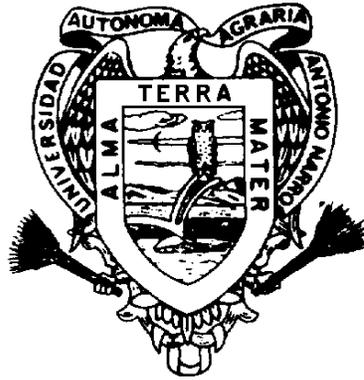


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Factores Ambientales Asociados a la Distribución de *Pinus arizonica*
Engelm. en la Región Tarahumara, Chihuahua, Utilizando Sistemas de
Información Geográfica.**

Por :

EFRAÍN LÓPEZ VILLARREAL

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 que influncian la Distribución de *Pinus arizonica* Engelm.
en la Región Tarahumara, Chihuahua, 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

PRESENTA

Efraín López Villarreal

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 mi familia

Nora Villarreal Saucedo

Efraín López Castro (†)

Alejandro López Villarreal (†)

A mi amigo y tutor

Álvaro Orta Dávila

A:

Bárbara (†)

Bruno

Frida

Juanita (†)

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitir la realización de mi formación profesional

Al comité de asesores:

Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su apoyo y amistad a lo largo de mi formación profesional.

M. C. Salvador Valencia Manzo, por el apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo

Ing. Celestino Flores López, por aportar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

A mis padres y amigos Nora y Álvaro por su invaluable impulso a lo largo de mi vida.

A las familias Villarreal Saucedo, Orta Dávila y Castro Villarreal por apoyar mis estudios, así como la realización del presente trabajo.

Un agradecimiento muy especial a la familia Olmedo Landeros, especialmente a mi gran amigo Bruno por su apoyo incondicional durante estos años.

De igual forma un sentido agradecimiento a Julieta Suarez por su amistad y su apoyo.

A todos mis compañeros de generación, en especial a mis amigos Simey Cruz Jarquin, Héctor Cerano, Saul Colín, Raúl Martell y Mario Jarillo.

A los ingenieros: Juan Encina, Homero Barriga, Georgina Muñoz, José A. Villatoro y Carlos Venegas, por su colaboración y ayuda en la realización del trabajo.

A la música.

Objetivos	3
Hipótesis	3
Justificación	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
1. Descripción de <i>Pinus arizonica</i> Engelm.	4
2. Factores que Determinan la Distribución de los Organismos	6
Factor Ecológico	7
Factor Limitante	7
3. Tablas de Contingencia	7
Análisis de la chi-cuadrada	8
Tablas de contingencia de 2 X 2	8
4. Sistemas de Información Geográfica	13
Los datos geográficos y su representación digital	13
MATERIALES Y MÉTODOS	15
1. Descripción del área de estudio	15
2. Fuentes de información	21
3. Desarrollo del proyecto	21
Método de muestreo	22
Introducción y procesamiento de los datos en el sistema de información geográfica	24
4. Desarrollo de la cobertura digital y su base de datos	26
5. Análisis estadístico: prueba de asociación de variables	32
6. Elaboración de un mapa de áreas potenciales para la distribución y establecimiento de <i>Pinus arizonica</i> en el área de estudio	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
1. Aspecto	39
Altitud sobre el nivel del mar	39
Orientación	42
Pendiente	43

5. Concentración de resultados de los factores asociados a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua	56
6. Areas potenciales para la distribución y/o establecimiento de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua	57
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
LITERATURA CITADA	63
ANEXOS	67

Cuadro 3. Tipos de vegetación y usos del suelo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	20
Cuadro 4. Ubicación de los factores ambientales por grupo.	38
Cuadro 5. Categorías de altitud asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	40
Cuadro 6. Exposiciones asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	42
Cuadro 7. Clases de pendiente asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	43
Cuadro 8. Unidades de suelo asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	45
Cuadro 9. Clases texturales asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	48
Cuadro 10. Fases físicas asociadas a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	49
Cuadro 11. Temperatura media anual asociada a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	51
Cuadro 12. Precipitación media anual asociada a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	52
Cuadro 13. Tipos de vegetación asociados a la distribución de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	54
Cuadro 14. Concentración de resultados	57
Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	25
Figura 2. Esquema del proceso metodológico.	27

Figura 6. Mapa de areas potenciales para la distribución y/o establecimiento de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

58

Anexo 3. Mapa de climas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	70
Anexo 4. Mapa de unidades fisiográficas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	71
Anexo 5. Mapa de regiones hidrológicas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	72
Anexo 6. Mapa de hidrología superficial en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	73
Anexo 7. Mapa de unidades geológicas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	74
Anexo 8. Mapa de unidades de suelo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	75
Anexo 9. Mapa de tipos de vegetación y usos del suelo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.	76

Norte o Altiplano, y la Sierra Madre Occidental; la última de éstas corre por los límites de Chihuahua, Sonora y Sinaloa (Anónimo, 1993). Actualmente un 29.42% del territorio chihuahuense se encuentra ocupado por vegetación boscosa, la cual se concentra en su mayoría en la porción correspondiente a la provincia de la Sierra Madre Occidental; conformada a su vez por tres subprovincias principales: las Sierras y Llanuras Tarahumaras, las Sierras y Cañadas del Norte, así como la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses. De esta forma queda comprendida una de las áreas de aptitud forestal de mayor importancia para el país, colocando al estado de Chihuahua dentro de los principales partícipes en la producción forestal a nivel nacional (INEGI, 1998).

La entidad ocupa el cuarto lugar nacional por el volumen de recursos en una superficie de 16.1 millones de hectáreas, de las cuales 5.1 correspondientes a áreas arboladas y 10.3 a zonas arbustivas; así mismo, ocupa el segundo lugar en producción maderable (SEMARNAP, 1999, indica una producción de 1,607,501 metros cúbicos rollo para 1997), también ocupa el segundo lugar en cuanto al valor de lo producido. El total de la superficie arbolada se localiza en climas templados y fríos, correspondientes a la región occidental: Sierras Tarahumara, Babicora y del Arco; con abundancia de pino y encino. Los municipios más importantes por su producción maderera son Madera, Guerrero, Bocoyna, Guadalupe y Calvo y Ocampo (Anónimo, 1993).

La Sierra Tarahumara es considerada una fuente potencial de conocimientos e investigación en las áreas de geología, geografía, botánica, fauna, así como antropología y arqueología, siendo una de las principales atracciones turísticas del Estado de Chihuahua debido a sus riquezas naturales (González, 1987).

la producción forestal a nivel estatal y consolidándose como una de las especies de mayor demanda por parte de los productores madereros.

