esposa, María de Jesús

Por ser una estupenda mujer que me llena de amor, cariño, apoyo, y con la cual estoy viviendo los días más felices. Te amo.

A mi hijito Luis Simey

Una gran bendición, que llena mi vida de felicidad, ternura y amor, el cual me estimula a seguir siempre adelante.

A mis hermanos: Jaqueline y Crescenciano

Por su cariño y por ser los mejores hermanos del mundo, los cuales han sido una parte importante en mi vida al formar una magnífica y hermosa familia junto a nuestros padres.

A mis suegros: Rosa Gloria[†] y Luis Carlos

Ejemplos de honestidad, disciplina y cariño que siempre me demostraron, y por su esfuerzo para que yo siga adelante. Ejemplos de hacer el bien sin esperar nada a cambio.

A la memoria de mi abuelita: "mamá Irene^{††}"

Por su ejemplo de humildad dedicación y duro trabajo, que me enseñó que el triunfo se logra estudiando y preparándose para servir a los más necesitados, y que lo más importante no es la recompensa material.

A mi tíos: Toña y Saúl

Por siempre estar al tanto de mi bienestar, y por ser unas buenas personas, lo cual han inculcado en sus hijos, a los cuales quiero mucho: Chava, Pepe, Saulito, Florecita y Lucésita.

AGRADECIMIENTOS

A **Jehová** por permitirme el don de la vida, y llenarme de bendiciones durante toda mi existencia en este hermoso planeta producto de su creación.

A mi Alma Mater, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, de la cual estoy muy orgulloso de pertenecer, por abrirme sus puertas y darme una buena formación, y enseñarme que para progresar se necesita trabajo y dedicación lo cual redundará en beneficio y satisfacciones.

Al **Dr. Alejandro Zárate Lupercio** por la confianza depositada para la realización de este trabajo, y por todos los apoyos que he recibido durante mi estancia en la universidad, pero sobre todo por su amistad y ejemplo de trabajo.

Al **M. C. Salvador Valencia Manzo**, por ser un excelente profesional, el cual siempre está dispuesto a escuchar y dar acertados consejos, orientaciones y palabras de aliento tanto en aspectos técnicos como de la vida cotidiana, lo cual fue de beneficio para mi formación profesional.

De manera especial al **Dr. Jorge Saúl Marroquín de la Fuente** por sus interesantes comentarios orientaciones y asesorías en el presente trabajo, así como en otras situaciones que he enfrentado a lo largo de la carrera y en la vida personal.

Al **Ing. Celestino Flores López** por haberme confiado su trabajo de muchos años, el cual fue el soporte principal de esta tesis, y por ser un maestro responsable en las aulas.

Al **Ing. Juan Encina Domínguez** por su excelente ayuda en el trabajo de campo, así como a los demás compañeros que estuvieron levantando sitios y obteniendo la información para este trabajo, Ingenieros: **Homero Barriga Marín, Georgina Muñoz, José A. Villatoro y Saul Ortiz**, así también a todos los compañeros del laboratorio de sistemas de información geográfica, en especial el **Ing. Carlos A. Venegas Castro** por sus consejos y orientaciones en varias etapas del trabajo.

Al **Ing. Manuel Irigoyen**, Subdelegado de Recursos Naturales de la SEMARNAP, en Chihuahua, así como a los diferentes directores de las Unidades de Administración Forestal de la región Tarahumara, por las facilidades y apoyos otorgados para la realización del trabajo de campo.

A mi suegro, el **Señor Luis Carlos Briones Garza** por el decidido apoyo que durante la carrera y la realización de este trabajo me ha brindado tanto en sentido moral como económico.

Al **Ing. Manuel Buceaga Vera** por todo el apoyo que me ha brindado en varias facetas de mi vida como universitario y como persona.

A mi estimado amigo **Efraín López Villareal** el cual aprecio, en gran manera, por su ayuda en la toma de datos como en el laboratorio.

A todo mis compañeros y amigos: **Raúl Martell, Ignacio Reyes, Héctor Sánchez y Hugo Gamaliel Hernández**.

A la maestra **Elizabeth García García**, por enseñarme las primeras letras, y por el cariño que lo largo de mi vida me ha demostrado.

A mis familiares que siempre me animan a seguir adelante, en especial mis tíos: **Angelina Vera, Javier Cruz, Elizabeth Cruz, Maximiliano Cruz, María García**; y a mis primos y sobrinos **Homero** y familia, **Javier, Lalo, Fredy y Erick**. En especial a la familia **Cruz Zebadúa**.

A mis profesores del CECFOR #2: **Rubén López Collins, Eduardo López Cortez, Alfonso de la Fuente Escobedo y Davidcito[†]**, por su esfuerzo y dedicación para que sus alumnos salgan bien preparados, pero sobre todo por su amistad.

A **Rosy y Aurelio Briones**, por la bondad, cariño y palabras de aliento que siempre recibo de ellos.

A los ingenieros: **Rodolfo Osorio, Alfredo Sanchez** y a mis ex-compañeros del departamento de fotointerpretación del INEGI (Coordinación Oaxaca), en especial a **Jesús Domínguez, Gonzalo Ayala, Sabás Pérez, Sabás Hernández y Roberto Cabrera** por su amistad, ánimo y palabras de aliento para que yo siguiera superándome.

A todas aquellas persona que de una u otra manera colaboraron en mi formación profesional y en este trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iii
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
Justificación	2
Objetivos	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
1 CARACTERÍSTICAS DE <i>Pinus engelmannii</i> Carr.	5
Descripción botánica	5
Importancia	7
Distribución	7
2 MUESTREO SISTEMÁTICO	8
3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	9
Modelo de datos vectorial	10
Modelo de datos raster	10
4 TABLAS DE CONTINGENCIA	11
5 ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES	12
Análisis de asociación o dependencia	12
MATERIALES Y MÉTODOS	16
1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
Ubicación geográfica	16
Infraestructura y vías de acceso	16
Geología	17
Fisiografía	18
Edafología	19
Hidrología	19
Clima	21

Tipos de vegetación y uso del suelo	21
Fauna	24
2 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO	24
Planeación del recorrido y muestreo	24
Recorridos	25
Establecimiento de sitios y toma de datos	26
3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO	27
Herramientas utilizadas	27
Manipulación de la información de campo para su entrada a los sistemas de información geográfica	27
4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
Pruebas de independencia	32
5 MAPA DE ÁREAS CON POSIBILIDAD DE PRESENCIA O ESTABLECIMIENTO DE LA ESPECIE	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Altitud	36
Pendiente	37
Exposición	38
Temperatura media anual	40
Precipitación media anual	41
Unidades de suelo	42
Textura del suelo	44
Fases físicas del suelo	45
Tipos de vegetación y uso del suelo	45
Distribución de áreas con posibilidad de presencia o establecimiento de la especie	47
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	52
LITERATURA CITADA	53
ANEXOS	58

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Tabla de contingencia de 2x2.	11
Cuadro 2. Unidades geológicas presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	18
Cuadro 3. Tipos de unidades de suelo y su distribución porcentual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	19
Cuadro 4. Regiones hidrológicas y subcuencas presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	20
Cuadro 5. Riqueza de algunos grupos para el estado de Chihuahua.	22
Cuadro 6. Tipos de Vegetación y Usos del Suelo presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	23
Cuadro 7. Especies de flora con status de conservación presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	24
Cuadro 8. Tabla de contingencia en Excel™	33
Cuadro 9. Resultado de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor altitud en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	37
Cuadro 10. Resultado de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor pendiente en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	38
Cuadro 11. Resultados de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor exposición en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	39
Cuadro 12. Resultados de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor temperatura media anual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	40
Cuadro 13. Resultados de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor precipitación media anual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	41
Cuadro 14. Resultado de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con unidades de suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	43
Cuadro 15. Resultado de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> con el factor textura del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	44
Cuadro 16. Resultado de la asociación del <i>Pinus engelmannii</i> y las fases físicas del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	45

Cuadro 17. Resultado de la asociación de <i>Pinus engelmannii</i> con tipos de vegetación y uso del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.	46
Figura 1. Esquema general de la metodología de laboratorio.	28
Figura 2. Mapa de áreas con posibilidad de presencia o establecimiento de <i>Pinus engelmannii</i> .	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio.	59
Anexo 2. Mapa de infraestructura y vías de acceso.	60
Anexo 3. Mapa de unidades geológicas.	61
Anexo 4. Mapa de unidades fisiográficas.	62
Anexo 5. Mapa de unidades de suelo dominante.	63
Anexo 6. Mapa de regiones hidrológicas.	64
Anexo 7. Mapa de climas.	65
Anexo 8. Mapa de tipos de vegetación y usos del suelo.	66
Anexo 9. Ubicación de los sitios de muestreo.	67

RESUMEN

El presente trabajo consistió en identificar las clases y rangos de 9 factores ambientales (altitud, pendiente, exposición, temperatura media anual, unidades o tipos de suelo así como su textura y fases físicas, además de tipos de vegetación asociados a la distribución del *Pinus engelmannii*, para lo cual se utilizaron Sistemas de Información Geográfica.

Se llevó a cabo un muestreo sistemático del área de estudio, y se obtuvieron 1269 sitios, que se incorporaron al programa Arc Info™ donde se digitalizaron, se georreferenciaron y se obtuvieron sus coordenadas geográficas, para después cambiar éstas coberturas vectoriales a formato raster en el Idrisi™. El siguiente paso fue obtener las coberturas temáticas (raster) de los 9 factores ambientales del SIG Tarahumara, para realizar sobreposiciones o "crosstab" de éstas con la cobertura que contiene la ubicación de presencia o ausencia de la especie en los sitios, con el fin de probar la asociación del pino con cada uno de los factores. Se utilizó la prueba de χ^2 con un $\alpha = 0.05$. El último proceso fue la elaboración de un mapa en el Idrisi™ donde se representan áreas que reúnen las clases y rangos óptimos para la distribución o establecimiento de la especie.

Los resultados mostraron que en su mayoría las clases y rangos de los factores ambientales sí tienen influencia en la distribución del *Pinus engelmannii*, con los valores y tipos siguientes: altitud, 1600 a 2400 msnm; temperatura media anual de 12 a 16 °C; precipitación, 600 a 1500 mm; unidades de suelo tipo feozem háplico, feozem lúvico, litosol, luvisol crómico, luvisol órtico, y vertisol pélico; textura del suelo fina; sin fase física del suelo; y por último se encontró asociada al bosque de encino, encino con vegetación secundaria, encino-pino, pino-encino, pino-encino con vegetación secundaria y pastizal inducido.

En cuanto a la distribución de áreas con posibilidad de presencia o establecimiento de la especies los municipios con más posibilidad fueron: Madera, Guazapares, Urique, Uruachi, Guadalupe y Calvo, Guachochi; y en menor grado: Temosachi, Chinipas, Maguarichi, Bocoyna, Batopilas, Morelos, Balleza, Moris y Guerrero.

INTRODUCCIÓN

Para quien visita la sierra Tarahumara, resulta incómodo describirla sin rayar en lo subjetivo, no se encuentran palabras precisas para que otra gente que no ha tenido la fortuna de estar en esos lugares se pueda imaginar la magnitud de las distancias y el trabajo de la naturaleza para llegar a formar ese macizo montañoso con variedad de climas, suelos y ambientes que impresionan a cualquiera (León, 1992). Lo anterior resulta cierto, pues para quienes tienen la oportunidad de estar en esa parte de la Sierra Madre Occidental se percatan de su riqueza tanto cultural, económica y natural.

Según Álvarez (1993), el estado de Chihuahua ocupa el cuarto lugar nacional por el volumen de recursos forestales con 257.5 millones de metros cúbicos (8.31% del total nacional) en una superficie de 16.1 millones de hectáreas (11.81% del total nacional): 5.1 arbolada, 10.3 arbustiva y .7 dedicada a otros usos; el segundo lugar en producción maderable, con 2.5 millones de metros cúbicos (21.66% del total nacional) en 1984. El total de la superficie se localiza en climas templados y fríos, esto es en las sierras: Tarahumara, Babícora y del Arco; con abundancia de pino (85% de la explotación total) y encino. Los municipios más importantes por su producción maderable son Madera, Guerrero, Bocoyna, Guadalupe y Calvo y Ocampo.

Rzedowski (1978) menciona que *Pinus engelmannii* es una de las especies maderables más aprovechadas en nuestro país, y es una de las más abundantes en esta zona, lo cual hace necesario realizar investigaciones relacionadas con la especie a fin de obtener información en cuanto a la identificación de los factores ambientales, principalmente físicos o abióticos que determinan la abundancia y distribución de la misma; por lo tanto el presente trabajo tiene como finalidad conocer algunos de esos factores, utilizando como herramienta los sistemas de información geográfica que facilitarán un conjunto de mapas de la región de estudio de tal manera que resulte posible analizar las características espaciales y temáticas para poder relacionar los factores del medio con la presencia de la especie, además de buscar áreas en

donde la especie no se encuentra pero que reúnen las características del hábitat y en las cuales podría ser factible su repoblación.

Este trabajo Surge de la inquietud de que son relativamente pocos los estudios sobre los factores asociados a la distribución de las especies, y quizás ninguno, utilizando los sistemas de información geográfica, que son una herramienta relativamente nueva, muy práctica y eficiente para trabajos relacionados con los recursos naturales.

El presente trabajo se desarrolló bajo el auspicio de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) y el Banco Mundial, en el proyecto de investigación: "Evaluación del impacto ambiental en la Sierra Tarahumara, Chihuahua".

Justificación

El conocimiento de la vegetación es necesario para innumerables actividades de la investigación y desarrollo (Matteucci y Colma, 1982), además de que, al ser recursos naturales, cumplen con diferentes funciones de importancia como:

- Forman un patrimonio ecológico, económico y social de gran importancia para el desarrollo sostenible del país.
- Tienen interés socioeconómico fundamental para los campesinos forestales.
- Constituyen fuente de trabajo para otros sectores en las industrias derivadas de la silvicultura.
- Son tutelares insustituibles de recursos vitales como suelo, agua y fauna silvestre.
- Desempeñan un papel básico en la disipación de tensiones psicológicas, cuando el paisaje del bosque funciona como sitio de esparcimiento que vitaliza la salud y permite la recreación.

- Forman valores que requieren las generaciones del futuro como reservas biológicas y sitios de investigación (Anónimo, 1981).

Además, las comunidades vegetales y grupos ecológicos son el resultado de la acción conjunta e integrada de los factores del ambiente; es decir, la vegetación es el reflejo del conjunto interactuante de factores ambientales y en tal sentido actúa como indicadora. Las asociaciones entre el tipo de vegetación y el hábitat tienen importancia por su capacidad predictiva. Cuanto más investigaciones sistemáticas y detalladas acerca de estas asociaciones se realicen, más confiable será la capacidad predictiva. Debido a la creciente presión ejercida por la actividad humana sobre los ecosistemas naturales es urgente realizar este tipo de estudios (Matteucci y Colma, 1982).

García y González (1998) mencionan que el conocimiento de la distribución y afinidades ecológicas de las especies, es un aspecto fundamental que debe considerarse en los programas de manejo para que éstos permitan una explotación óptima y sostenida. Cada especie tiene características individuales respecto a velocidad de crecimiento, longevidad, densidad, etc., y sus requerimientos ecológicos y relaciones con el medio son diferentes. Tomar en cuenta dichos aspectos permitirá lograr planes de manejo más eficientes, que promuevan la regeneración de los recursos. Por otro lado, el conocimiento preciso de las especies (distribución y abundancia) es una de las herramientas más importantes para la selección de individuos tendiente al mejoramiento genético. Es justificable también porque por medio de los sistemas de información se pueden realizar las actividades de una manera más práctica, económica y versátil, de tal manera que en el futuro se puede seguir actualizando la información y adecuarla a las necesidades específicas de los usuarios sin mayores dificultades.

Objetivos

- Identificar las clases y rangos de nueve factores ambientales que se asocian a la distribución del *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara del estado de Chihuahua, utilizando los sistemas de información geográfica.
- Localizar la distribución espacial de áreas con posibilidad de presencia o establecimiento de *Pinus engelmannii*, en base a las clases y rangos de factores identificados en su distribución.

Hipótesis

- La distribución y la abundancia de *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México, puede estar asociada a clases y rangos específicos de ciertos factores ambientales.

REVISIÓN DE LITERATURA

1 CARACTERÍSTICAS DE *Pinus engelmannii* Carr.

Descripción botánica

Nombres comunes: pino real (Martínez, 1979), apache pine, Arizona long leaf pine (Perry, 1991). Pino real de barbas largas, pino prieto (Eguiluz, 1978); pino apache (García y González, 1998).

Sinonimia (Businský, Kučera y Svoboda, 1983):

Pinus macrophylla Engelm in Wislizenus (1848), homónimo

Pinus latifolia Sargent (1889)

Algunos autores conocen a esta especie también como *P. mayriana* Sudw.(1897).

Perry (1991) hace la descripción de *Pinus engelmannii* de la siguiente manera:

Árboles de 12 a 25 metros de altura, y 25 a 100 cm diámetro; ramas largas gruesas formando una copa abierta y cónica. Cuando los árboles son jóvenes tienen una copa abierta y piramidal.

Corteza. En los árboles adultos la corteza es de color café oscuro, rugosa, escamosa, dividida en placas angostas y largas con fisuras poco profundas. En árboles juveniles la corteza es rugosa, escamosa y surcada, pero no forma placas muy profundas.

Ramas. Duras, gruesas, largas, las superiores ascendentes y las inferiores descendentes y sigmoideas, con frecuencia muy colgadas en árboles viejos, últimas ramillas gruesas, de 1 a 3 cm de diámetro, muy rugosas; la corteza café y rugosa; la base de las brácteas de las hojas son prominentes, muy rugosas, escamosas y decurrentes.

Hojas. En fascículos de 3 a 5 (principalmente 3) agrupados en la parte terminal de las ramillas, con una longitud de 20 a 43 cm de largo y alrededor de 1.5 mm de ancho, de 1 mm de grosor, rígidas, erectas o curvado-colgantes y con márgenes aserrados, de color verde pálido o verde amarillento. Estomas presentes en las superficies adaxial y abaxial, de 4 a 13 canales resiníferos, usualmente de 5 a 8; paredes exteriores del endodermo finamente engrosadas; dos haces fibrovasculares muy próximos, pero claramente diferenciados. Vainas de fascículos muy escamosas café oscuro, casi negras, algunas veces pegajosas de 20 a 30 mm de largo, persistentes.

Conillos. Ovoides, alargados, de color púrpura, en grupos de 2 a 5 sobre pedúnculos firmes; escamas gruesas y con una diminuta espina erecta.

Conos. Asimétricos de 7 a 16 cm de longitud, poco curvados y de 6 a 12 cm de ancho, brillosos, de color café amarillento, duros, pesados, en grupos de 2 o 4 con pedúnculos muy fuertes de 5 a 10 mm de largo, mismos que se encuentran muchas veces ocultos entre las escamas basales. Maduran durante los meses de invierno, y permanecen cerrados por algún tiempo para después abrir y mantenerse pegados a la rama por un periodo menor a un año; cuando caen, el pedúnculo queda adherido a la rama junto con algunas escamas basales.

Escamas del cono. Duras, fuertes, apófisis abultada, piramidal o protuberante, recurvada y quilla transversal; umbo dorsal pequeño, puntiagudo, de color gris y con espina persistente recta o curvada.

Semillas. Pequeñas, café oscuras de 5 a 8 mm de longitud, con ala articulada, lanceolada, de 20 a 40 mm de largo y de 7 a 9 mm de ancho, alrededor de 22 000 unidades por kilogramo de peso y con 8 a 10 cotiledones, regularmente 8 y 9.

Madera. Suave de color amarillo pálido, de muy buena calidad.

Se conoce una variedad, además, obviamente, de la típica; Martínez (1979) la distinguió por el número de hojas por fascículo, por el carácter de conos lustrosos u opacos, y por el tipo de

apófisis y de espina. Yeatón *et al.* (1983) estudiaron los cambios en la morfología de acículas (número, largo y número de estomas) del *Pinus engelmannii* a través de un gradiente altitudinal en el estado de Durango y llegaron a la conclusión de que las dos variedades son extremos de una variación clinal dentro de la especie, con el mayor número de acículas (5) en los árboles más viejos y de lugares altos, lo cual confirmaron con la obtención de plántulas con predominantemente 3 acículas a partir de semillas de árboles de cinco.

Importancia

Es una especie comercialmente importante, por su alta frecuencia, y madera de alta calidad. Es utilizada ampliamente para la construcción de casas y cabañas, cercados o combustibles. Es utilizada para durmientes, postes para cableado telefónico y pilotes para las minas (Eguiluz, 1978). Además de usos en ebanistería, elaboración de triplay, chapas, para las cajas de empaque y duelas, entre otros (Rzedowski, 1978).

Distribución

En su área mayor de distribución, se encuentra en una variedad de condiciones desde los valles húmedos, colinas altas y secas, hasta las cuevas áridas y "espinazos". Se le encuentra en suelos someros, arenosos, pedregosos, con poca materia orgánica, de color café claro, anaranjado, un poco rojizos y grisáceos. Se asocia a *Quercus hartwegii*, *Q. rugosa*, *Q. sideroxylla*, *Q. durifolia*, *Q. eduardii*, *Q. grisea*, *Pinus durangensis*, *P. chihuahuana*, *P. ayacahuite*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. cembroides* y *Pinus lumholtzii* (Rentería, 1996).

En general, crece a las altitudes de 2000-2500 metros en las cuevas más secas de las montañas; el clima es templado frío y con precipitaciones encima de 400-500 mm en el Norte, y a 650 mm en las cuevas del Pacífico, Durango, y Sur de Sinaloa (Perry, 1991). La temperatura media anual del área de distribución es de 14°C, con extremas máximas mayores de 42°C y mínimas hasta de -23°C.

Es un pino típico de la Sierra Madre Occidental, que en la República Mexicana se localiza en los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa, Sonora y Zacatecas, prolongándose hasta el Sur de Arizona y Nuevo México (U.S.A). Se ubica en las coordenadas 21° 50' a 31°15' latitud Norte y de los 103°45' a los 110°35' de longitud Oeste (Eguiluz, 1978). Rzedowski (1978) lo reporta también en los estados de Jalisco y Aguascalientes.

Para Perry (1991), *Pinus engelmannii* tiene una amplia distribución en el Noroeste de la Sierra Madre Occidental. En el Sureste de Arizona y el extremo Suroeste de nuevo México se encuentran unas pequeñas áreas, sin embargo son escasas. Su amplia distribución se extiende desde la parte Nororiental de Sonora, Oeste de Chihuahua, Oeste de Durango y Este de Sinaloa a lo largo del límite con Durango hasta "terminar" en la parte Sur de Zacatecas.

2 MUESTREO SISTEMÁTICO

Freese (1969) menciona que en el muestreo sistemático las unidades muestrales se escogen, no al azar sino de acuerdo con un patrón preespecificado. Generalmente, el único elemento de aleatorización es la elección del punto inicial en el patrón e incluso esto a menudo se pasa por alto. La mayoría de los inventarios forestales se han realizado por medio de alguna forma de muestreo sistemático, por dos razones principales:

- La localización de las unidades de muestreo en el campo es frecuentemente más fácil y más económica.
- Existe la idea de que una muestra deliberadamente diseminada sobre toda la población será más representativa que una muestra aleatoria.

A veces, el grado de variación en algunas porciones de la zona muestreada sistemáticamente es mayor que en otras y habría que muestrearlas con mayor intensidad. Para resolver ese problema sin perder objetividad, se han creado modelos de muestreo en donde se sitúan según

un patrón sistemático, unidades muestrales, de modo que la intensidad de muestreo se adapta al grado de variación florística (Matteucci y Colma, 1982).

3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para Bosque (1992), los sistemas de información geográfica (SIG) son dispositivos para el almacenamiento, análisis y utilización de los datos de la superficie terrestre, suelos y territorios en general. Están constituidos por un conjunto de componentes informáticos (“software y hardware”) medios y procedimientos preparados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos de cualquier territorio. Sirven para resolver toda clase de cuestiones de planificación y gestión regional, urbana o rural de grandes o de pequeñas zonas geográficas, gestión catastral, explotación de recursos naturales, etc. De manera más simple un sistema de información geográfica se puede definir como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en dicho sistema. De este modo resulta posible analizar las características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona.

Un SIG es, entre otras cosas, un programa de computadora con capacidades específicas que se pueden resumir en los siguientes subsistemas o componentes lógicos:

- Funciones para la entrada de información. Son los procedimientos que permiten convertir la información geográfica del formato analógico, del habitual del mundo real (en especial en la forma de mapas) al formato digital que puede manejar el ordenador.
- Funciones para la salida, representación gráfica y cartográfica de la información. Son las actividades que sirven para mostrar al usuario los propios datos incorporados en la base de datos del SIG, y los resultados de las operaciones analíticas realizados sobre ellos.

- Las funciones de gestión de la información espacial. Con los cuales se extraen de la base de datos las porciones que interesan en cada momento, y es posible reorganizar todos los elementos integrados en ella de diversas maneras.
- Las funciones analíticas. Son el elemento más característico de un sistema de información geográfica. Facilitan el procesamiento de los datos integrados en él de modo que sea posible obtener mayor información, y con ella mayor conocimiento del que anteriormente se disponía. Estas funciones convierten a un SIG en una “máquina de simulación”.

Según Bosque *et al.* (1994), la primera querrela en el desarrollo de un sistema de información geográfica, entendido como base de datos, es cómo representar en manera digital la información geográfica. Dos aspectos son fundamentales en el proceso de esquematizar la realidad para convertirla en el modelo representado en la base de datos. En primer lugar, la manera en que se concibe el mundo real, y después, cómo sintetizar los diversos componentes de un dato geográfico.

Modelo de datos vectorial

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 estructurar los datos: a) lista de coordenadas y b) en organización arco/nodo (Bosque *et al.*, 1994).

Modelo de datos raster

El modelo de datos raster representa digitalmente la información espacial de una manera diferente y en cierto modo complementario al anterior. Ahora el que se codifica en la computadora es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites anteriores. Para ello el procedimiento consiste en superponer al mapa a representar una rejilla formada de unidades regulares, normalmente cuadros o rectángulos, con el cual el espacio geográfico

queda particionado en forma sencilla y regular, y por ello fácil de representar. A continuación se trata de determinar qué objeto/valor temático existe en cada una de las unidades de la rejilla, y estos valores son almacenados en la computadora de manera secuencial, conservando así su posición relativa, que representa la posición geográfica (Bosque *et al.*, 1994).

4 TABLAS DE CONTINGENCIA

Según Maisel (1973), una tabla de contingencia es una tabla de doble entrada (Cuadro 1) diseñada para probar la compatibilidad de las frecuencias observadas y esperadas. Generalmente se construye para estudiar la relación entre dos variables y se utiliza la prueba de χ^2 (ji cuadrada) para probar la hipótesis de que las dos variables son independientes.

Según Ludwig y Reynolds (1988), el procedimiento para estudiar la asociación entre especies, en este caso variables, está basado en la presencia o ausencia de una variable en una colección de unidades de muestreo. Lo anterior se puede representar con datos binarios, esto es, que la presencia se indica con un 1 y la ausencia con un cero en una tabla de frecuencia.

Cuadro 1. Tabla de contingencia de 2x2.

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

5 ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES

Dentro de cualquier comunidad dada, hay factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución, la abundancia y, como consecuencia, la interacción de especies. dependiendo adelante si dos especies que seleccionen o eviten el mismo hábitat, tienen alguna atracción mutua o repulsión, o no tienen ninguna interacción en absoluto; resulta así un cierto modelo de asociación interespecífica (Ludwig y Reynolds, 1988).

Análisis de asociación o dependencia

En los siguientes párrafos se describen los métodos para detectar la existencia de asociación entre variables según Ludwig y Reynolds (1988). Estas técnicas están basadas solamente en la presencia o ausencia de la variable en las unidades de muestreo o los sitios.

Paso 1.- Sumarización de datos. Para cada par de variables, A y B, se obtiene lo siguiente:

a= el número de unidades de muestreo donde ambas variables ocurren.

b= el número de unidades de muestreo donde la variable A ocurre pero, no B.

c= el número de unidades de muestreo donde la variable B ocurre pero, no A.

d= el número de unidades de muestreo donde ni A ni B están presentes.

N= el número total de unidades de muestreo ($N = a + b + c + d$).

Esta información se sumariza en una tabla de contingencia de 2 x 2 (Cuadro 1). Tanto la prueba como las medidas de la asociación presentadas a continuación están basadas en estos datos.

La frecuencia esperada de ocurrencia de la variable A en las unidades de muestreo representadas como $f(a)$, están dadas por:

$$f(a) = a+b/N$$

y para la variable B, por:

$$f(b) = a+c/N$$

Se supone que ambas especies tienen ocurrencia en mínimo una unidad de muestreo en la colección, esto es, $f(a)$ y $f(b)$ son mayores que cero.

Paso 2.- Establecer la hipótesis. La hipótesis nula es aquella donde las variables son independientes (o sea, no hay asociación).

Paso 3.- Cálculo de las pruebas estadísticas. La tabla de 2x2 contiene valores observados para cada una de las celdas (a,b,c y d) de la muestra de N. Para probar la asociación, se calcula que los valores esperados para cada una de las celdas serían si la ocurrencia de las variables A y B, de hecho, son independientes y comparar los valores observados de ellos. La prueba de χ^2 se usa para probar la hipótesis nula de independencia en las tablas de 2x2. La prueba de χ^2 se calcula de la siguiente forma (Snedecor y Cochran, 1981):

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

El valor esperado para la celda "a" está dado por:

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

ó de

$$E(a) = f(B)(a+b) = f(A)(a+c). \text{ (Ludwig y Reynolds, 1988).}$$

Entonces, la ecuación anterior establece que del número total de unidades de muestreo donde la variable A está presente (esto es, $a+b$), se espera que si A y B son independientes, la variable de B debe también estar presente en proporción a su frecuencia en las unidades de muestreo, esto es, $f(B)$; y viceversa para la presencia de la variable A en las unidades de muestreo donde las variables B están presentes (Ludwig y Reynolds, 1988).

Similarmente, los valores esperados para las celdillas b, c, y d son respectivamente:

$$E(b)=ms/N, \quad E(c)=rn/N \quad \text{y} \quad E(d)= sn/N$$

La prueba estadística de χ^2 es ahora dada como:

$$\chi^2 = [a - E(a)]^2 / E(a) + \dots + [d - E(d)]^2 / E(d)$$

otra forma de representar más simple esta última ecuación es:

$$\chi^2 = N(ad - bc)^2 / mnrs$$

Realmente, además de ser más simple el uso, no se requieren el cálculo de valores esperados, ni la diferencia entre valores observados y esperados, los errores del redondeo asociados se evitan (Ludwig y Reynolds, 1988).

La prueba de significancia de χ^2 resulta de la comparación de la χ^2 calculada con la distribución teórica χ^2 . La tabla de contingencia 2x2 tiene un grado de libertad, desde una tabla con r filas y c columnas los valores de χ^2 para 1 grado de libertad al 5% de nivel de probabilidad es 3.84, si el χ^2 calculada es mayor a 3.84, se rechaza la hipótesis nula que las variables A y B son independientes y se concluye que están asociadas (Ludwig y Reynolds, 1988).

Existen dos tipos de asociaciones:

- Positiva: si se observa que $a > E(a)$, es decir, el par de especies ocurren juntas más a menudo que lo esperado.

- Negativa si se observa $a < E(a)$, es decir, el par de especies o variables ocurren juntas menos a menudo que las esperadas (Ludwig y Reynolds, 1988).

Esta comparación de observados "a" para $E(a)$, que es,

$$a - E(a) = (ad - bc)/n$$

Resulta en la cantidad $ad-bc$ apareciendo en el numerador de todas las χ^2 como formulaciones, tal como la ecuación matemática simple descrita anteriormente (Ludwig y Reynolds, 1988).