De acuerdo con Rzedowski (1978), *Pinus arizonica* es una de las especies más aprovechadas de la región, junto con *Pinus durangensis* y *Pinus engelmannii*, entre otras; ésto refleja su gran importancia en el orden socioeconómico, fundamentalmente para los campesinos forestales, además de constituir un patrimonio ecológico y social para el país, sin olvidar que son reservas biológicas y sitios de investigación (Anónimo, 1981).

El presente estudio pretende probar una hipótesis acerca de las relaciones causales o grados de asociación entre los factores ambientales y la presencia o ausencia de *Pinus arizonica*, entendiendo que esta es la resultante de la acción de los factores ambientales sobre el conjunto interactuante de las especies que cohabitan en un espacio continuo. Refleja el clima, la naturaleza del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes, así como los factores antrópicos y bióticos. En cada región, la vegetación presenta una fisionomía propia y característica, consecuencia de la interacción de elementos y factores de variada naturaleza, tales como la temperatura y la precipitación influidos principalmente por la altitud, latitud, topografía y sustrato, que al conjunto de sus efectos imprime una huella en el paisaje (Matteucci y Colma, 1982). Por lo tanto, un estudio de la vegetación implica necesariamente un análisis de los factores del medio ambiente (González y Lozano 1995).

Para analizar los nueve factores ambientales en estudio que pueden tener influencia en la distribución de *Pinus arizonica*, se hizo uso de sistemas de información geográfica, los cuales permiten manipular gran cantidad de información mediante procesos de asociación de variables (Bosque, 1992) permitiendo así definir la relación de estas con la especie.

Objetivos

Los objetivos establecidos son los siguientes:

- 1) Identificar las clases y rangos de nueve factores ambientales que se asocian con la distribución espacial y abundancia de *Pinus arizonica* dentro del área de estudio.
- 2) Elaborar un mapa de áreas potenciales aptas para la distribución y el establecimiento de *Pinus arizonica* para la Sierra Tarahumara.

Justificación

La constante presión que el hombre ejerce sobre la vegetación obliga a buscar métodos más eficientes que arrojen datos acerca del estado y la ubicación de la cobertura vegetal (Trejo y Hernández, 1996), con el uso de sistemas de información geográfica, se pretende ampliar los conocimientos relacionados con la distribución de *Pinus arizonica* en la región correspondiente a la Sierra Tarahumara, en un estudio autoecológico que señale las condiciones ambientales y rangos en donde la especie es capaz de desarrollarse; con propósitos tendientes a la conservación de la misma, sin olvidar el aspecto comercial.

pino amarillo; García y González (1998) se refieren a éste como pino blanco o alimonado indicando también que la especie fue descrita de las montañas de Santa Rita, Arizona de donde deriva su nombre; es descrita originalmente por Engelmann in Rothrock *et* Wheeler en 1878 (Businský *et al.* 1983), y aunque tiene gran afinidad con *Pinus ponderosa* por sus tres hojas anchas, tiesas y fuertes y por sus apófisis prominentes con espina persistente, presentan características que ameritan considerarlo en su categoría de especie (Martínez, 1992).

Perry (1991) lo describe como un árbol con tronco alto y recto que alcanza alturas de 30 a 35 m y diámetros de hasta 1 m. Con ramas gruesas y fuertes, las más bajas son un tanto caídas o inclinadas, las ramas superiores son ascendentes; copa gruesa y redondeada en árboles maduros, los árboles jóvenes cuentan con copa piramidal. La corteza sobre árboles viejos y maduros es gruesa, con fisuras profundas y grandes de forma irregular; color café rojizo con láminas escamosas, en árboles jóvenes ésta es de coloración café rojizo, rugosa con escamas. Las ramillas son robustas, firmes, de coloración café grisáceo, escamosas, las bases de las brácteas de la hoja son decurrentes. Las hojas nacen en fascículos de 3, ocasionalmente de 4 y hasta 5, son gruesas firmes y erectas de 12 a 22 cm de largo, crecen en grupos en los finales de las ramas. Cuenta con estomas presentes en la superficie ventral y dorsal, con bordes finamente serrados, con 6 a 10 canales resiníferos en la parte media, las paredes del endodermo engrosadas; con dos ases vasculares en extremo distintos; cuenta con vainas de color café, persistente de aproximadamente 15 milímetros de largo.

persistente, puntiaguda y recurvada. La semilla es de color café oscuro, oval, de 6 mm de largo, con un ala articulada de 20 a 25 mm de largo por 8 a 9 mm de ancho. El promedio de número de semillas por kilogramo es de 28,000 y el número de cotiledones es de 7 a 9 (Perry, 1991).

Referente a su distribución, Perry (1991) especifica que el *Pinus arizonica* está presente en México a lo largo de la Sierra Madre Occidental, al Noreste de Sonora, Oeste de Chihuahua, así como al Oriente de Sinaloa y Durango; Martínez (1992), por su parte, reporta presencia de esta especie en regiones del estado de Chihuahua tales como: Luisiana y San Juanito, Bocoyna; Bachiniva, Municipio de Riva Palacio; Casas Grandes; Colonia García; además de zonas de Sonora y Durango. En el área correspondiente a los Estados Unidos, se presenta al Sureste del Estado de Arizona y Nuevo México (García y González, 1998).

García y González (1998) mencionan que *Pinus arizonica* está emparentada con *P. durangensis*, en sitios donde ambas especies crecen juntas; por su parte Rentería (1996) indica que éste se asocia también con *Quercus durifolia*, *Q. hartwegii*, *Q. sideroxyla*, *Pinus teocote*, *Juniperus deppeana* y *Arctostaphylos pungens*.

Crece en rangos altitudinales que abarcan de los 2000 a los 2800 metros sobre el nivel del mar, considerando una precipitación media anual entre 500 y 600 mm para las montañas de Sonora y Chihuahua, con un 30 % de lluvia durante los meses de invierno abarcando de diciembre a febrero; en la región de Durango la precipitación media anual puede incrementarse hasta los 650 milímetros (Perry, 1991).

García y González (1998) consideran la madera de buena calidad, muy apreciada por tener pocos nudos, debido a su copa alta. Por su parte, Martínez (1992) indica que esta es blanda, débil, algo quebradiza de textura fina, de color rojo claro y amarillento y con un peso específico de 0.50; es usada en la industria del aserrío, para durmientes, duelas, postes para teléfonos, cajas para empaques, celulosa, papel, chapa, tableros de partículas y puntales de minas, además de varias aplicaciones locales tales como muebles, utensilios caseros, postes para cercas, leña para combustible o como árbol ornamental. Se recomienda ampliamente para plantaciones comerciales y con fines de recuperación de suelos degradados (Rzedowski, 1978; Eguiluz, 1978).

3. FACTORES QUE DETERMINAN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS.

Una de las preocupaciones perennes de los que estudian la vegetación en cualquier parte del mundo es la de encontrar las correlaciones existentes entre la distribución de las especies y por ende de las comunidades que investigan y la de los factores del medio físico y biótico que están en juego (Rzedowski, 1978).

González-Elizondo *et al.* (1993) indican que los principales factores del medio físico que influyen sobre la vegetación son el clima, la altitud, el relieve, la exposición y los suelos. Por su parte, Cabrera y Willink (1973) agrupan los factores que determinan la distribución de los organismos en dos grupos principales: los factores extrínsecos, los cuales abarcan aspectos de tipo geográfico, climático, edáfico y biótico; y los factores intrínsecos,

desarrollo. Estos factores actúan al eliminar especies de las zonas cuyas características climáticas o fisicoquímicas no son apropiadas, interviniendo en su reparto o distribución geográfica.

Factor limitante

Brewer (1979) indica que un factor limitante es aquel en cuya presencia desfavorable, limita un número de procesos o rangos de un organismo.

Dajoz (1979) amplía el concepto al incluir un factor ecológico como limitante cuando se encuentra ausente o reducido por debajo del mínimo crítico, o bien si éste supera el máximo nivel de tolerancia. Dicho de otra forma, condiciona las posibilidades de éxito de un organismo por ampliar su rango de distribución en el medio. Por tanto, la existencia de plantas o animales sólo puede tolerar un conjunto determinado de condiciones y la existencia o abundancia de una especie estará determinada por la frecuencia en que se cumplen las condiciones favorables (Colinvaux, 1982).

3 TABLAS DE CONTINGENCIA

Maisel (1973) define las tablas de contingencia como tablas de doble entrada diseñadas para probar la compatibilidad de las frecuencias observadas y esperadas. Generalmente se construyen para estudiar la relación entre dos variables utilizándose la prueba de χ^2 para probar la hipótesis de que ambas variables son independientes. El número de columnas en una tabla de contingencia es denotado por c y el número de filas o renglones por r , y r

la variable bajo estudio. En una tabla de contingencia, se tienen dos variables bajo consideración, por lo tanto, se denotan y observan frecuencias como f_{ij} . Los subíndices ij se refieren a las frecuencias observadas en la fila i y columna j de la tabla. Para el análisis de tablas de contingencia mediante la chi-cuadrada, es utilizada la siguiente fórmula:

$$x^2 = \sum \sum \frac{(f_{ij} - \hat{f}_{ij})^2}{\hat{f}_{ij}} \quad (1)$$

en donde f_{ij} , se refiere a las frecuencias observadas, y \hat{f}_{ij} a la frecuencia esperada en la fila i y en la columna j si la hipótesis nula es verdad.

Una vez calculada la x^2 , su significancia se obtiene de tablas de la distribución chi-cuadrada, al hacerlo deben determinarse los grados de libertad de las tablas de contingencia, éstos son descritos como el número de categorías sobre las cuales los cálculos de x^2 son sumados, menos el número constante de la muestra usado para calcular las frecuencias esperadas. La x^2 calculada es ejecutada sobre r por c celdas; para calcular todos los valores de \hat{f}_{ij} es necesario conocer n y por lo menos $r - 1$ del total de las filas, y $c - 1$ del total de las columnas. Por lo tanto grados de libertad es igual a:

$$g l = (r - 1) (c - 1) \quad (2)$$

Tablas de contingencia de 2 X 2

Daniel (1987) explica que en ocasiones, cada uno de los dos criterios de clasificación puede dividirse en sólo dos categorías, o niveles. Al clasificar los datos cruzados de esta

<i>B</i>	Presencia (+)	<i>a</i>	<i>b</i>	$m = a + b$
	Ausencia (-)	<i>c</i>	<i>d</i>	$n = c + d$
	Total	$r = a + c$	$s = b + d$	$N = a + c + b + d$

Cuadro1. Tabla de contingencia de 2 X 2 (Ludwig y Reynolds, 1988).

Ludwig y Reynolds (1988) establecen tres pasos para realizar la prueba de asociación de las variables con relación a los rangos de los factores ambientales incluidos para el estudio.

Paso 1. Sumarización de Datos. Para cada par de variables, *A* y *B*, se debe obtener los siguientes datos:

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* ocurren

N = el número total de unidades de muestreo

Los valores esperados de ocurrencia de la variable *A* en las unidades de muestreo, representados por $f(A)$ son dados por:

$$f(A) = \frac{a + b}{N} \quad (3)$$

es, $f(A)$ y $f(B)$ son mayores que 0.

Paso 2. Establecimiento de la hipótesis. La hipótesis nula examinada en estas tablas se refiere a que la frecuencia de observaciones encontradas de las filas son independientes de las frecuencias de observaciones encontradas en las columnas, o que las frecuencias de las columnas son independientes de las frecuencias de las filas (Zar, 1984):

$H_0 = A$ y B son variables independientes

$H_a = A$ y B no son variables independientes

La regla de decisión establece que siempre que el valor de χ^2 calculada sea mayor al valor χ^2 de tablas, con 1 grado de libertad, a un determinado α de probabilidad, se rechaza H_0 , por lo tanto, la ocurrencia de las variables no es independiente.

Basados en la fórmula 2, Ludwig y Reynolds (1988) indican que las tablas de 2 x 2 tienen únicamente un grado de libertad.

Paso 3. Cálculo de la prueba estadística. La tabla de 2 X 2 contiene valores observados para cada celda (a , b , c y d) de la muestra de tamaño N . Para la prueba de asociación deben calcularse los valores esperados de cada una de las celdas y compararlas con los valores observados. Una prueba de chi-cuadrada estadística se usa para probar la hipótesis nula de independencia en las tablas de 2 X 2. La prueba es calculada como:

las frecuencias observadas. Los valores o frecuencias esperadas para cada celda están dada por las siguientes fórmulas (Muller-Dombois y Ellenbery, 1974; Ludwig y Reynolds, 1988):

La frecuencia donde A y B ocurren es calculada por medio de la siguiente fórmula:

$$E(a) = \frac{(a+b)(a+c)}{N} = \frac{rm}{N} \quad (6)$$

La frecuencia donde sólo B ocurre es calculada:

$$E(b) = \frac{(a+b)(b+d)}{N} = \frac{ms}{N} \quad (7)$$

la frecuencia donde sólo A ocurre es calculada:

$$E(c) = \frac{(a+c)(c+d)}{N} = \frac{rn}{N} \quad (8)$$

la frecuencia donde no hay ocurrencia de A ni B es calculada:

$$E(d) = \frac{(b+d)(c+d)}{N} = \frac{sn}{N} \quad (9)$$

Para el caso de una tabla de contingencia de 2×2 , χ^2 puede calcularse mediante la fórmula simplificada:

$$\chi^2 = \frac{N(ad - bc)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} = \frac{N(ad - bc)^2}{mnrs} \quad (10)$$

Donde a , b , c , y d son las frecuencias observadas en las celdas.