Ludwig y Reynolds (1988) concluyen que si cualquier celda de la tabla de 2×2 tiene una frecuencia esperada menor a 1, si más de dos de las celdas de la tabla tienen frecuencias esperadas menores de 5, entonces el resultado de la prueba de χ^2 será sesgada. Cuando se tienen un reducido número de muestras, para no tener sesgados los resultados se utiliza la fórmula de corrección de Yates, que es:

$$\frac{N[|(ad) - (bc)| - (N/2)]^2}{mnr}$$

MATERIALES Y MÉTODOS

1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en la parte Suroeste del estado de Chihuahua y comprende 23 municipios: Balleza, Batopilas, Bocoyna, Carichi, Cusihuirachi, Chinipas, El Tule, Guachochi, Guadalupe y Calvo, Guazapares, Guerrero, Maguarichi, Matachi, Morelos, Moris, Nonoava, Ocampo, Rosario, San Francisco de Borja, Temosachi, Urique y Uruachi (Anexo 1) Geográficamente se localiza entre los paralelos: 25° 56' 00'' y 29° 96' 00'' de latitud Norte y los meridianos 106° 03' 00'' y 109° 07' 00'' de longitud Oeste, con una superficie aproximada de 71,231.133 km². Comprende una gran variedad de expresiones ecogeográficas representadas por cuatro grandes subsistemas: barrancas y tierras bajas, serranías con altitudes menores a los 2000 m, mesetas y sistemas montañosos con elevaciones mayores a los 2,500 m.

Infraestructura y vías de acceso

El acceso a esta región incluye infraestructura de carreteras, vías de ferrocarril, caminos de terracería, brechas y veredas (Anexo 2), además de ocho aeropistas.

El acceso por la parte Norte se puede realizar en la carretera No. 10, en el tramo Janos-Nuevo Casas Grandes- Madera. Por la parte Este, la carretera No. 16, une los tramos la Junta-Yepachic-Yecora-Sonora, la cual atraviesa la barrera geográfica de esta gran zona serrana. Por el Sur se tiene acceso por la carretera No. 24 San José (en proceso de pavimentación)-Guadalupe y Calvo-El Vergel-Parral. Por la parte central se transita por la carretera que comunica a las ciudades de Cuauhtémoc con Hermosillo, Sonora.

El ferrocarril comunica a la ciudad de Chihuahua con el Pacífico mexicano, el cual pasa por el tramo de la Junta, Creel y Temoris para enlazarse con los Mochis, Sinaloa y el puerto de Topolobampo, en el estado de Sonora. También del poblado la Junta se tiene conexión con Ciudad Juárez atravesando las comunidades de Madera y Nuevo Casas Grandes.

Las aeropistas se localizan en los poblados: Madera, Moris, Chinipas, Temoris, Batopilas Guadalupe y Calvo, Guachochi, Nonoava y Creel, las cuales dan servicio a lugares alejados de esta región.

Geología

El área se ubica en la denominada provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, la unidad geotectónica más importante del Noreste del país, que comprende un substrato basal prevolcánico y un potente conjunto de rocas volcánicas, que en su 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 todas 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, plagiosas sódicas, feldespatos potásicos, plagiosas cálcicas, ferromagnesianos y feldespatoideos (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Básicamente la región está conformada por rocas ígneas extrusivas ácidas en un 65.64%, rocas ígneas extrusivas básicas en un 19.18% y un 11.07% por conglomerados (Cuadro 2 y Anexo 3).

Cuadro 2. Unidades geológicas presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Tipo de roca	Superficie (Km ²)	% del total de la superficie
Caliza	21.61	0.03
Caliza lutita	189.37	0.27
Conglomerado	7,892.34	11.07
Ignea extrusiva ácida	46,781.13	65.64
Ignea extrusiva básica	13,671.54	19.18
Ignea intrusiva ácida	73.27	0.10
Ignea intrusiva básica	31.66	0.04
Suelo	2,608.43	3.66
Total	71,270.27	100.00

Fuente: SPP, 1981b.

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 remontantes que fluyen a través de barrancas profundas hacia las tierras bajas de la Costa del Pacífico (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Por otra parte, el Consejo de Recursos Minerales (1994) establece que en la región se presentan cinco grandes topofomas a saber: lomeríos, llanuras, mesetas, sierra y valles (Anexo 4).

Edafología

Según la SPP (1981a), basada en la clasificación de suelos de la FAO UNESCO, el área de estudio está formada por 18 unidades de suelo, mismas que aparecen en el Cuadro 3 y Anexo 5.

Cuadro 3. Tipos de unidades de suelo y su distribución porcentual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Unidades de suelo	% del total de la superficie
Cambisol crómico	0.33
Cambisol éutrico	4.26
Cambisol vértico	1.32
Feozem háplico	27.63
Feozem lúvico	0.33
Fluvisol calcárico	0.02
Fluvisol éutrico	0.04
Litosol	30.29
Luvisol crómico	5.54
Luvisol órtico	1.07
Planosol éutrico	0.14
Planosol mólico	0.04
Regosol calcárico	0.16
Regosol éutrico	25.75
Vertisol crómico	0.76
Vertisol pélico	1.68
Xerosol háplico	0.14
Xerosol lúvico	0.49
Total	100.00

Fuente: SPP, 1981a.

Hidrología

Está integrada por 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 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 (Cuadro 4 y Anexo 6).

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 corresponden al Río Mayo, Río Fuerte, Río Yaqui 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 (SPP, 1981c).

Cuadro 4. Regiones hidrológicas y subcuencas presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Cuencas	Superficie (km ²)	% del total de la superficie
RH10-C	798.29	1.12
RH10-E	3,046.23	4.27
RH10-G	24,755.36	34.73
RH24-I	13,721.78	19.25
RH24-N	2,440.76	3.42
RH34-C	622.51	0.87
RH34-D	1,334.98	1.87
RH34-E	1,241.07	1.74
RH9-A	5,247.81	7.36
RH9-B	18,061.45	25.34
Total	71,270.27	100.00

Fuente: SPP, 1981c.

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.

Clima

La UNAM (1970), reporta básicamente tres tipos de climas para el área de estudio (Anexo 7):

Cálidos húmedos (A). Presentan una temperatura del mes más cálido superior a los 18°C, la del mes más frío menor de 18°C; poseen por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia, en el mes mas lluvioso de la mitad caliente del año, que en el mes menos lluvioso, por lo menos un mes con precipitación media menor de 60 mm. Principalmente se distribuye en los cañones de la sierra.

Secos (B). En los cuales 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.

Templados húmedos (C). Los cuales 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 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 mas seco. Este tipo de climas se distribuye sobre las sierras, cañadas, mesetas y llanuras.

Tipos de vegetación y uso del suelo

La mejor aproximación de la vegetación del área se basa en la descripción realizada por el INEGI (1985) en las cartas de vegetación y uso del suelo escala 1:250,000,. 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 está comprendida en su mayor parte dentro de la Provincia florística denominada: Sierra Madre Occidental, en donde las comunidades vegetales de climas templado frío, ocupan una mayor superficie, por lo que aquí predominan los bosques de *Pinus*, aún cuando también son frecuentes los de *Quercus*, especialmente sobre altitudes inferiores (Rzedowski, 1978).

Debido a la variedad del clima y la topografía, entre otros factores, de esta provincia fisiográfica, existe una gran diversidad biológica lo cual se constata con la presencia de variadas comunidades vegetales, integradas por una flora relativamente rica (Cuadro 5). Además de ser uno de los estados dentro de México que se considera como de alto endemismo (CONABIO, 1998).

Cuadro 5. Riqueza de algunos grupos para el estado de Chihuahua.

Grupos	Número de especies
Pteridofitas	126
Quercus	41
Agavaceae	34
Commelinaceae	18
Compositae	423
Gramineae	267
Lamiaceae	32
Nolinaceae	11
Myxomycetes	1

Fuente: CONABIO, 1998.

En el área de estudio se presentan 26 tipos de vegetación y otros usos del suelo, de los cuales 21 son de vegetación natural y 5 tienen otro uso del suelo (Cuadro 6 y Anexo 8), 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 (UAAAN, 1999).

Cuadro 6. Tipos de Vegetación y Usos del Suelo presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Tipos de vegetación y usos del suelo	Total	
	Km ²	% del total de la superficie
Agricultura de Riego	416.16	0.58
Agricultura Riego Eventual	15.59	0.02
Agricultura de Temporal	4323.53	6.07
Agricultura de temporal y pastizal. Inducido.	79.66	0.11
Bosque Bajo Abierto	1955.85	2.75
Bosque de Encino	11991.69	16.83
Bosque Encino con vegetación secundaria	1009.92	1.42
Bosque de Encino- Pino	6494.41	9.12
Bosque de Encino - Pino con vegetación secundaria	511.67	0.72
Bosque de Oyamel	4.58	0.01
Bosque de Pino	17019.95	23.89
Bosque de Pino con vegetación secundaria	684.23	0.96
Bosque Pino - Encino	13403.56	18.81
Bosque Pino - Encino con vegetación secundaria	1953.24	2.74
Cuerpos de Agua	49.80	0.07
Chaparral con vegetación secundaria (E)	54.79	0.08
Matorral Desértico Micrófilo	43.35	0.06
Matorral Subtropical	196.64	0.28
Pastizal Halófilo	34.44	0.05
Pastizal Inducido	732.61	1.03
Pastizal Inducido - Bosque Pino - Encino con Vegetación Secundaria	236.38	0.33
Pastizal Natural	2394.62	3.36
Pastizal Natural con vegetación secundaria	356.71	0.50
Selva Baja Caducifolia	4730.71	6.64
Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria	873.41	1.23
Vegetación Halófila	891.93	1.25
Agricultura de temporal (E)	12.19	0.02
Bosque Bajo Abierto (E)	56.26	0.08
Bosque de Pino (E)	177.81	0.25
Bosque de Pino con vegetación secundaria (E)	50.62	0.07
Bosque Pino Encino (E)	43.81	0.06
Pastizal Inducido (E)	96.06	0.13
Pastizal Natural (E)	350.95	0.49
Total	71247.13	100.00

Fuente: INEGI, 1985.

Por otra parte según la NOM-059- ECOL-1994 (SEDESOL, 1994) de los tipos de vegetación enlistadas anteriormente para el área de estudio, cuatro especies se encuentran bajo estatus de conservación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Especies de flora con status de conservación presentes en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Especie	Familia	Status de conservación
<i>Juglans major</i>	Juglandaceae	Amenazada
<i>Picea chihuahuana</i>	Pinaceae	En peligro de extinción
<i>Pinus reflexa</i>	Pinaceae	Rara
<i>Tilia mexicana</i>	Tiliaceae	En peligro de extinción

Fuente: UAAAN (1999).

Fauna

Según la NOM-059-ECOL-1994 (SEDESOL, 1994) se tienen reportadas 107 especies de mamíferos, 7 de las cuales se encuentran amenazadas, 8 en peligro de extinción, 3 raras y una sujeta a protección especial. En cuanto a aves se tienen reportadas 241 especies (lo cual constituye más del 25% de las existentes en el país), de las cuales 16 se encuentran amenazadas, una en peligro de extinción, cinco bajo protección especial y tres son raras.

2 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Planeación del recorrido y muestreo

Lo primero que se tomó en cuenta para realizar el recorrido es la superficie y la variedad de vegetación que existe en la zona. En base al trabajo de investigación documental y a la diversidad de formas tanto biológicas como fisiográficas, se empleó muestreo sistemático,

para obtener información no sólo del *Pinus engelmannii*, sino también de otras dos especies (*Pinus arizonica* y *Pinus durangensis*) temas de otras tesis de licenciatura y posgrado.

Recorridos

Es pertinente mencionar que gran parte de los sitios de muestreo fue realizado por Celestino Flores López, que durante 5 años estuvo tomando información de toda la región Tarahumara, consistente en diferentes recorridos con estaciones cada kilómetro en donde registraba presencia de las especies, asociaciones y algunas características del lugar, como nombre del paraje, kilómetros recorridos y tramo. De estos recorridos Celestino Flores obtuvo 1062 sitios, los cuales cubren una parte muy importante del área de estudio.

Las rutas que él cubrió fueron las siguientes:

1. Ciudad Madera - El Largo - El Colorado.
2. Cuahutémoc - 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 levantamiento de campo realizado en el presente trabajo se realizó a partir del día 29 junio al 19 de julio de 1999, y se estableció en base a las cartas topográficas 1 : 250 000 (SPP, 1980), tratando de cubrir las áreas faltantes a lo muestreado por Celestino Flores. Se formaron dos brigadas (una de cuatro integrantes, y la otra de tres). Una, empezó en el Sur por El Vergel, y la otra comenzó por La Norteña (en el Norte), de tal manera que al final de esta fase coincidieran en la parte central, en la ruta Creel - San Rafael. Las rutas fueron las siguientes:

Por la parte Norte:

1. Ciudad Madera - el Largo Maderal.
2. Mesa del Huracán - La Norteña.
3. Ciudad Madera - Agua Colorada.
4. Cuahutémoc - Límite estatal Chihuahua y Sonora.
5. La Junta - San Juanito - Creel.
6. Creel - San Rafael.

Por la parte Sur:

7. Creel - San Rafael.
8. San Rafael - El Muerto.
9. San Rafael - Bahuichivo - Urique.
10. Creel - Guachochi.
11. Guachochi - Yoquivo - Polanco.
12. Guachochi - Balleza.
13. El Vergel - El Ocote.

Establecimiento de sitios y toma de datos

La metodología para la toma de sitios fue: ubicarlos a cada cuatro kilómetros medidos con el odómetro de la camioneta, y como mínimo a 500 metros de la orilla de la carretera, esto con el fin de evitar la influencia del camino sobre la vegetación. Una vez en el lugar se procedía a realizar la observación de presencia de la especie. Se tomaba la profundidad del suelo (con varilla metálica), color (tabla de Munsell®), pedregosidad, y porcentaje de materia orgánica. Se registraban las especies asociadas de árboles, arbustos, zacates y otras. Con la ayuda de un geoposicionador se obtenían las coordenadas UTM del lugar, además de la altura sobre el nivel del mar. También se tomaba la pendiente con el clinómetro o la pistola Haga; y con la brújula la exposición.

El total de sitios levantados tanto por Celestino Flores como en este trabajo fue de 1269 (Anexo 9), de los cuales en 440 se presentó el *P. engelmannii*.

3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

Herramientas utilizadas

Se trabajó en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Departamento Forestal de la UAAAN en computadoras personales, con programas que integran los Sistemas de Información Geográfica como son: ARCINFO™, ARC VIEW™ e IDRISI™. Además se utilizó la base de datos digital del Sistema de Información Geográfica del estudio de Impacto Ambiental de la región Tarahumara, realizado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (1999), de donde se obtuvieron las coberturas "Raster" de los diferentes factores ambientales utilizados en este trabajo, como son: altitud, fases físicas del suelo, textura del suelo, tipos de suelo, precipitación media anual, temperatura media anual, pendiente, orientación, y tipo de vegetación (Figura 1), variables similares a las utilizadas por Passini y Pinel (1989) en su trabajo de ecología y distribución del *Pinus lagunae*.

Manipulación de la información de campo, para su entrada a los sistemas de información geográfica.

Se ingresaron los 1269 sitios representados por puntos al sistema de información geográfica, los cuales se digitalizaron.

Lo primero que se hizo fue obtener las coordenadas geográficas para cada uno de los puntos o sitios, ya que unos datos contaban con coordenadas UTM (los levantados en este estudio), y otros no tenían ubicación (los de Celestino Flores).