2. Negativa: si los observados de $a < E(a)$, esto es, el par de variables ocurren en menor grado que las esperadas.

Esta comparación de los observados de a en contra de los $E(a)$, se expresa:

$$a - E(a) = (ad - bc)/N \quad (11)$$

Corrección de Yates

Las frecuencias observadas en una tabla de contingencia son discretas, de este modo dan lugar a una estadística discreta, χ^2 , que es aproximada por la distribución X^2 , que es continua (Daniel, 1987). Yates sugirió una corrección la cual involucra sustraer 0.5 de las discrepancias positivas (observadas – esperadas), y adicionar 0.5 a las discrepancias negativas (Everitt, 1977). Esta corrección puede ser incorporada a la fórmula (16), obteniéndose la siguiente modificación:

$$\chi^2 \text{ Corregida} = \frac{N (|ad - bc| - 0.5 N)^2}{(a + c)(b + d)(a + b)(c + d)} = \frac{N [|ad - bc| - (N/2)]^2}{mnrs} \quad (12)$$

En esta fórmula el término $|ad - bc|$ se refiere al valor absoluto de $(ad - bc)$, que es el valor numérico de la expresión sin tomar en cuenta su signo.

Muller-Dombois y Ellenbery (1974) indican que el uso de la fórmula corregida por Yates debe ser aplicada cuando la prueba es usada con valores muestrales pequeños; y no podrá

terrestre, suelos y territorios en general. Constituidos por un conjunto de componentes informáticos (físicos y lógicos), medios y procedimientos preparados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos de cualquier territorio.

Por su parte, Franco-López (1999) indica que los sensores remotos y las disciplinas en sistemas de información geográfica han provisto de nuevas oportunidades para el desarrollo de los sistemas de monitoreo forestal a través de información del paisaje.

Los datos geográficos y su representación digital

En los SIG predomina una visión del mundo denominada de “estratos” “leyer” o “capas”, según el cual, el mundo esta compuesto de infinitos lugares cuya localización se puede medir con cualquier grado de precisión espacial a través de un sistema de coordenadas. La geografía de ese mundo se organiza en distintas variables temáticas, cuyos valores pueden estimarse en cualquier lugar. Cada variable es un estrato (capa) de la base de datos. En cada estrato los datos tienen los mismos componentes conceptuales, de esta forma, los estratos temáticos están representados con un tipo de objeto geométrico tales como: puntos, líneas y polígonos (Bosque *et al.*, 1994).

El modelo de datos vectorial

Este modelo define un objeto geográfico de la realidad a través de sus límites o fronteras

Este representa digitalmente la información espacial de modo diferente y complementario al anterior. Ahora lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos. El proceso consiste en superponer al mapa a representar una rejilla formada de unidades regulares, normalmente cuadrados o rectángulos, particionando el espacio geográfico en forma sencilla, regular y fácil de representar. El siguiente paso es determinar qué objeto geográfico / valor temático existe en cada unidad de la rejilla, almacenando los valores en el ordenador de manera secuencial, conservando su posición relativa, que representa su posición geográfica (Bosque *et al.*, 1994).

Estudio de Impacto Ambiental en la Región Tarahumara, Chihuahua elaborado en 1999 por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en coordinación con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

La región Tarahumara constituye una de las principales reservas de recursos naturales del estado de Chihuahua. Ubicada al Suroeste del estado, está conformada por 23 municipios: Balleza, Batopilas, Bocoyna, Carichi, Cusihuriachi, Chinipas, El Tule, Guachochi, Guadalupe y Calvo, Guazapares, Guerrero, Maguarichi, Matachi, Morelos, Moris, Nonoava, Ocampo, Rosario, San Francisco de Borja, Temosachi, Urique y Uruachi. Geográficamente se encuentra referenciada entre las coordenadas que van desde 106° 03'00'' a 109° 07' 00'' de longitud Oeste y entre los 25° 56' 00'' y 29° 96' 00'' de latitud Norte, con una superficie de 71,231.133 km² (Anexo 1),. y con una elevación promedio de 2,500 msnm, comprendiendo una gran variedad de expresiones ecogeográficas representadas por cuatro grandes subsistemas; barrancas y tierras bajas, serranías con altitudes menores a los 2,000 msnm, mesetas y sistemas montañosos con elevaciones mayores a los 2,500 msnm.

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

De acuerdo con la cartografía climática realizada por la UNAM (1970), en el área de estudio se presentan tres tipos de climas: templados húmedos (C), cálidos húmedos (A) y climas secos (B) (Anexo 3).

Toda el área se encuentra dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental, la cual forma una gran planicie de rocas volcánicas, con angostas depresiones estructurales entre serranías de cima suave, mesas y mesetas; segmentadas por gargantas de corrientes transversales antecedentes o corrientes remotantes que fluyen a través de barrancas profundas hacia las tierras bajas de la Costa del Pacífico (Consejo de Recursos Minerales, 1994). Esta gran provincia comprende a su vez cinco subprovincias: la Gran Meseta y Cañones Duranguenses, las Sierras y Llanuras de Durango, Sierras y Llanuras Tarahumaras y la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, la cual junto con las sierras y cañadas del Norte, son las más predominantes de la región, ocupando un 63.93% y un 17.84% del área, respectivamente. Por otra parte, en la región se presentan cinco grandes topoformas: lomeríos, llanuras, mesetas, sierra y valles. Donde se tiene que las mesetas, valles y sierras son los que ocupan mayores porcentajes, siendo esta última la más abundante con un 54.67% del área (Anexo 4).

Hidrología

Esta integrada en cuatro regiones hidrológicas; Sinaloa (RH10), Sonora (RH9), Río Bravo–Conchos (RH24) y Cuencas Cerradas del Norte (RH34), siendo las más dominantes en cuanto a superficie de ocupación la RH10, RH24 y RH9, con 28,599.88, 16,162.54 y 23,309.26 km², respectivamente. Estas regiones a su vez comprenden diez subcuencas,

cuenas que dan riqueza agrícola a los estados de Sonora y Sinaloa. Entre otros ríos importantes están; Septentrión, Otero, Urique, San Miguel, Los Loera, Tenorivo, Bazonapa, Turuachis, Río Verde, Candameña, Tutuaca y Río Aros.