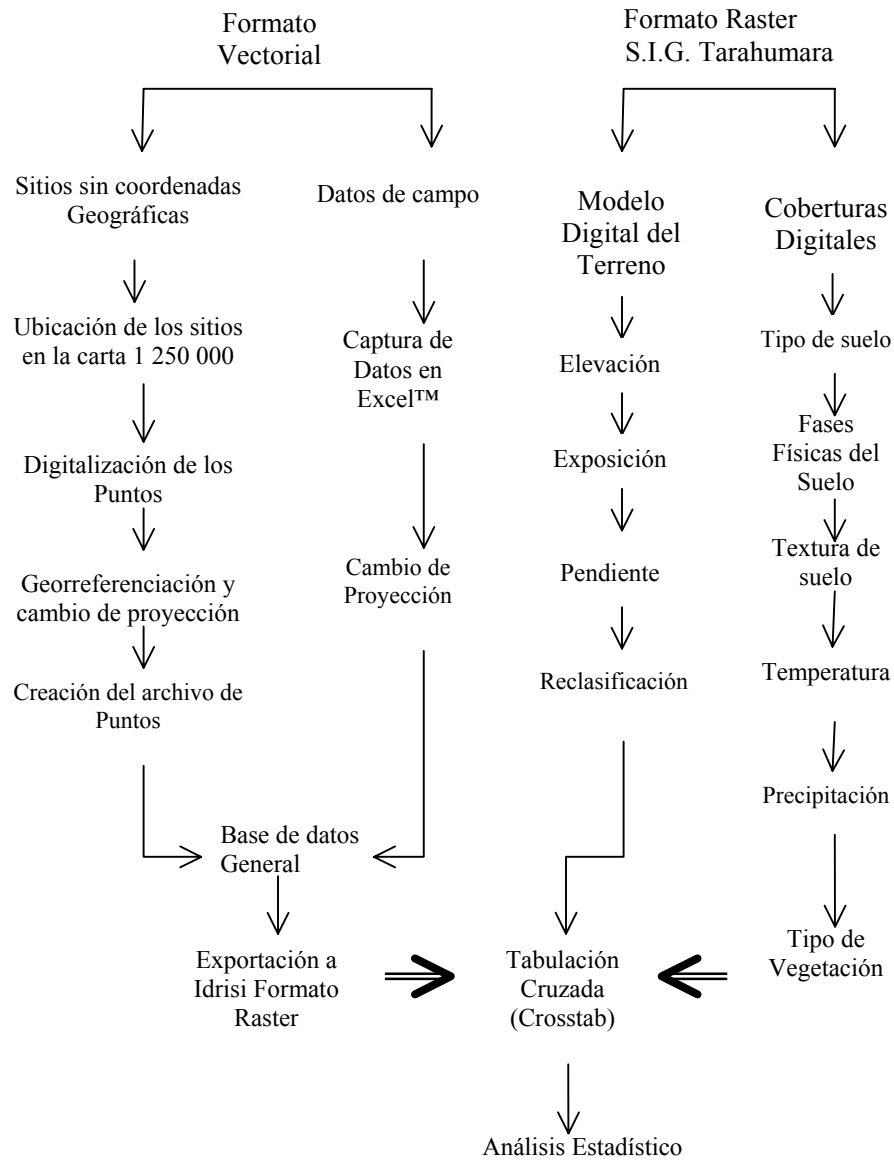


Figura 1. Esquema general de la metodología de laboratorio.

Los sitios o puntos que estaban con coordenadas UTM, se cambiaron a coordenadas geográficas, para lo cual se capturaron en el programa Excel™ y se guardaron como textos delimitados por tabulaciones (.txt), para después, cambiarles la proyección en el programa Arc Info™ utilizando el comando PROJECT FILE.

En el caso de los sitios sin coordenadas se realizó otro procedimiento, como se indica enseguida:

Localización de los puntos en las cartas topográficas 1 : 250 000 (SPP, 1980). Se ubicaron todos los sitios en las cartas y se sobrepuso un papel albanene para indicarlos en este último, lo cual se realizó observando el principio de la ruta y en base a los caminamientos y referencia de la bitácora de campo, se ubicaba el primer sitio y de ahí los demás a intervalos de mil metros de distancia, en base a la escala de la carta.

Digitalización

La digitalización se realizó en el módulo Arc Edit de ARC INFO™, y consistió en poner y afianzar sobre una tableta digitalizadora el papel que tenía ubicados e identificados los puntos o sitios, luego se coordinó la tableta con la computadora (comando COORDINATE DIGITIZER) para después establecer los puntos de control o "Tics", y agregar una etiqueta a cada uno. Finalizado el proceso se creó la topología por medio del comando BUILD POINT (esto porque fueron puntos, no líneas ni polígonos).

Georreferenciación y cambio de proyección

Después del proceso señalado anteriormente, las coberturas generadas tienen coordenadas pero son de la tableta, esto es, coordenadas en pulgadas o centímetros, entonces el paso siguiente fue desarrollar una cobertura georreferenciada con coordenadas geográficas, para lo cual se utilizó el comando CREATE COVER, lo cual dio "Tics" o puntos de control en coordenadas geográficas reales en grados decimales.

Después, mediante el comando TRANSFORM, se llevó la información de la cobertura original a la nueva que está georreferenciada y de esta manera se obtienen coberturas con coordenadas geográficas y, con los datos completos, se realiza BUILD de puntos (POINT).

Creación del archivo de puntos

Una vez georreferenciada la cobertura, lo siguiente es obtener las coordenadas geográficas de cada uno de los sitios o puntos, y esto se realiza con el comando "UNGENERATE", dicho comando crea archivos de texto (*.txt) a partir de archivos digitales ya sea de puntos o líneas.

Una vez obtenido el archivo de texto (*.txt); se traslada uno al programa Excel para asignar nombres a cada uno de los ITEMS que contienen la información, los cuales aparecen acomodados en columnas y se les da una identificador (ID) a cada punto, así como a las columnas de las coordenadas X e Y.

Base de datos general

Una vez que el total de los sitios o puntos están en coordenadas geográficas, se crea una base de datos general en el Excel, que tiene los siguientes encabezados: en la primera columna un ID o identificador para cada punto, en las dos columnas siguientes las coordenadas X e Y, en la cuarta, quinta y sexta se agregaron las tres especies: *P.durangensis*, *P.arizonica*, y *P. engelmannii*, identificadas con ITEMS SP1, SP2, Y SP3, respectivamente y en cada celda donde se presentaran se les puso una clave: DU, AR y EN acorde al sitio donde existieran. Por último las tres columnas restantes se nombraron GDCODE1, GDCODE2 Y GDCODE3, esto, para indicar la presencia (1) o ausencia (2) de la especie y poder manejar los datos en código binario.

Obtención del archivo tipo "Shape"

La base de datos general se desplegó como proyecto general en el Programa ArcView™, en donde con la ayuda del comando "CONVERT TO SHAPEFILE" localizado en el menú "THEME" de la barra de herramientas fue cambiada a un formato shape.

Importación de datos vectorial a raster

Por medio del Arc Info™ basado en los datos de tipo binario de presencia y ausencia de las especies, son rasterizadas las coberturas a un formato "ERDAS" el cual es posible importar desde IDRISI™ utilizando el comando POLIGRID (Bosque *et al.*, 1994).

Para poder trabajar los datos dentro del IDRISI™ se necesita cambiar el formato de ERDAS a este último, lo cual se realiza con el subcomando IMPORT / EXPORT, que se encuentra en el comando FILE de la tabla de herramientas del programa. Las coberturas obtenidas para cada una de las especies están formadas por píxeles que representan 90 por 90 metros, esto es, un área de 8100 m². Cada píxel tiene información de la presencia o ausencia de las especies, lo cual está codificado como valor 1 o valor 0, sin embargo para un mejor manejo de los datos el valor cero se cambió por valor 2; entonces el valor 1 es donde aparece solamente el *Pinus engelmannii*, y el 2 es donde aparecen las otras dos especies, ya sea juntas o separadas.

Reclasificación de valores

Debido a que las coberturas de los factores: altitud, pendiente y orientación tienen valores que van desde 0 hasta valores muy elevados (en algunos casos), entonces se hace necesario realizar una reclasificación de estos datos, y se realiza por clases o rangos, para lo cual se utiliza el comando RECLASS en el IDRISI™.

Tabulación cruzada (Crosstab)

Los crosstabs se realizan en el IDRISI™, en donde se emplea el método de sobreposición de imágenes para lo cual se direcciona a la barra de herramientas al comando ANALYSIS, subcomando DATABASE QUERY y CROSSTAB, en el cual se sobrepone la cobertura con información de presencia de *Pinus engelmannii*, con las coberturas del SIG Tarahumara con información de los factores: altitud, fases físicas del suelo, textura del suelo, tipo de suelo, precipitación media anual, temperatura media anual, pendiente, exposición y tipos de vegetación.

Lo que se obtiene en este proceso son tablas de doble entrada o tablas de contingencia, con las categorías de los dos mapas y en cada intersección se obtiene el número de píxeles que cumple con la condición de presencia o ausencia, las cuales servirán en el proceso de pruebas de independencia. Este proceso se realizó para cada uno de los factores, dando como resultado varios crosstabs de la misma área.

4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Pruebas de independencia

Para realizar el cálculo de valores o la prueba de χ^2 , se utilizó el programa Microsoft Excel™, por la facilidad que tiene para el desarrollo de fórmulas. Así que se probó la independencia o no independencia de la especie con cada uno de las clases o rangos de los factores que se tomaron en cuenta para este trabajo.

Entonces los valores de χ^2 se obtuvieron partiendo de la hipótesis siguiente:

Ho: A y B son independientes

Ha: A y B no son independientes

Donde: A es la especie y B el rango o clase del factor ambiental.

Y la regla de decisión es: Si $\chi^2_c > \chi^2_t$, con $\alpha = 0.05$ y con un grado de libertad, se rechaza Ho, esto es, que la presencia tanto de la especie en cuestión como el factor ambiental, no ocurren aleatoriamente, sino que existe una dependencia de la especie para con el factor ambiental.

Tomando como referencia la tabla de contingencia de 2x2 del Cuadro 1, en el Excel™, se representa esta misma tabla, para obtener los valores de χ^2 , como se muestra en el Cuadro 8. En dicho cuadro en el renglón o fila número uno se colocan los valores de las clases o rangos del factor ambiental; en el segundo renglón se presentan el número de sitios con presencias para cada clase o rango; en la tercera fila se presentan las ausencias; la siguiente fila tiene las sumatorias de sitios con ausencia y presencia para cada clase o rango.

Lo anterior muestra que en las filas se tiene representada a la especie, y en las columnas al factor ambiental; formando así una tabla de contingencia de 2x2 (Cuadro 1) para cada clase o rango del factor ambiental considerado.

Cuadro 8. Tabla de contingencia en Excel™

	A	B	C	D	E	F
1		1	2	3	N	TOTALES
2	1	B2				F2
3	2	B3				F3
4	TOTALES	B4				F4
5	χ^2					

También se tiene lo siguiente:

B2, es la frecuencia donde A y B ocurren, (a).

B3, son las frecuencias donde ocurre B pero no A, (c).

F2 - B2, frecuencias donde ocurre A pero no B, (b).

F3 - B3 frecuencias donde no se encuentran A o B, (d).

F4 , es el número total de frecuencias, (N).

Por tanto.

$$m = F2$$

$$r = B4$$

$$n = F3$$

$$s = F4 - B4$$

En el quinto renglón se calculan los valores de χ^2 con la corrección de Yates, y de esta manera se prueba la independencia de las variables, o de la especie y el factor de que se trate. La fórmula utilizada en el programa es la siguiente:

$$\chi^2 = F4 * \text{Potencia} (\text{ABS}((B2*(F3-B3)) - ((F2 - B2)*B3) - (.05*F4), 2) / (F2*F3*B4(F4-B4)))$$

F2, F3 y F4, son constantes, y para este caso no se especifica la celdilla, sino el valor de ésta.

5 MAPA DE ÁREAS CON POSIBILIDAD DE PRESENCIA O ESTABLECIMIENTO DE LA ESPECIE

Una vez determinados los rangos de distribución de la especie en los distintos factores ambientales, lo siguiente fue elaborar u obtener un mapa donde estén representados todos los factores juntos, con el fin de conocer dónde están las áreas que reúnan los nueve factores estudiados; esto con el propósito de hacer predicciones en cuanto a posibles zonas de restauración, plantaciones o manejo de esta especie. El proceso para la obtención fue el siguiente:

El mapa se desarrolló en el IDRISI™ en donde todas las coberturas de factores se sometieron a un proceso de reclasificación de valores (comando ANALYSIS subcomando DATABASE QUERY y RECLASS) los cuales se cambiaron a un código binario, donde el valor 1, fue asignado a todas las categorías que intervienen en la distribución o presencia de la especie y el valor 0 a donde sucediera lo contrario. Esto se hizo con el fin de manipular los mapas mediante el proceso de álgebra de mapas, lo cual se lleva a cabo con el comando OVERLAY. Aquí lo que el sistema realiza es la multiplicación de los mapas y se efectúa con dos mapas a la vez y los pixeles con un mismo valor en ambas coberturas siguen manteniendo este mismo. El resultado es un mapa con áreas donde se definen los rangos y categorías de los factores ambientales. Cada cobertura de salida se multiplica por otra sucesivamente, hasta obtener el mapa donde aparecen todas las clases y rangos factores asociados a distribución de la especie.

El cálculo del área o superficie se realizó en el ARC VIEW™ en el comando "Tables", donde se sumaron todos los polígonos con valor 1, que son polígonos con los rangos y categorías de los factores ambientales asociados a la distribución de la especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las asociaciones entre *Pinus engelmannii* y las clases y rangos de los nueve factores ambientales se anotan en un cuadro para cada uno. Se construyen de la siguiente manera: en la primera columna se presentan los rangos o clases del factor ambiental expresados en metros, milímetros, grados centígrados, porcentajes, tipos de vegetación, unidades de suelo, textura del suelo, fase física de suelo o tipo de exposición, según sea el caso. Por ejemplo, para el factor altitud, los rangos son de 200 metros, tomando como base cero y el final en 3000.

La segunda columna con el encabezado "Presencia", ostenta valores que indican el número de sitios de muestreo donde se halló la especie. La tercera columna, denominada "Ausencia", señala el número de sitios muestreados en donde no existe *Pinus engelmannii*. En la columna número cuatro, o también llamada "totales", se exhibe el número de sitios por rango o clase (suma de las columnas dos y tres), aquí se contempla que el número de sitios para cada clase o rango no es el mismo, esto se debe al tipo de muestreo. En la quinta columna se muestran los valores calculados de χ^2 , algunos de los cuales están precedidos por un asterisco, que señala los valores significativos o mayores a χ^2 de tablas (con $\alpha = .05$), lo cual indica que existe dependencia entre la especie y el factor, los valores sin asterisco indican que no existe dependencia; en este punto se debe de tener cuidado, ya que en algunos rangos se encuentran valores que no son significativos, lo que se traduciría en que el factor y la especie son independientes, sin embargo esos valores están influenciados por el número de sitios, lo cual se explicó anteriormente. La sexta columna señala el tipo de asociación, únicamente para los valores de χ^2 que son significativos, ya sea positiva (lo que quiere decir que cuando se presente determinada clase o rango del factor ambiental, es muy probable la presencia de la especie) o negativa (cuando se presente determinado rango o clase del factor ambiental, la especie no estará presente).

Altitud

En el Cuadro 9 se muestran sitios con presencia de *Pinus engelmannii* desde 1200 hasta 2800 m de altitud, sin embargo, como resultado de este trabajo, se tiene un rango óptimo para la presencia o distribución de la especie en cuestión, el cual abarca desde los 1600 hasta los 2400 m (en negritas), obtenido de la prueba estadística. Los datos expuestos, demuestran entonces que el factor elevación o altitud sí tiene influencia en la distribución o presencia del *Pinus engelmannii*, y esto se nota al no presentarse la especie en todos los rangos. En un estudio realizado por Barton y Teeri (1993) en el cual trabajaron con *Pinus engelmannii*, descubrieron que la elevación es determinante de la especie. Para la variable que ellos midieron, que es la sobrevivencia a sequía, encontraron que la disponibilidad de humedad se incrementaba con la altitud.

García y González (1998) reportan la distribución desde los 1900 a los 2600 metros de altitud, para el estado de Durango, y Rentería (1996) menciona que ha examinado material desde los 2330 hasta los 2750 m en la reserva de la Biosfera "La Michilía", Durango; como se nota, ambos autores informan límites que se incluyen dentro del rango hallado en el presente trabajo, aunque esta última autora está más cerca al límite superior.

En un estudio de la distribución altitudinal de los miembros del género *Pinus* se menciona que en condiciones no favorables para el establecimiento de especies de la sección diploxyton de hojas largas, a la cual pertenece *Pinus engelmannii*, los de la sección haploxyton o pinos de hojas cortas, logran alcanzar la dominancia, debido a que estos sitios son usualmente caracterizados por baja disponibilidad de humedad y alto potencial o proporción de evapotranspiración (Yeaton, 1982). En este estudio compara a dos especies de la sección diploxyton: *Pinus engelmannii* y *P. cooperi* (Blanco, 1949), y se nota que existe un rango donde ambas especies se encuentran juntas; sin embargo después de los 2500 metros de altitud la abundancia de la primera especie disminuye y la segunda empieza a aumentar (Yeaton, 1982). Esto nos demuestra los diferentes requerimientos de altitud de las dos especies

Cuadro 9. Resultado de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor altitud en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Rangos de Altitud m.	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
\geq <					
0 - 200	0	2	2	0.083	n.s.
400 - 600	0	2	2	0.083	n.s.
600 - 800	0	14	14	*6.045	-
800 - 1000	0	9	9	3.393	n.s.
1000 - 1200	0	14	14	*6.045	-
1200 - 1400	1	1	2	0.083	n.s.
1400 - 1600	1	13	14	3.587	n.s.
1600 - 1800	36	21	57	*20.082	+
1800 - 2000	40	48	88	*4.355	+
2000 - 2200	130	119	249	*41.099	+
2200 - 2400	177	227	404	*21.266	+
2400 - 2600	54	233	287	*40.275	-
2600 - 2800	1	100	101	*53.360	-
2800 - 3000	0	26	26	*12.569	-
TOTAL	440	829	1269		

m = metros; n.s. =no significancia.