Geología

La región se ubica en la unidad geotectónica más importante del Noroeste del país, denominada provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, 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 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 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 feldespatoides (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Básicamente esta conformada por rocas ígneas extrusivas ácidas en un 65.64%, rocas ígneas extrusivas básicas en un 19.18%, un 11.07% por conglomerados, además de reducidos porcentajes de roca caliza, caliza lutita e ígnea intrusiva ácida (Anexo 7).

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

Cuadro 2. Superficies de suelo en porcentajes con relación a la superficie total en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

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

Fuente: SPP, 1981a. Carta edafológica escala. 1:1,000,000

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

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

Se presentan 26 tipos de vegetación y otros usos del suelo, de los cuales 21 son natural y 5 representan otros usos del suelo (Cuadro 3), 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 (Anexo 9).

SEDESOL (1994) indica que en el área de estudio las especies de la flora bajo estatus de conservación, según la NOM-059- ECOL-1994, son: *Juglans major*, *Picea chihuahuana*, *Pinus reflexa* y *Tilia mexicana*.

La diversidad de ambientes que ocurren propicia el desarrollo de una variedad considerable de fauna silvestre. Es posible encontrar 7 órdenes de mamíferos albergando a 23 familias, las cuales a su vez contienen 107 especies reportadas. En el caso de la diversidad de aves, es posible encontrar dentro del orden podicipediformes a 41 familias con 241 especies registradas, muchas de las cuales, tanto de mamíferos como de aves, se encuentran bajo algún estatus, ya sea como especie protegida, en peligro de extinción o amenazada; además esta región es una de las áreas donde se tienen los últimos reportes de la presencia de dos de los depredadores más grandes de México, el lobo mexicano y el oso gris (CONABIO, 1998).

Cuadro 3. Tipos de vegetación y usos del suelo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Tipos de vegetación Y usos del suelo	Total	
	%	km ²

Bosque Enc. Pino Vegetación Secundaria	0.72	511.07
Bosque de Oyamel	0.01	4.58
Bosque de Pino	23.89	17019.95
Bosque Pino Vegetación Secundaria	0.96	684.23
Bosque Pino - Encino	18.81	13403.56
Bosque Pino - Encino Vegetación Secundaria	2.74	1953.24
Cuerpos de Agua	0.07	49.80
Chaparral Vegetación Secundaria (E)	0.08	54.79
Matorral Desértico Micrófilo	0.06	43.35
Matorral Subtropical	0.28	196.64
Pastizal Halófilo	0.05	34.44
Pastizal Inducido	1.03	732.61
Pastizal Inducido-Bosque Pq.Veg. Sec.	0.33	236.38
Pastizal Natural	3.36	2394.62
Pastizal Nat. con Vegetación Secundaria	0.50	356.71
Selva Baja Caducifolia	6.64	4730.71
Selva Baja Caducifolia. Vegetación Sec.	1.23	873.41
Vegetación Halófila	1.25	891.93
Agricultura de Temporal (E)	0.02	12.19
Bosque Bajo Abierto (E)	0.08	56.26
Bosque Pino (E)	0.25	177.81
Bosque Pino Vegetación Secundaria (E)	0.07	50.62
Bosque Pino Encino (E)	0.06	43.81
Pastizal Inducido (E)	0.13	96.06
Pastizal Natural (E)	0.49	350.95
Total	100.00	71247.13

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

2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información empleadas para determinar la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara son las siguientes:

Sierra Tarahumara, Chihuahua, durante la fase de muestreo del presente proyecto, llevado a cabo entre los días 29 de junio al 19 de julio de 1999.

- c) Cartas topográficas en escala 1:250,000 con clave: H12-9, H12-12, G12-3, H13-10, G13-1, G13-4, G13-7 (SPP, 1980).
- d) Base digital y temática sobre el Estudio de Impacto Ambiental de la región Tarahumara, Chihuahua, México (UAAAN, 1999).

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

La primera fase del proyecto consistió en la realización del muestreo pertinente para la recolección de los datos necesarios; la segunda fase consistió en la introducción de estos datos al Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Región Tarahumara, así como su tratamiento y procesamiento.

Método de muestreo

Tomando en consideración que el área de estudio cuenta con una extensión aproximada de 71,231.133 km², y basados en las limitantes de tiempo y recursos del proyecto, el tipo de muestreo mejor adaptado y empleado en éste fue de orden sistemático, en el cual las unidades incluidas en una muestra son escogidas, no al azar sino de acuerdo a un patrón preespecificado (Freese, 1969). Es importante indicar que el muestreo se realizó básicamente en un bosque de pino y sus variantes de vegetación, a excepción de ciertas

región. Estas rutas de muestreo fueron procurados sobre la red de caminos existente en la sierra, abarcando carreteras principales, caminos de terracería y brechas transitables, con el propósito de facilitar el traslado de una zona a otra, maximizando tiempo y recursos. Las rutas se determinaron en colaboración con Celestino Flores López, quien basado en su experiencia dentro de la Tarahumara recomendó las mejores rutas a seguir.

Para facilitar el desarrollo del proyecto, se elaboró cartografía en escala 1:250,000, basada en las cartas topográficas de la región, por medio del SIG del Estudio de Impacto Ambiental de Proyectos Tipo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México, en la cual se presentan las rutas de muestreo. Para eficientizar la cobertura del área de estudio, se designaron dos brigadas de trabajo, encargadas de muestrear la zona Norte y Sur de la sierra, respectivamente, para lo cual se hizo una división pertinente de las rutas.

El número total de sitios muestreados comprende 207, en cada uno de los cuales se tomaron datos referentes a la presencia o ausencia de *Pinus arizonica* como especie de interés para el presente proyecto, además de otras como *Pinus durangensis* y *Pinus engelmannii*. Los sitios de muestreo fueron ubicados geográficamente mediante el uso de un sistema posicionador global (GPS), empleando la proyección UTM y registrándolos en un formato de trabajo en base al número de ruta y sitio por caminamiento.

Las rutas de muestreo realizadas en el trabajo de campo son citadas a continuación:

<u>Brigada Norte</u>	Ciudad Madera - Agua Colorada
Ciudad Madera - El Largo Maderal	Cuauhtémoc - Límite estatal Chihuahua y
Mesa del Huracán- La Norteña	Sonora

El procedimiento para el muestreo consistió en levantar los sitios en un espaciamiento aproximado de 4 kilómetros entre cada uno a lo largo de las rutas, tomándose como sistema de distanciamiento el odómetro del vehículo; para la ubicación del sitio de muestreo fue necesario adentrarse una distancia aproximada de 300 a 600 metros de la orilla del camino y ubicar los individuos dominantes de las especies de interés. Cada individuo estaría espaciado por lo menos de 100 metros del anterior. Cabe destacar que en ocasiones la toma de los sitios en ciertas áreas se vió limitado por las condiciones del terreno, las cuales impidieron el acceso del vehículo, o por las pronunciadas pendientes que dificultaban la medición de éstos.

Los datos obtenidos fueron complementados con la base de datos proporcionada por Celestino Flores López, la cual contiene información relacionada con la presencia o ausencia de las especies muestreadas, cubriendo las siguientes rutas a lo largo del área:

Ciudad Madera – El Largo Maderal– El Colorado

Cuauhtémoc – La Junta

La Junta – Tomochi – Basaseachi – Frontera de Sonora y Chihuahua

San Juanito – Basaseachi

San Juanito – Creel – Guachochi

Entronque de San Juanito a Basaseachi – Uruachi

Creel – San Rafael

Entronque de Creel a San Rafael – Bauhichivo – Urique

Entronque de Creel a Guachochi – Batopilas

parcialmente el área de interés para el proyecto. A diferencia de los puntos muestreados en el trabajo de campo, estos sitios fueron realizados en kilómetros consecutivos, sin referencia geográfica, conteniendo información sobre la presencia de la especie en estudio.

El total de sitios de muestreo contemplados para el proyecto, que adiciona los sitios del trabajo de campo con los de la base de datos proporcionada por Celestino Flores López, revela un total de 1269 puntos de muestreo, de los cuales *Pinus arizonica* se encuentra presente en 459 sitios (Figura 1).

Introducción y procesamiento de los datos en el sistema de información geográfica

Las perspectivas de la aplicación de los sistemas de información geográfica son prácticamente ilimitadas y en la actualidad se incorporan a diversos campos (Eustaquio y Quispe, 1995), tal es así que mediante el uso de estos se pretende determinen las posibles áreas en donde la distribución de *Pinus arizonica* en la Región Tarahumara sea factible, en base al análisis de ciertos factores ambientales.

El total de los datos fue integrado mediante el uso de tres sistemas de información geográfica, dos de estos de formato vectorial, PC ARC/INFO™ y PC ARCVIEW™, utilizados para los procesos de digitalización, corrección, georreferenciación, cambios de proyección y desarrollo de un archivo de puntos. Posteriormente la información fue manipulada en el sistema de formato raster IDRISI™, en donde fue interactuada con la cartografía ecológica digital del área del SIG de la Región Tarahumara, considerando temas de tipo edafológico, aspecto del área, climáticos y ecológicos (Figura 2), de acuerdo a las consideraciones de González- Elizondo *et al.* (1993), y de trabajos afines como el de Passini y Pinel (1989), quienes estudiaron la distribución del *Pinus lagunae* en la Sierra de la Laguna en Baja California, México.

base de datos de Celestino Flores López no se encontraban georreferenciados, la introducción se realizó en dos etapas, tal y como es mostrado en la Figura 2.

Introducción al SIG de los sitios sin referencia geográfica

Ubicación de los puntos en la cartografía

Esta etapa consistió en la ubicación gráfica de los puntos de muestreo utilizando la cartografía topográfica en escala 1:250,000 editada por SPP ya mencionada, indicándose en ésta la posición de los puntos y facilitando el proceso de digitalización. Siguiendo las rutas muestreadas, se marcaron los puntos progresivamente cada kilómetro de distancia, equivalente a 4 milímetros de separación en las cartas. Posteriormente se dió un orden a cada punto marcado en las rutas, con el propósito de proporcionar un identificador (Id) para diferenciarlos, y al cual se integraron posteriormente las características o atributos correspondientes a los aspectos edáfico, climático, fisiográfico y ecológico del área.

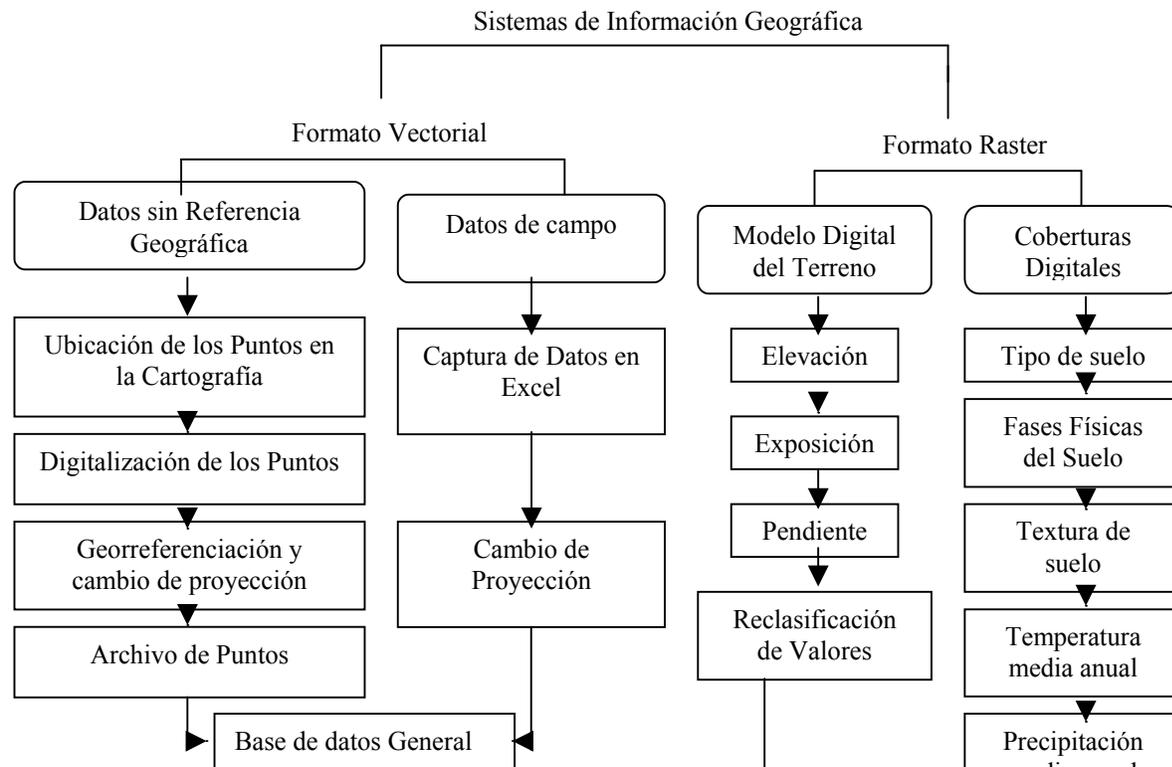


Figura 2. Esquema del proceso metodológico

Digitalización

Usando el Sistema PC ARCINFO™ se realizó la introducción de cada uno de los puntos en forma manual mediante el uso de una tableta digitalizadora, creándose una cobertura digital que contendría la información sobre éstos, posteriormente fue desplegada en pantalla después de acceder las coordenadas de los TICS, que sirven como punto de referencia geográfica.