Pendiente

La pendiente afecta la distribución de la vegetación, ya sea directa o indirectamente (Braun-Blanquet, 1950). En forma indirecta la pendiente afecta la composición, desarrollo y productividad de las comunidades vegetales, ya que influye o condiciona el desarrollo del suelo y sus propiedades (Spurr y Barnes, 1982) que es donde se nutren y están ancladas.

Lo anterior puede contraponerse a lo que se observa en el Cuadro 10, que para ningún tipo de pendiente existe una afinidad o asociación por parte de la especie. Como lo muestra la prueba estadística, no existe dependencia de ningún tipo.

Lo que se rescata de este cuadro es que el número de sitios con presencia de *Pinus engelmannii* disminuye a medida que la pendiente se hace más abrupta, teniendo el mayor número, como se contempla, en pendientes de 0 a 5%, estos resultados pueden dar a entender que es una especie que tiene más afinidad por terrenos con pendientes suaves, por lo menos en esta parte de la Sierra Madre Occidental.

Cuadro 10. Resultado de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor pendiente en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Rangos de pendiente %.	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
\geq <					
0 - 5	167	332	499	.444	n.s.
5 - 10	96	163	259	.696	n.s.
10 - 20	80	164	244	.377	n.s.
20 - 30	48	75	123	.936	n.s.
30 - 40	26	35	61	1.438	n.s.
40 ó más	23	60	83	1.585	n.s.
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

Exposición

En el Cuadro 11 se muestra la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor exposición, y se contempla que en ocho clases de exposición no se encuentra dependencia entre éstas dos variables; sólo para el caso de la exposición Norte Noreste se encuentra significancia (en negritas), sin embargo esta asociación es negativa; este resultado de dependencia negativa puede deberse a que la especie se desarrolla en lugares con características diferentes a la exposición Norte (mayor humedad y poco soleada). La afirmación anterior concuerda con lo que Rzedowski (1978) encontró en Jalisco, donde *Pinus engelmannii* se establece en bosques de tipo seco, o lo que afirma para la Sierra Madre Occidental en la parte de Chihuahua, en que las porciones orientales (Este) son más secas por lo que ahí se aprecian rodales de la especie. También Perry (1991) lo describe para pendientes secas de las montañas de esa región.

García y González (1998) y Rentería (1996) no asocian a la especie con algún tipo de exposición; lo anterior no quiere decir que la exposición no tenga influencia en absoluto en la vegetación. Spurr y Barnes (1982) señalan que las elevaciones orientadas hacia el Norte (para el hemisferio Norte), reciben menos luz solar e invariablemente son más frías y húmedas, lo cual influye en el desarrollo de la vegetación; además el número de especies y su abundancia varía de exposición a exposición (Yeaton, 1982).

Del párrafo anterior se puede deducir que aunque es obvia la influencia de la exposición en la distribución de las especies, existen algunas capaces de prosperar en cualquier tipo, algo análogo a lo que sucede con las plantas llamadas cosmopolitas (Anónimo, 1998).

Cuadro 11. Resultados de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor exposición en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Exposición	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
Cenital	12	27	39	0.122	n.s.
NNE	31	96	127	*6.070	-
ENE	69	123	192	0.101	n.s.
ESE	48	91	139	0.003	n.s.
SSE	55	94	149	0.270	n.s.
SSW	49	87	136	0.066	n.s.
WSW	69	126	195	0.021	n.s.
WNW	64	92	156	2.857	n.s.
NNW	43	93	136	0.486	n.s.
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

Es notorio que el número de sitios es hasta cierto grado homogéneo, excepto en la exposición cenital (lo cual es lógico para esta zona escarpada, típica de la Sierra Madre Occidental). Las demás clases están por encima de los cien sitios, lo cual representa de un 10 a un 15 % del total de sitios de toda el área. Esto le da más peso al resultado de no asociación por ninguna exposición , excepto a la más húmeda (N N E) como ya se explicó.

Temperatura media anual

El Cuadro 12 muestra los resultados de la dependencia entre la especie en cuestión y las temperaturas medias anuales del área; como se nota, los rangos a los que mejor estuvo asociada es de 12 a 14 y de 14 a 16 °C (en negritas). Los datos anteriores son similares a los que Eguiluz (1978) muestra para esta especie: 14°C, y en algunas regiones entre 11 y 13.

Cuadro 12. Resultados de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor temperatura media anual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Rangos de Temperatura Media anual. °C	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
\geq <					
8 - 10	31	117	148	*13.260	-
10 - 12	218	451	669	2.5292	n.s.
12 - 14	133	132	265	*34.738	+
14 - 16	54	40	94	*22.172	+
16 - 18	3	46	49	*17.054	-
18 - 20	1	10	11	2.1679	n.s.
20 - 22	0	7	7	2.3552	n.s.
22 - 24	0	26	26	*12.5689	-
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

Se nota que para el resto de los rangos la especie tiene una asociación negativa y en otros casos no es significativa. El mayor número de los sitios muestreados se presenta en el rango de los 10 a 12 °C. Sin embargo algo notorio es que la especie no presenta significancia, lo cual se traduce en que no existe dependencia de la misma a ese factor para este rango.

Lo rescatable aquí es que la prueba estadística marca dos rangos o clases bien definidos de asociación, lo que puede dar prueba de que la especie sí está influenciada por el factor temperatura. Esto último tiene relación con lo que Daubenmire (1982) menciona: "existen pruebas de que los límites superiores de muchas plantas localizadas en las laderas de las montañas se determinan por la eficiencia de la temperatura". Además las especies de climas

templados o fríos son incapaces de vegetar o establecerse en regiones de temperatura elevada (Cabrera y Willink, 1973).

Precipitación media anual

Los resultados del Cuadro 13 asocian positivamente la distribución del *Pinus engelmannii* con la precipitación en rangos de 600 a 800 mm, y de 1000 a 1500 (en negritas), dos valores negativos y uno sin significancia.

En el caso de los valores positivos, son similares a los que plasma Eguiluz (1978) en donde afirma que esta especie se distribuye en áreas con precipitación de 500 hasta 1400mm, pero que los mejores ejemplares se ubican entre los 600 y 900. Richardson y Rundel (1998) también tratan sobre la distribución de *Pinus engelmannii* mezclado con otros pinos en la Sierra Madre Occidental, con precipitaciones de 600 a 700 mm anuales. Para el presente trabajo, es notorio un "brinco" en el rango de 800 a 1000, que podría deberse posiblemente, a que en áreas con esta precipitación, se haya eliminado esta especie para el establecimiento de otros tipo de vegetación o uso del suelo. Esto puede deducirse, ya que aunque el número de sitios levantados es alto (37% del total), la proporción de ausencias también lo es para ese rango.

Cuadro 13. Resultados de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor precipitación media anual en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Rangos de Precipitación Media anual.	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
<u>≥</u> <					
400 - 500	3	62	65	*25.945	-
500 - 600	36	50	86	1.777	n.s.
600 - 800	176	249	425	*12.368	+
800 -1000	133	348	481	*16.368	-
1000 - 1200	79	113	192	*3.855	+
1200 - 1500	13	7	20	*6.947	+
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

Al observar la asociación negativa para el rango de 800 a 1000, según los datos, se deduce que cuando se presente esa cantidad de lluvia, la especie no se presenta; sin embargo no debería asociarse tajantemente la acción directa del factor, sino que puede interpretarse como que la asociación estadística es falsa. Esto puede ocurrir debido a que, como se nota, aunque el número de sitios es alto existen más ausencias que presencias.

La influencia de la precipitación ha sido estudiada por muchos autores. Un estudio realizado por Valdez (1981) muestra que el pino piñonero está íntimamente relacionado con la precipitación, y menciona rangos en los cuales pasando los límites, esta comunidad cambia, dando lugar a otra.

Unidades de suelo

Como resultado de la asociación de la especie con las unidades de suelo, en el Cuadro 14 se muestra que aunque se localizan sitios con presencia de individuos de *Pinus engelmannii* en la mayoría de las unidades de suelo, éste muestra una asociación positiva o afinidad con 6 de ellas: feozem háplico, feozem lúvico, litosol, luvisol crómico, luvisol órtico y vertisol pélico (en negritas), aunque como se nota, por el número de sitios, la especie está mejor representada en primer lugar en el feozem háplico y en segundo lugar por el litosol, que son las unidades más representativas del área (ocupan el 57.92% del total de la superficie estimada), además que tienen como características principales una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes a demás de ser profundos en el caso de los feozem; y fértiles por el material que los forma haciendo referencia a los litosoles.

Las cuatro unidades restantes de luvisoles (suelos no muy ácidos) y vertisoles (suelos pesados o arcillosos) que tienen una asociación positiva, son muy poco representativas en el área, sin embargo poseen características que son de beneficio para la especie en cuestión. No es que tengan una asociación menor por su influencia directa en la especie, sino que, por su superficie, sólo pocos sitios se localizan en ese tipo de unidades de suelo.

Cuadro 14. Resultado de la asociación del *Pinus engelmannii* con unidades de suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Unidades de suelo.	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
Cambisol éútrico	0	1	1	0.104	n.s.
Cambisol vértico	1	4	5	0.048	n.s.
Feozem háplico	211	318	529	*10.495	+
Feozem lúvico	7	2	9	*5.642	+
Litosol	74	97	171	*6.024	+
Fluvisol éútrico	3	0	3	3.144	n.s.
Luvisol crómico	29	22	51	*10.553	+
Luvisol órtico	8	2	10	*7.237	+
Regosol éútrico	86	365	451	*74.147	-
Vertisol pélico	18	12	30	*7.594	+
Xerosol lúvico	3	6	9	0.071	n.s.
TOTAL	440	829	1269		

n.s =no significancia.

Para el caso de las unidades que no resultaron significativas, puede atribuirse a lo poco distribuidas que están en el área de estudio, ya que representan en conjunto un 5.08%.

Por lo anterior, se observa que el tipo, o unidad de suelo, sí tiene influencia en la distribución del *Pinus engelmannii*, pues no en todas las unidades existentes en el área se desarrolla. Además como se nota en el caso de la unidad regosol éútrico (con un 25.75 % de distribución en el área), aunque el número de sitios es alto, mayor a litosol y cercano a feozem, se tiene una asociación negativa, lo cual concuerda con la descripción que hace el INEGI (1990) al referirse al hecho de que no es un suelo muy favorable para la vegetación forestal.

En el estudio de Rentería (1996), se señalan tipos de suelo similares a los encontrados en el área de estudio: litosoles, feozem, luvisoles y cambisoles.

Textura del suelo

Como se muestra en el Cuadro 15, la textura fina del suelo tiene influencia positiva (en negritas) sobre la distribución del *Pinus engelmannii*. Lo anterior indica que cuando se presente un suelo con características de mal drenaje o poca porosidad, la especie puede presentarse o ser factible a establecerse; lo contrario ocurre en la textura media, ya que cuando existen suelos con un poco más de contenido de limo, la especie no está, aquí cabe aclarar que la prueba estadística puede estar alterada o influida por el número de sitios, ya que como se nota, para esta clase textural, el número de sitios de presencia es menor a los de ausencia, aunque en esta clase esté representado el mayor porcentaje de sitios de muestreo (95%). Para el caso de la textura fina ocurre lo contrario, pues las presencias son mayores a las ausencias. Es válido también aclarar que las escalas de las cartas muestran diferente grado de detalle. Para el caso de la escala 1:1000 000 con la que se realizó este trabajo (edafología solamente), muchas veces aparecen reunidas dos o tres unidades, debido a que no es posible separarlas como en una escala 1:50 000 (INEGI, 1990), esto hace que se subestimen algunas.

Cuadro 15. Resultado de la asociación del *Pinus engelmannii* con el factor textura del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Textura	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
Media	406	806	1212	*15.302	-
Fina	34	23	57	*15.302	+
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

La textura del suelo es extremadamente importante, ya que la calidad del sitio también queda influenciada desde el punto de vista químico. Las partículas de arcilla o "micelas" presentan las mayores superficies de adsorción desde las cuales pueden ser liberados los nutrientes a las raíces (intercambio de bases). Según Pritchett (1986) los suelos con mayor contenido de arcilla y limo sostienen árboles que demandan una alta disponibilidad de humedad y nutrientes.

Fases físicas del suelo

En los resultados del Cuadro 16 se observa una afinidad de la especie por la condición "sin fase física" (en negritas) y una dependencia negativa por la fase física pedregosa. Esto último pudiera parecer contradictorio a lo que algunos autores (García y González, 1998; Rentería, 1996; Rzedowski, 1978) han reportado, ya que ellos asocian a la especie con suelos rocosos o pedregosos. Lo anterior puede atribuirse al tipo de escala a la cual se trabajó (1: 1000 000, para edafología), pues en ésta carece de información de fase física en los primeros 50 cm de profundidad, entonces estos resultados arrojan información para fases físicas de 50cm hasta un metro.

Cuadro 16. Resultado de la asociación del *Pinus engelmannii* y las fases físicas del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Fase física	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
Sin fase física	124	149	273	*17.141	+
Gravosa	3	11	14	0.585	n.s.
Lítica	289	552	841	0.069	n.s.
Pedregosa	24	117	141	*20.952	-
TOTAL	440	829	1269		

n.s. =no significancia.

La fase física gravosa (de tipo superficial), no resultó significativa, esto es un caso similar al discutido en el párrafo anterior, y para la fase lítica tampoco resulto significativa y esto puede atribuirse a que es una fase de profundidad (50cm a 1m) y la mayoría de los suelos de esta región no cumplen con esta característica para llegar a fases de ese tipo.

Tipos de vegetación y uso del suelo

Según se describe en el Cuadro 17, el *Pinus engelmannii* esta asociado positivamente a seis tipos de vegetación, los cuales a continuación se describen en orden de importancia, en base al número de sitios muestreados por tipo de vegetación: bosque de pino-encino, bosque de

encino-pino, bosque de encino, bosque de pino-encino con vegetación secundaria, pastizal inducido y bosque de encino con vegetación secundaria (en negritas).

Cuadro 17. Resultado de la asociación de *Pinus engelmannii* con tipos de vegetación y uso del suelo en la Sierra Tarahumara de Chihuahua, México.

Tipo de Vegetación	Presencia	Ausencia	Total	χ^2	Tipo de asociación
Agricultura de riego	4	13	17	0.511	n.s.
Agricultura de temporal	39	98	137	2.313	n.s.
Bosque bajo abierto	0	7	7	2.355	-
Bosque de encino	31	13	44	*24.154	+
Bosque de encino con vegetación secundaria	23	6	29	*24.129	+
Bosque de encino - pino	32	13	45	*25.705	+
Bosque de encino-pino con veg. secundaria	5	19	24	1.493	n.s.
Bosque de pino	126	465	591	*85.977	-
Bosque de pino con vegetación secundaria	15	22	37	0.343	n.s.
Bosque de pino-encino	112	72	184	*63.856	+
Bosque de pino-encino con veg. secundaria	24	15	39	*11.627	+
Matorral subtropical	0	26	26	*12.569	-
Pastizal inducido	24	14	38	*12.766	+
Pastizal natural	2	42	44	*16.913	-
Selva baja caducifolia	0	3	3	0.430	n.s.
Vegetación halófila	0	1	1	0.104	n.s.
Bosque de pino - encino (E)	3	0	3	3.144	n.s.
TOTAL	440	829	1269		

n.s =no significancia.

Como se observa, la especie se distribuye asociada a tipos de vegetación, lo que concuerda con lo expuesto por autores como González-Elizondo *et al.* (1993) donde para la reserva de la biósfera " La Michilía" en Durango, lo reportan en bosques de pino, bosques de pino-encino, y bosques de encino-pino, tipos de vegetación similares a los de este trabajo.