Con el fin de evitar que los puntos digitalizados presentaran un perímetro variable, se hizo uso exclusivo de etiquetas, asignándoseles a cada punto una de éstas, así como un control de coordenadas basadas en datos de tableta.

Georreferenciación y cambio de proyección

Se asignó a cada cobertura digital las coordenadas geográficas reales que le corresponden, sustituyéndose las coordenadas de tableta. Para ello se creó una nueva cobertura a partir de la original conteniendo únicamente los archivos “BND” y “TIC”, ignorando el contenido de arcos y etiquetas, los tics de la nueva cobertura fueron georreferenciados con las coordenadas reales en proyección de grados decimales. Finalmente la información de la cobertura original es adicionada a la nueva obteniéndose así coberturas en coordenadas geográficas con datos completos.

Creación de un archivo de puntos

columnas correspondientes a las coordenadas X y Y de éstos.

Introducción de los sitios geográficamente referenciados

Dado que los sitios tomados durante la etapa de muestreo cuentan con una georreferenciación en coordenadas UTM, fue necesario hacer un cambio de proyección a coordenadas geográficas, con este fin la información fue registrada en una hoja de cálculo electrónica, para posteriormente ser modificada como archivo de texto separado por tabulaciones, de esta manera fue procesado dentro del sistema PC ARCINFO™ en el cual se realizó el cambio de la proyección.

Desarrollo de una base de datos general

Una vez que la información digital de los puntos de muestro fue homogeneizada, en sentido de su referencia geográfica, los archivos en formato de texto de ambos datos son reunidos en uno sólo acomodándose en una hoja de cálculo electrónica. De esta forma la primer columna corresponde a un identificador (Id) para cada punto, dado por un número designado por la ruta y sitio; seguido a esto son colocadas las coordenadas geográficas X y Y, referentes a la latitud y longitud de cada punto. Finalmente en la última columna se integró un código binario, indicando con el número “1” la presencia y con el “0” la ausencia de *Pinus arizonica* en cada uno de los sitios.

Creación de un archivo en formato Shape

La base de datos general en formato de texto fue desplegada en el Sistema PC ARCVIEW™, en donde fue cambiada en un formato Shape, con el fin de transformar el archivo original a uno nativo del ambiente de trabajo del sistema.

como la ausencia de la misma en los sitios.

Con el fin de manipular los datos dentro del sistema IDRISI™, fue necesario cambiar el formato de la cobertura, pasando la información de formato ERDAS a RASTER, obteniendo así coberturas basadas en matrices de píxeles de iguales dimensiones de 90 por 90 metros, con una cobertura de área por píxel de 8100 metros cuadrados. Los píxeles con valor 1 corresponden a sitios en donde *Pinus arizonica* se encuentra presente; mientras que aquellos con valor 2, indican sitios en donde sólo están presentes, ya sea de forma separada o conjunta, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis*.

Tabulación cruzada de coberturas

La primer fase del análisis estadístico se realizó por medio del SIG raster IDRISI™, en donde se empleó el método de sobreposición de imágenes (CROSSTAB), consistente en la superposición de mapas píxel a píxel (Bosque, 1992), en el cual se sobrepone la cobertura con la información referente a la presencia de *Pinus arizonica*, con las coberturas del SIG de la región Tarahumara con información digital sobre textura, tipo y fases físicas del suelo, además de temperatura y precipitación media anual, pendiente, exposición, altitud y el tipo de vegetación.

El resultado de la tabulación cruzada de mapas consistió en una tabla de doble entrada con las categorías de ambos mapas y en cada cruce el número de píxeles que cumplen esta situación (Bosque *et al.*, 1994). Se obtuvo una tabla por cada factor ambiental estudiado, cada una indica el valor de la frecuencia de píxeles, con atributos de ausencia y presencia, que ocurren con relación a los píxeles de las diferentes coberturas del SIG Tarahumara, en las cuales cada píxel muestra un valor correspondiente al rango del factor.

e isoyetas, considerando que estas se presentan de forma irregular en el área de estudio.

Reclasificación de valores en coberturas

Debido a que las coberturas referentes a la altitud sobre el nivel del mar, pendiente y orientación del SIG de la región Tarahumara muestran valores progresivos, fue necesario hacer una reclasificación de ellos, mediante el sistema IDRISI™, en los rangos o clases funcionales deseados.

La reclasificación de los valores de altitud se hizo en clases o rangos sucesivos con valores de 200 metros, hasta llegar a más de los 3267 metros sobre el nivel del mar. Para el caso de la pendiente se hizo en rangos porcentuales de 10 en 10 unidades, clasificándolos en pendiente leve, ligera, moderada, fuerte, muy fuerte y abrupta, respectivamente. Para la orientación la reclasificación consistió en rumbos progresivos de 45°, clasificándolos de acuerdo a su orientación en el cuadrante.