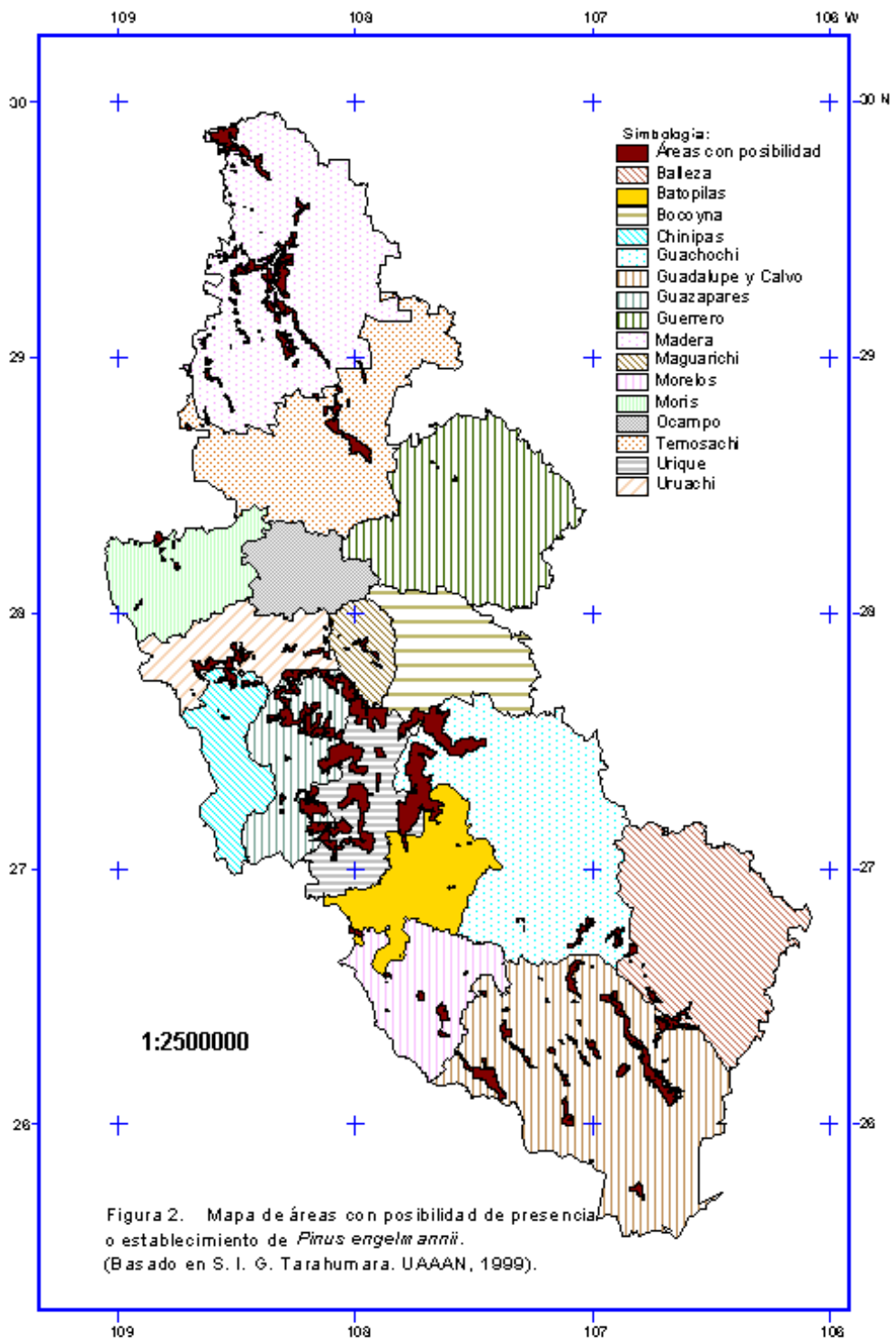
Casas *et al.* (1995) reportan que en un bosque de *Quercus - Juniperus -Pinus*, de diez especies arbóreas y dos arbustivas registradas, los dominantes fisonómicos son: *Pinus chihuahuana* y *P. engelmannii*, datos que muestran los diferentes tipos de vegetación en los cuales se distribuye esta última especie.

Con los datos anteriores y la amplia información que muestra Rzedowski (1978) en su libro "Vegetación de México", se deja en claro que esta especie tiene afinidad y se distribuye en determinados tipos de vegetación como el bosque de encino o mezclado con otras especies, por ejemplo, lo que es confirmado en este trabajo realizado en la Sierra Tarahumara.

La presencia de *Pinus engelmannii* se observó en varios lugares del recorrido con presencia de pastizales, esto ocurre debido a que este pino prefiere lugares con pendientes suaves, características aptas para el establecimiento de pastos para la ganadería.

Distribución de áreas con posibilidad de presencia o establecimiento de la especie

La Figura 2 muestra posibles áreas de distribución o de establecimiento de la especie, lo que puede significar zonas donde prospera de forma natural o donde se puede establecer artificialmente con un alto grado de éxito. En estas áreas se encuentran reunidos las clases y rangos óptimos de los diferentes factores ambientales, ocupando en conjunto una superficie de 3089.70 km² (lo que representa un 4.33% del total de la superficie del área de estudio). Como se nota, los municipios con más posibilidad son: Madera, Guazapares, Urique, Uruachi, Guadalupe y Calvo, Guachochi; y en menor grado: Temosachi, Chinipas, Maguarichi, Bocoyna, Batopilas, Morelos, Balleza, Moris y Guerrero.



Esta Figura 2 se realizó de acuerdo con los objetivos de localizar o conocer la distribución espacial de las áreas con posibilidad o presencia de la especie, lo cual puede servir de referencia para trabajos de manejo o plantaciones, ya sea de tipo comercial o de restauración. El mapa es un panorama general del lugar en el que la mayoría de los factores ambientales se conjugan.

Como se pudo notar es este capítulo, en la mayoría de los casos existió asociación entre las clases y rangos de los factores ambientales y la especie, situación que avalan diversos autores como: García y González (1998), Gonzáles-Elizondo *et al.*(1993), Perry (1991), Rentería (1996) y Yeaton (1983) tanto en áreas dentro de la región de estudio como en otras.

Sin embargo hay que dejar en claro que en este caso se estudiaron los factores de manera independiente, lo cual no es común en la naturaleza, por ejemplo Yeatón (1982) anota que la precipitación se incrementa mientras la temperatura decrece con el incremento de la altitud, lo cual muestra una interacción entre los tres factores, por citar un caso.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo se concluye lo siguiente:

- En su mayoría, las clases y rangos de los factores ambientales estudiados tienen influencia en la distribución de *Pinus engelmannii* en la región Tarahumara del estado de Chihuahua, México con los siguientes valores:

Altitud: 1600 a 2400 msnm.

Temperatura media anual: 12 a 16°C.

Precipitación: 600 a 1500.

Unidades de suelo: Feozem háplico
Feozem lúvico
Litosol
Luvisol crómico
Luvisol órtico
Vertisol pélico.

Textura del suelo: Fina.

Fases físicas del suelo: Sin fase.

Tipos de vegetación: Bosque de encino
Bosque de encino con vegetación secundaria
Bosque de encino-pino
Bosque de pino-encino
Bosque de pino encino con vegetación secundaria
Pastizal inducido.

- El presente trabajo es confiable, lo cual es evidente al comparar los resultados con los de otros autores que han trabajado con esta especie, tanto en el área de estudio como en otras regiones.
- La metodología utilizada en todas las fases del proyecto (muestreo, toma de datos, procesamiento de datos y análisis estadísticos) en general fue práctica, y fácil de aplicar.
- Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta útil para trabajos relacionados con la ecología de las especies y su cartografía.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que establezcan las influencias de interrelaciones entre factores ambientales. La distribución de las especies, obviamente, es resultado de esas influencias.
- Evaluar los factores bióticos, ya que juegan un papel importante en la distribución de las especies.
- Si bien es cierto que los valores medios permiten realizar inferencias acerca del desarrollo de las plantas, es recomendable llevar a cabo estudios donde se tomen en cuenta los valores críticos de distribución o tolerancia, sobre todo en cuanto a temperatura y precipitación.
- Utilizar el mapa de distribución espacial de áreas con posibilidad de establecimiento de la especie como referencia para trabajos de manejo o plantaciones.
- Cartografiar con escalas mayores para tomar en cuenta un amplio número de detalles principalmente en lo que se refiere a suelos.
- Realizar trabajos con la metodología presentada ya que, por medio de ésta, se puede adquirir conocimiento de distribución de especies, sobre todo aquellas que están en status de conservación, y las de mayor importancia tanto económica como ecológica.
- Se recomienda hacer uso de los Sistemas de Información Geográfica como una herramienta ya que nos permiten realizar trabajos confiables, de buena calidad y de forma práctica.

LITERATURA CITADA.

- Anónimo. 1981. Guía de planeación y control de las actividades forestales. Fondo de Cultura Económica. SEP. México. 189 pp.
- _____. 1998. Atlas de biología. los mecanismos de la vida. Cultural S.A. Madrid, España. 112 pp.
- Álvarez, J. R. 1993. Enciclopedia de México. Enciclopedia Británica de México, S.A. Tomos: IV: 2128 y XIII: 7569. Tauton, E.U.A.
- Barton, A. M. y J. A. Teeri. 1993. The ecology of elevational positions in plants: drought resistance in five montane pine, species in southeastern Arizona. American Journal of Botany 80 (1): 15 - 25.
- Blanco, C. E. 1949. *Pinus cooperi* Blanco *sp nov.* An. Inst. Biol. Mex. 20(1y2): 185.
- Braun-Blanquet, J. 1950. Sociología vegetal. Estudio de las comunidades vegetales. ACME agency. Buenos Aires, Argentina. 444 pp.
- Bosque S., J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp. Madrid, España. 451 pp.
- Bosque S., J., F. J. Escobar M., E. García H. y M. J. Salado G. 1994. Sistemas de Información Geográfica: prácticas con pc Arc/Info e Idrisi. Editorial Ra-Ma. España. 480 pp.
- Businský, R., M. Kučera y A. N. Svoboda. 1983. Genus *Pinus* L. In: Index Seminum Plantarumque, 19: 33-60. Published by the Institute of Botany Czechoslovak Academy of Sciences. Pruhonice, Czechoslovak.

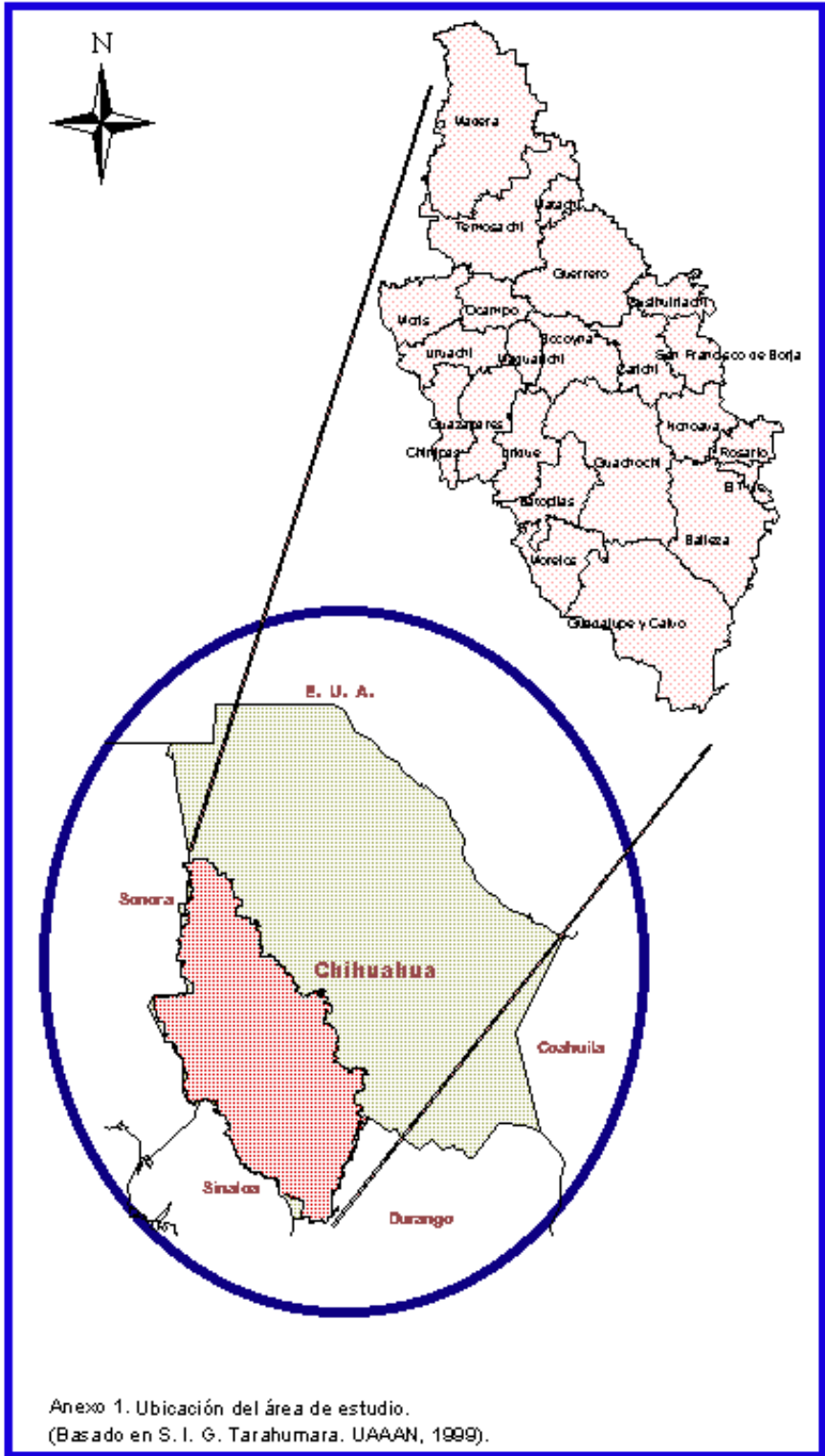
- Cabrera, A. L. y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Washington, D. C. 120 pp.
- Casas S.,R., S. González E. y J.A. Tena F. 1995. Estructura y tendencias sucesionales en vegetación de clima templado semiseco en Durango, México. *Madroño* 42 (4): 501-515.
- CONABIO. 1998. La diversidad biológica de México, estudio de país. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Diversidad. México. 341 pp.
- Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-minera del estado de Chihuahua. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas. México. 297 pp.
- Daubenmire, R. F. 1982. Ecología vegetal. Tratado de autoecología de plantas. Limusa. México, D.F. 496 pp.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 pp.
- Freese, F. 1969. Muestreo forestal elemental. Centro Regional de Ayuda Técnica. Boletín de Agricultura No. 232. México. 96 pp.
- García A., A. y M. S. González E. 1998. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A. C. México. 180 pp.
- González-Elizondo, S., M. González E. y A. Cortés-Ortiz. 1993. Vegetación de la reserva de la biósfera "la Michilía", Durango, México. *Acta Botánica* (22): 1 - 104.

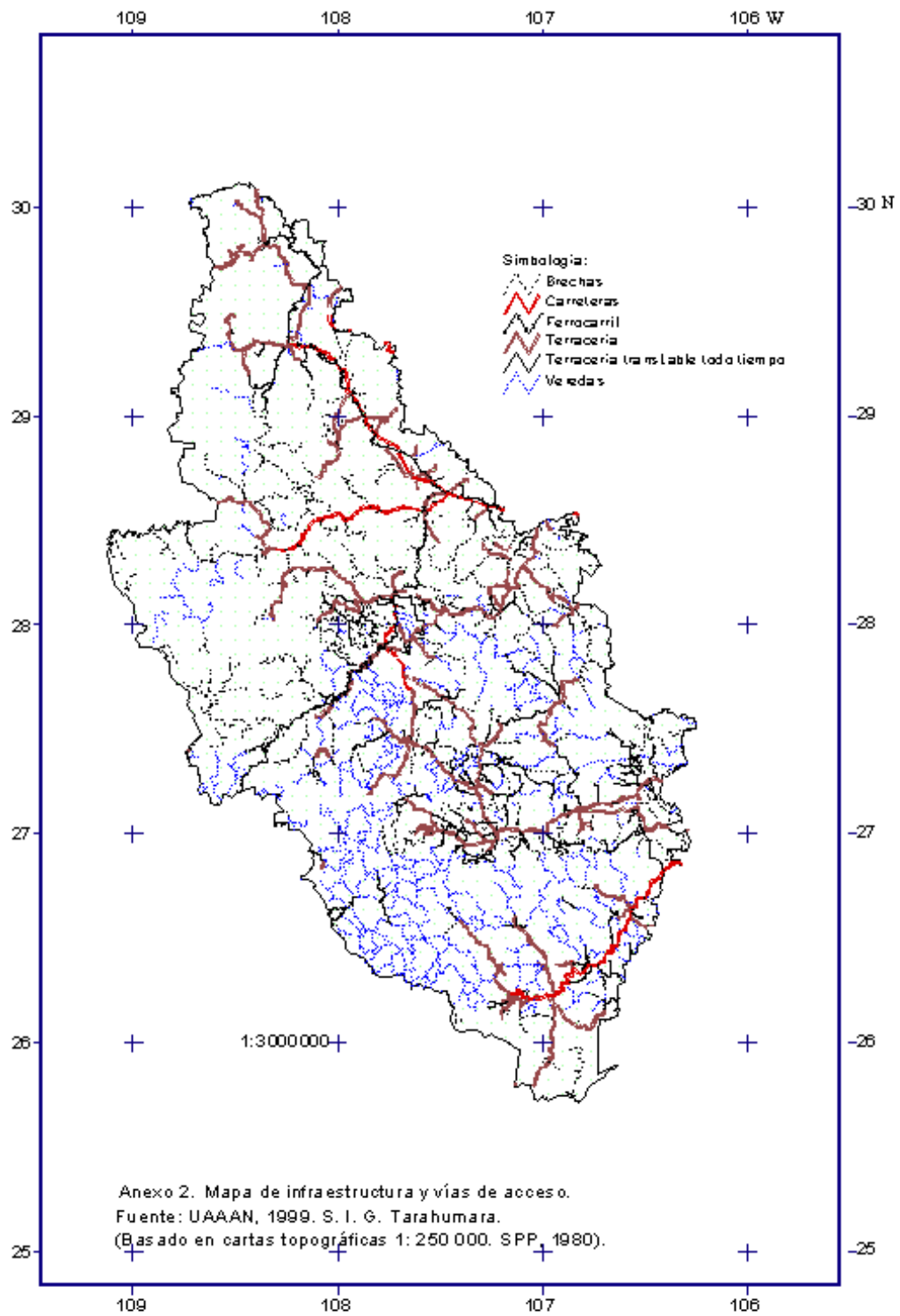
- INEGI 1990. Guías para la interpretación de cartografía, Edafología. Reimpreso de SPP (1981). Aguascalientes, México. 48 pp.
- INEGI. 1985. Cartas usos del suelo y vegetación. claves H12-9, H12-12, H13-10, H13,7, G12-3, G12-6, G13-1, G13-4, G13-7. escala 1:250,000.
- León G., R. 1992. Misiones jesuitas en la Tarahumara siglo XVIII. Universidad Autónoma de Chihuahua. Estudios Regionales 6. Chihuahua, México. 177 pp.
- Ludwig, J. A. y J. F Reynolds. 1988. Statics Ecology: a primer on methods and computing. John Wiley and sons. New York, U.S.A. 337 pp.
- Maisel, L. 1973. Probabilidad y estadística para ingenieros. Fondo Interamericano. Universidad Nacional de Colombia. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 280 pp.
- Martínez, M. 1979. Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México. 1220 pp.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de los Estados Americanos. Washington, D.C. 168 pp.
- Passini, M. and N. Pinel. 1989. Ecology and distribution of *Pinus lagunae* in the Sierra de la Laguna, Baja California Sur, México. Madroño 36(2): 84 - 92.
- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber press. Portland, Oregon. 231 pp.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelo forestales, propiedades conservación y mejoramiento. Limusa, México. 634 pp.

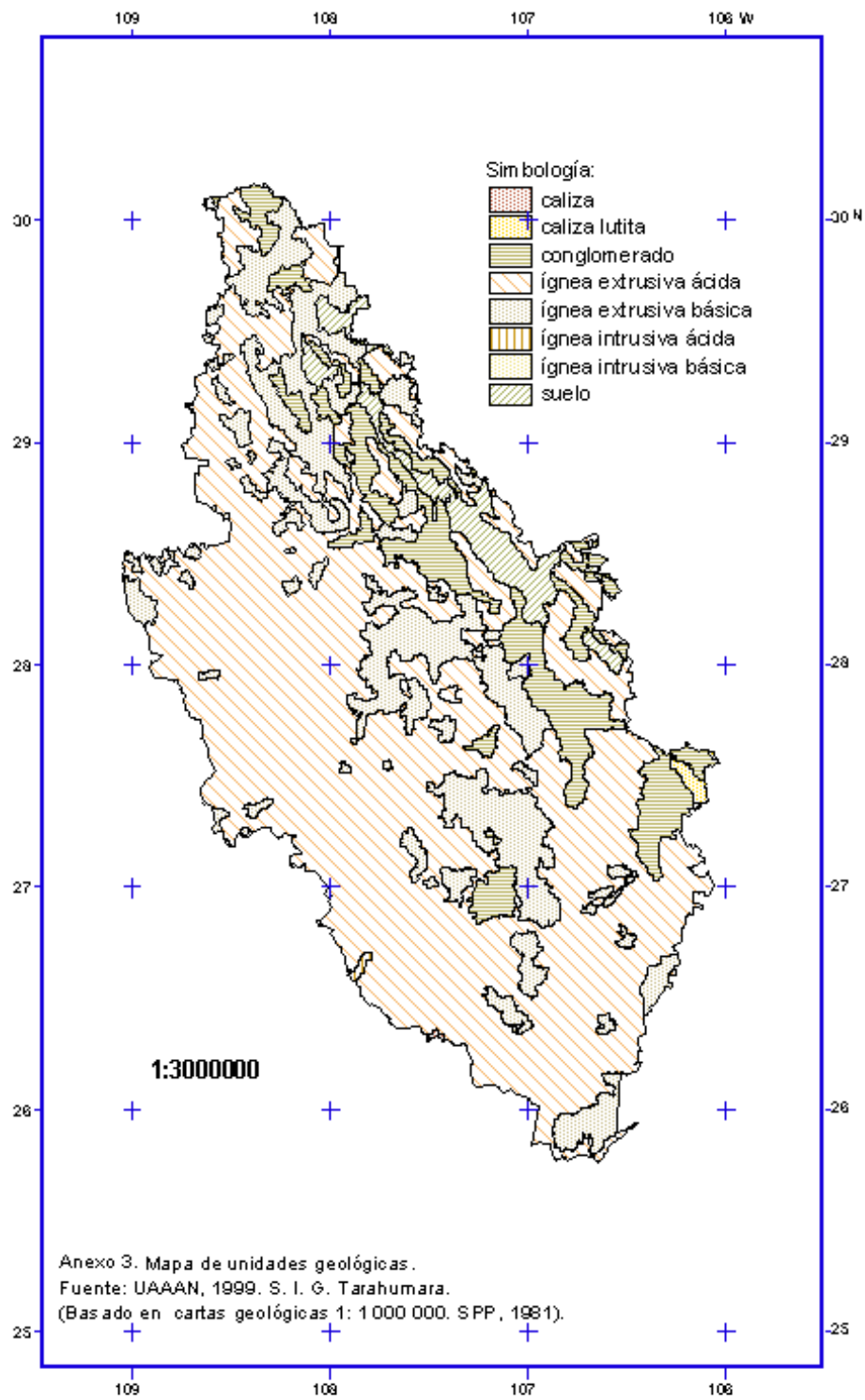
- Rentería A., L. I. 1996. Estudio taxonómico de las coníferas de la reserva de la biósfera “la Michilía”. Tesis profesional. Universidad Juárez del estado de Durango. Durango México. 92 pp.
- Richardson, D.M. and P.W. Rundel. 1998. Ecology and Biogeography of *Pinus*: an introduction. in D.M. Richardson (ed.). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. pp 3-46.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- SEDESOL. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-1994. Diario Oficial de la Federación, Tomo CDLXXXVIII, No. 10, 16 de mayo. pp. 2 - 56.
- Snedecor, G. W. y W. G. Cochran. 1987. Métodos estadísticos. CECSA. México D. F. 703 pp.
- SPP. 1980. 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.
- SPP. 1981a. Cartas edafológicas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. escala 1:1,000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981b. Cartas geológicas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. escala 1:1,000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981c. Cartas hidrológicas aguas subterráneas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. escala 1:1,000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1982. Cartas fisiográficas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. escala 1:1,000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT Editor. México, D.F. 690 pp.

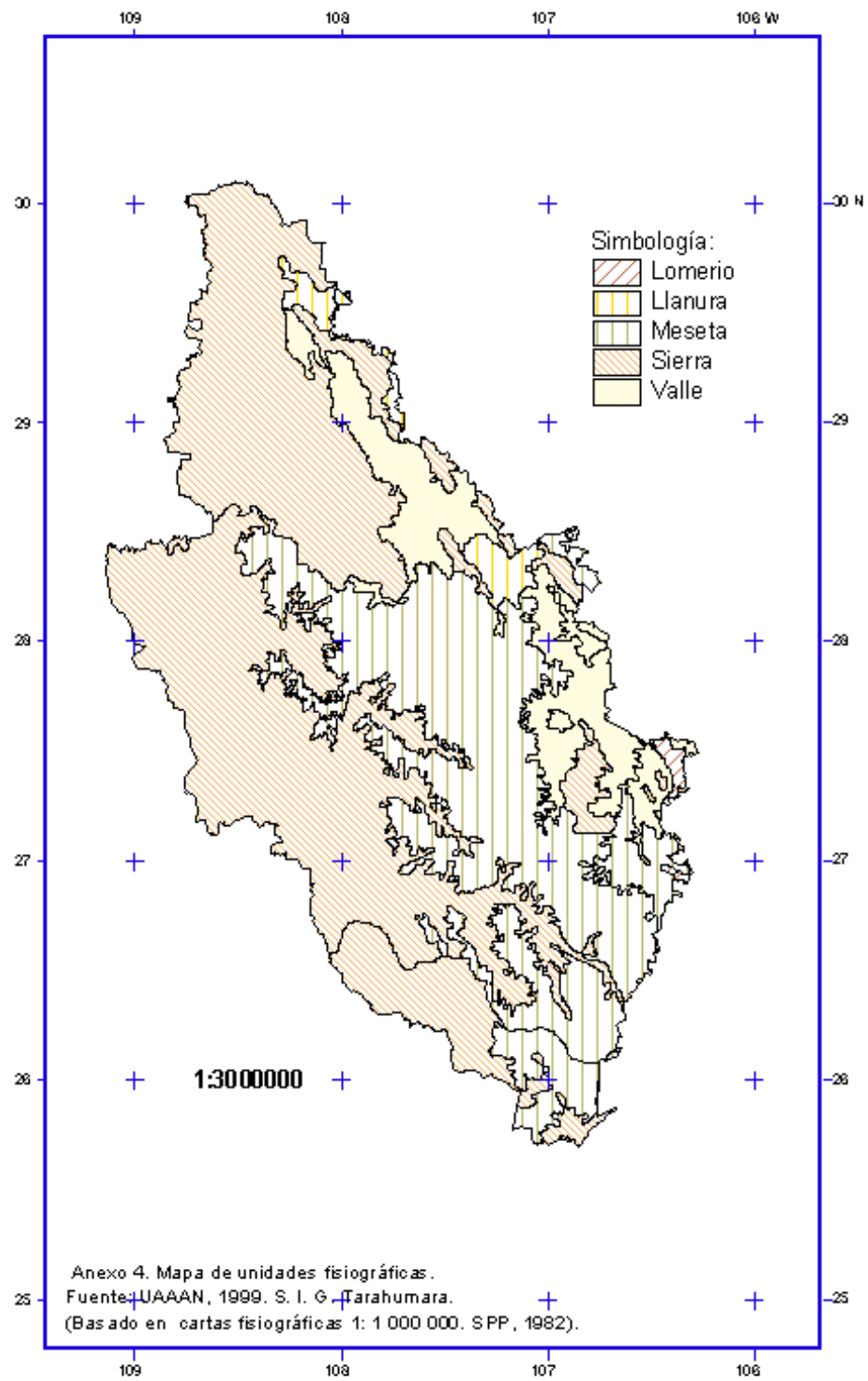
- UAAAN. 1999. Estudio de impacto ambiental en la región Tarahumara, Chihuahua. Dirección de Desarrollo Regional de la SAGAR. Banco Mundial. México 231 pp.
- UNAM. 1970. Cartas de climas. claves 13R-III, 13R-V, 12R-II, 12R-IV, 12R-VI. Escala 1:500,000. Secretaría de la Presidencia Dirección de Planeación. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- Valdez T., V. 1981. Contribución al conocimiento de los tipos de vegetación, su cartografía y notas florístico-ecológicas del municipio de Santiago, N. L. México. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. 204 pp.
- Yeaton, R. I. 1982. The altitudinal distribution of the genus *Pinus* in the western United States and Mexico. Boletín de la Sociedad Botánica de México 42: 55 - 71.
- Yeaton R., R. W. Yeaton, y J. P. Waggoner. 1983. Changes in morphological characteristics of *Pinus engelmannii* over an elevational gradient in Durango, México. Madroño 30(3): 168– 175.

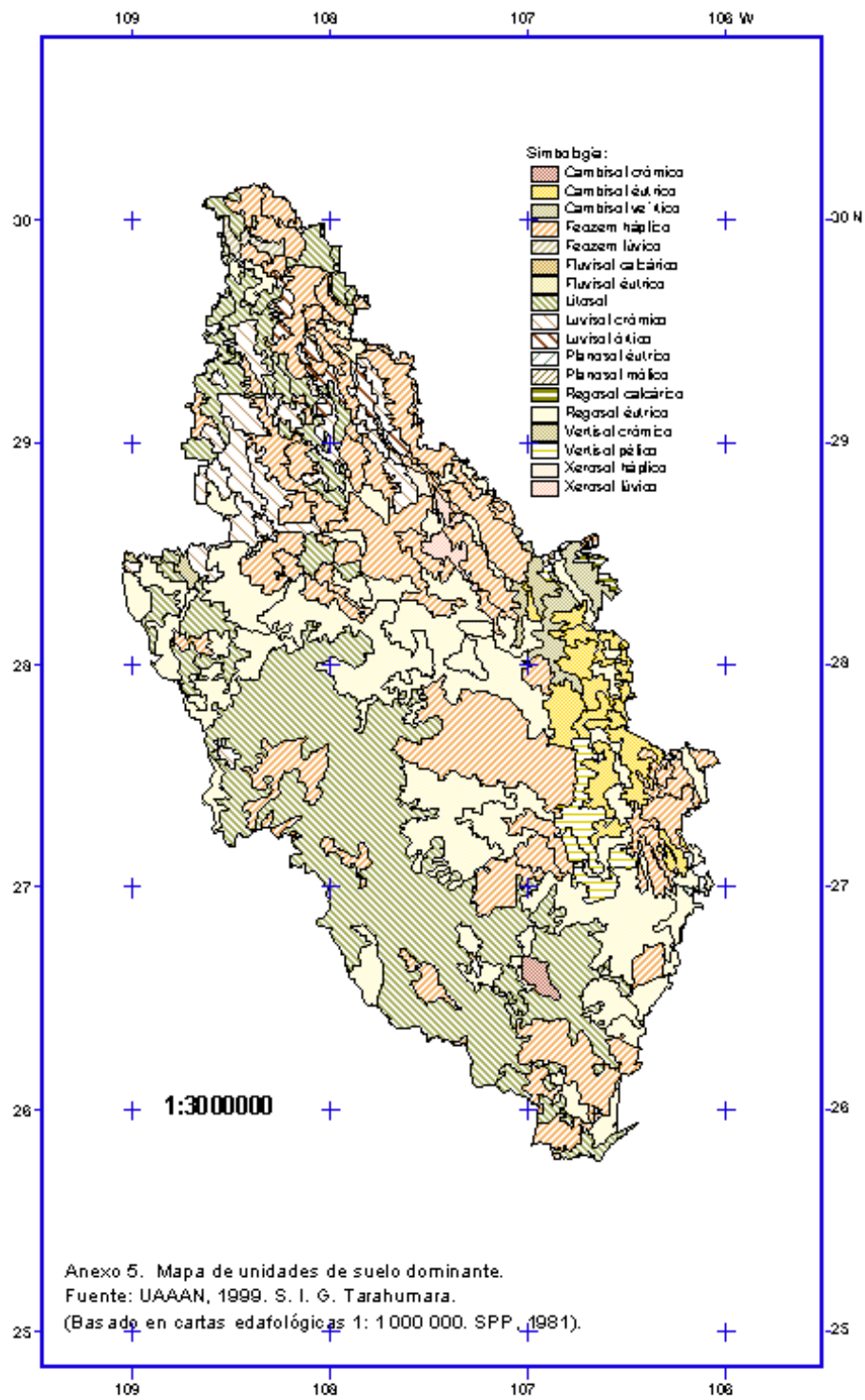
ANEXOS

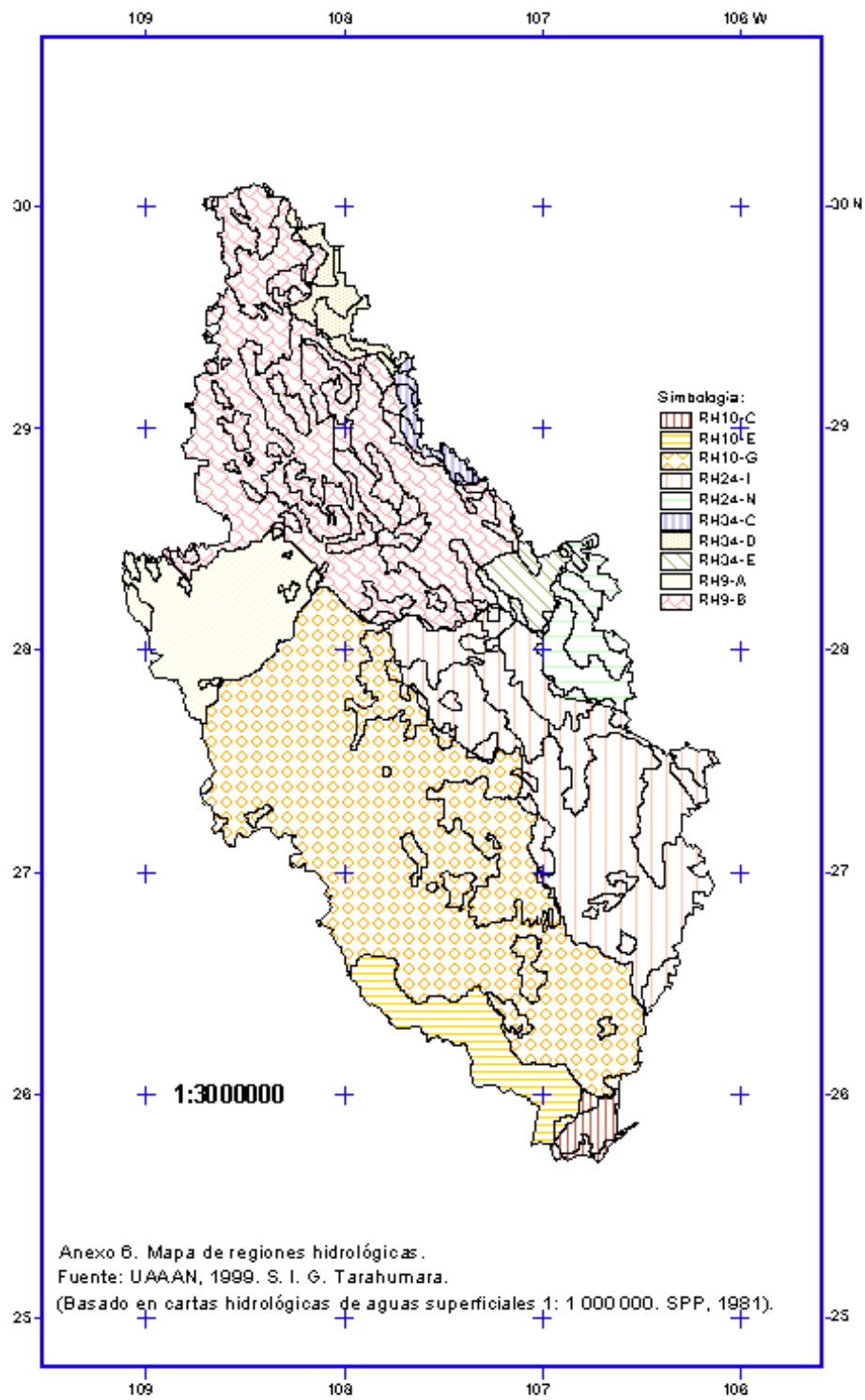


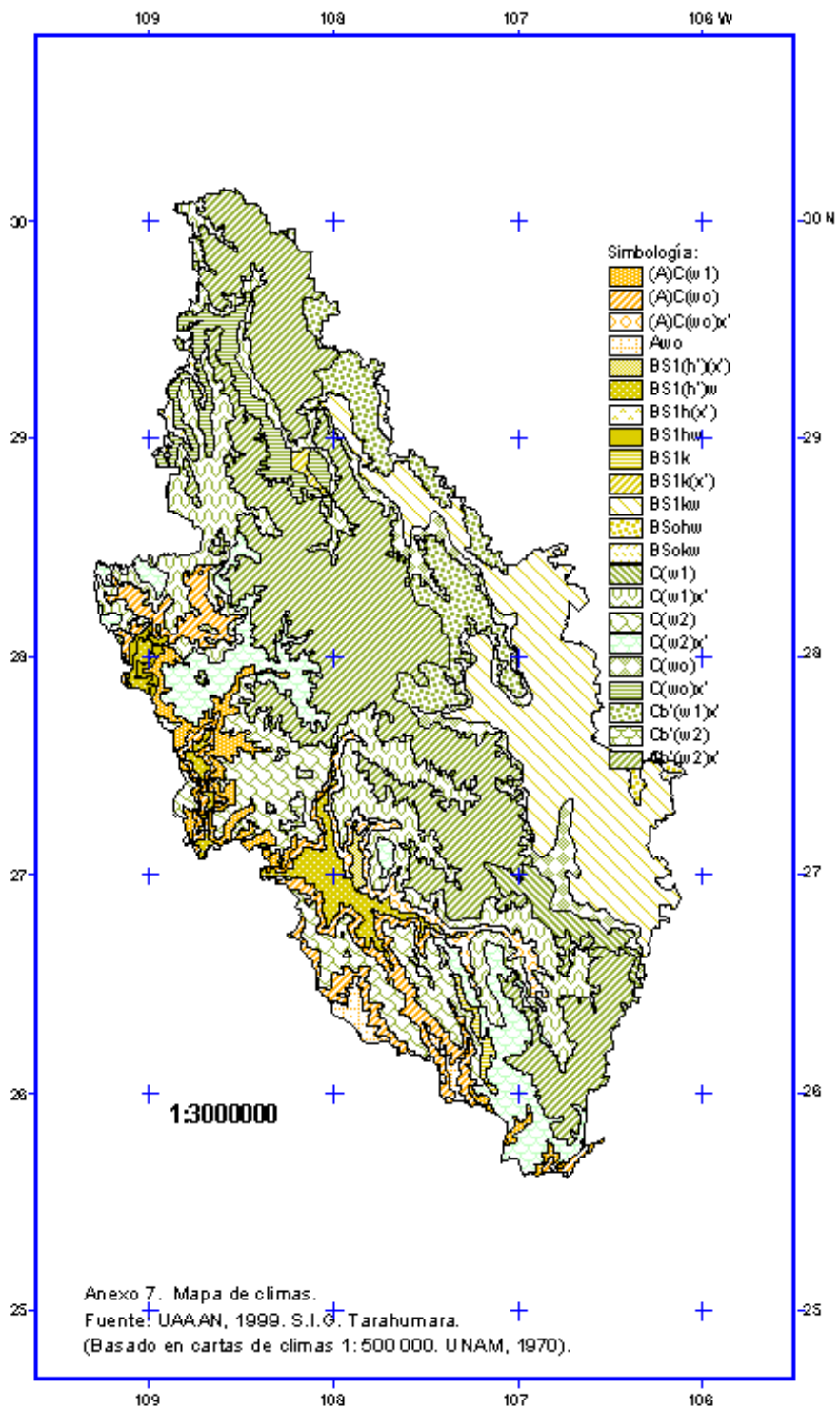


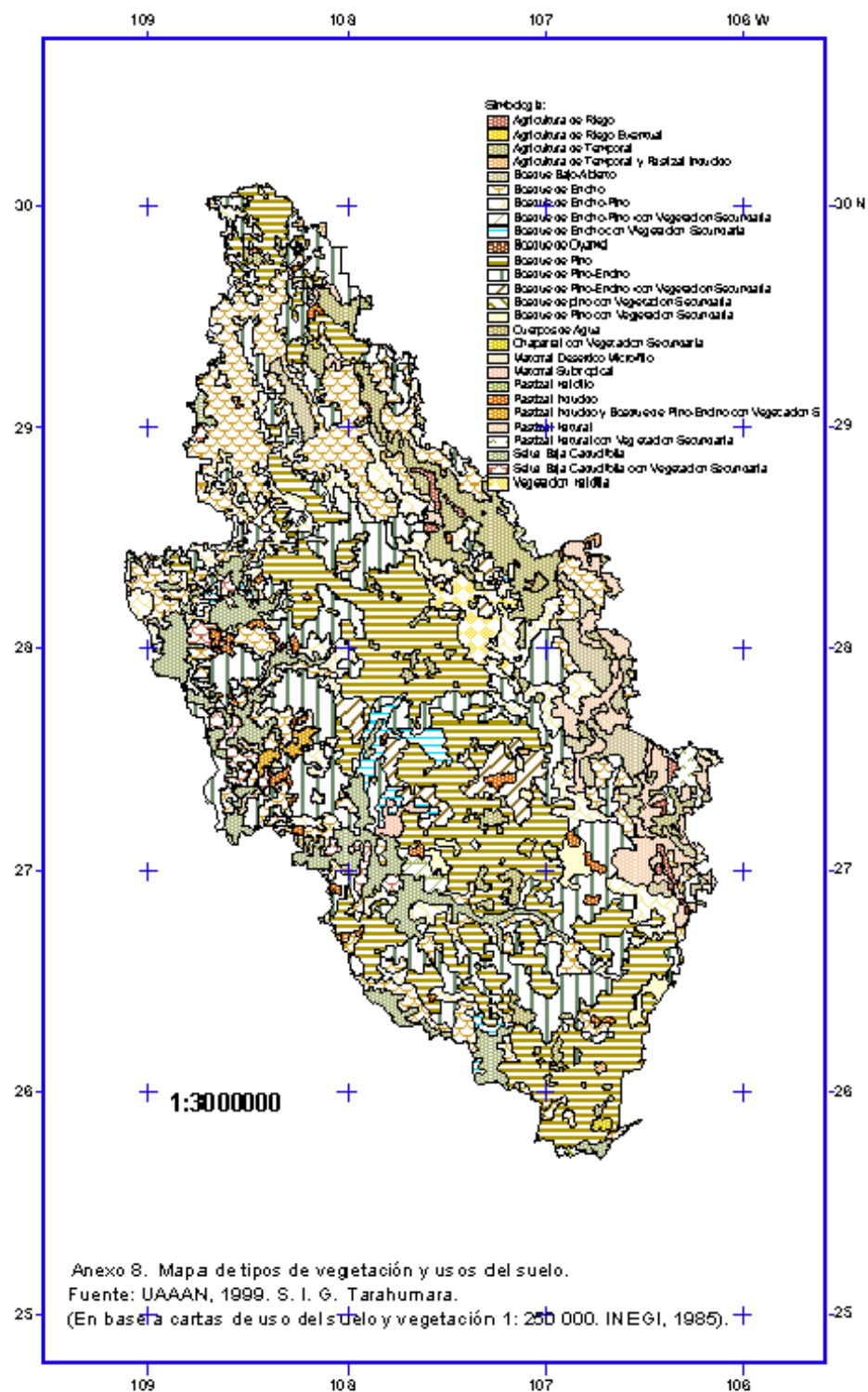


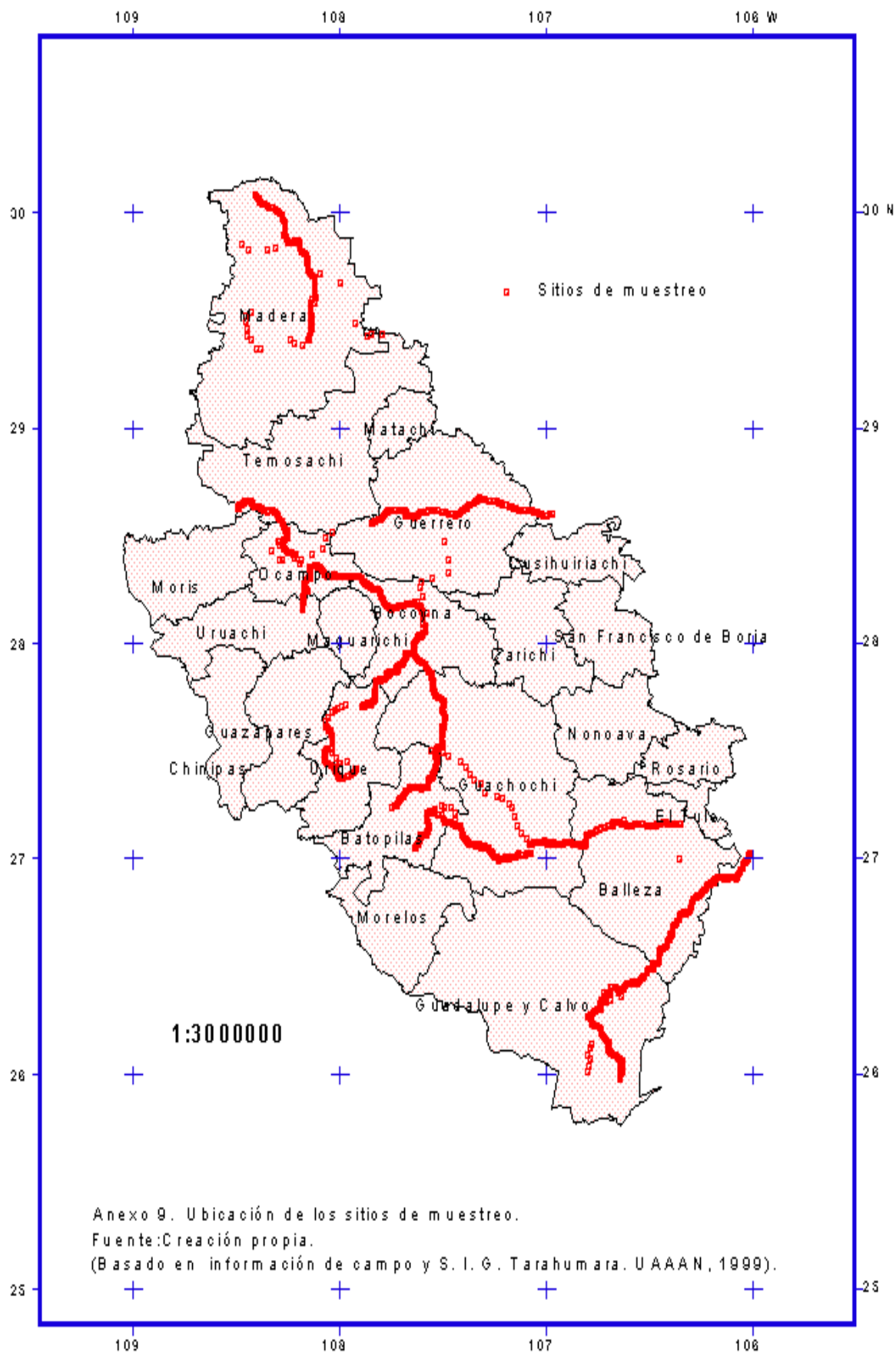












Anexo 9. Ubicación de los sitios de muestreo.

Fuente: Creación propia.

(Basado en información de campo y S. I. G. Tarahumara. UAAAN, 1999).