Creación de una cobertura de círculos

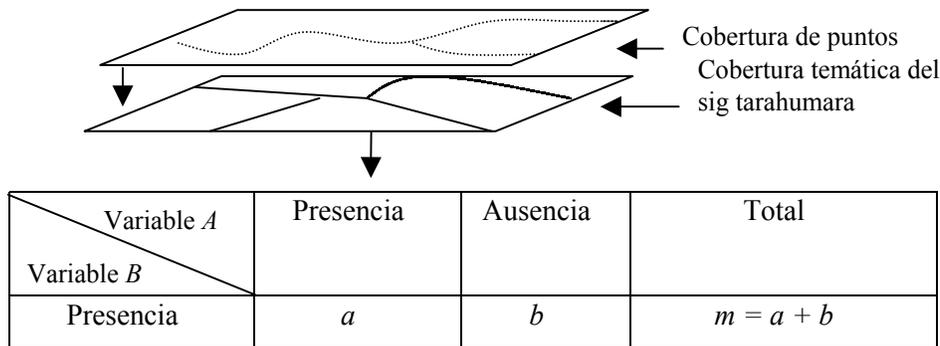
Con la finalidad de obtener valores más representativos que establezcan una relación de la presencia de *Pinus arizonica* con los factores de pendiente y orientación, fue necesario ampliar el radio de los puntos de muestreo en aproximadamente 200 metros y obtener la media de los valores de los píxeles dentro de éstos, determinando así la clase o rango a la cual se asoció la presencia de la especie. Para este propósito se crearon dos coberturas de círculos, en donde cada uno representa un punto de muestreo y cuenta con un radio aproximado de 200 metros, abarcando más de 14 hectáreas de superficie circular en el terreno. Cada una de las coberturas fue generada por separado a partir de un archivo shape mediante el sistema PC ARCVIEW™, una de ellas contiene exclusivamente los

muestro cubren un promedio de 18 píxeles. Un último proceso de orden estadístico consistió en la obtención de la media de cada uno de los píxeles que conforman los puntos, obteniendo una tabla con los promedios; los cuales se colocaron de acuerdo a los rangos de clasificación para cada factor, cuantificando las frecuencias con que se presentan para ser procesadas estadísticamente por medio de tablas de contingencia.

5. ANALISIS ESTADÍSTICO: PRUEBA DE ASOCIACIÓN DE VARIABLES

En base a la metodología propuesta por Ludwig y Reynolds (1988), se llevó a cabo la prueba de asociación de variables por medio de los tres pasos siguientes: sumarización de datos, planteamiento de la hipótesis y el desarrollo de la prueba estadística.

En la sumarización de datos a cada par de variables, A y B , se obtuvieron los datos para a , b , c y d y N , referentes a la ocurrencia de estas y el tamaño de la población. Esta información fue sumarizada en forma de una tabla de 2×2 , en donde son colocadas las frecuencias observadas de presencia y ausencia de *Pinus arizonica*, obtenidas durante la tabulación cruzada (Figura 3).



$H_0 = A$ y B son variables independientes

$H_a = A$ y B no son variables independientes

La regla de decisión establece que siempre que el valor de χ^2 calculada sea mayor al valor de χ^2 de tablas, con 1 grado de libertad, a un α del 5 % de probabilidad de error tipo I, (equivalente a 3.84), se rechaza H_0 , por lo tanto, las variables analizadas no son independientes una de la otra.

El tercer paso, correspondiente al cálculo de la prueba de chi cuadrada, se realizó mediante la utilización del programa computacional Excel, en el cual, con el fin de facilitar y agilizar la obtención de los valores de χ^2 , las tablas de contingencia fueron adaptadas a una hoja de cálculo.

Tabla de contingencia de 2 X 2 adaptada para la hoja de cálculo electrónica

Los datos se acomodaron en la hoja de cálculo siguiendo el modelo de las tablas de contingencia; de esta forma en la columna “A” se especificaron las variables de presencia y ausencia de *Pinus arizonica* con los números 1 y 2, respectivamente, acomodados en las filas 2 y 3 de ésta. En la primer fila de las siguientes columnas se indicó el rango o clase del factor ambiental con el que interactuó la variable. Es importante mencionar que cada columna empleada en la hoja de Excel corresponde a una tabla de 2 X 2 individual para cada rango o clase. En las filas 2 y 3 de cada columna se colocaron los valores obtenidos durante la tabulación cruzada (Figura 4).

	A	B	C	D	E
--	----------	----------	----------	----------	----------

De esta forma tenemos:

$B2 = (a)$ = número de unidades de muestreo donde ambas variables ocurren

$B3 = (c)$ = número de unidades de muestreo donde la variable B ocurre, pero no A

$E2 = \Sigma (B2...D2)$ = sumatoria total del número de unidades de muestreo donde ambas variables ocurren

$E2 - B2 = (b)$ número de unidades de muestreo donde la variable A ocurre, pero no B

$E3 = \Sigma (B3...D3)$ = sumatoria total del número de unidades de muestreo donde la variable A ocurre, pero no B

$E3 - B3 = (d)$ = número de unidades de muestreo donde ni A ni B ocurren

$E4 = (N)$ = número total de unidades de muestreo

Se tiene así:

$$E2 = m$$

$$B4 = r$$

$$E3 = n$$

$$E4 - B4 = s$$

Fórmula adaptada para hojas de cálculo electrónica

La fórmula empleada en el cálculo de los diferentes valores fue adaptada para su uso en el programa Excel, para el cálculo de la chi cuadrada se utilizó la fórmula que aparece

Determinación del tipo de asociación entre variables

Como paso final del análisis estadístico, fue necesaria la determinación del tipo de asociación existente entre las variables bajo estudio, en éste caso la presencia o ausencia de *Pinus arizonica* asociada a los rangos de los distintos factores ambientales. Mediante la utilización de la formula 11 se logró establecer si la asociación entre las variables era positiva o negativa. La asociación positiva indica que el rango o clase de factor ambiental se asocia con la presencia de la especie, esto significa que el par de variables ocurren juntas más seguido que las esperadas; en el caso de la asociación negativa, el rango o clase del factor ambiental se ve asociado con la ausencia de la especie, para el caso el par de variables ocurren en menor grado que las esperadas.

6. ELABORACIÓN DE UN MAPA DE AREAS POTENCIALES PARA LA DISTRIBUCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE *Pinus arizonica* EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El siguiente paso consistió en desarrollar un mapa indicando las áreas potenciales para el establecimiento de *Pinus arizonica*, en las cuales deberían cumplirse uno a uno, cada rango de los factores, indicando así la posibilidad de que ocurra presencia de la especie de forma natural o bien, indicando aquellas partes de la región donde es factible el establecimiento de la especie mediante plantaciones.

La cartografía se desarrolló por medio del programa IDRISI™, en donde, las coberturas digitales de altitud, orientación, pendiente, edafología, textura del suelo, fases físicas del

en cada cobertura mantuvieron su valor, lo cual significa que los rangos de interés en ambos mapas se presentan en el mismo lugar en el área; de la misma forma los pixeles que no contengan categorías de interés, designadas con valores 0, al ser multiplicados por los pixeles de la otra matriz indicaran áreas donde no están presentes los rangos de interés, descartándolas. El resultado es una cobertura que contiene únicamente las áreas donde los rangos o clases de interés de los factores están presentes. Cada cobertura de salida es multiplicada por otra sucesivamente hasta obtener el mapa deseado (Figura 5).

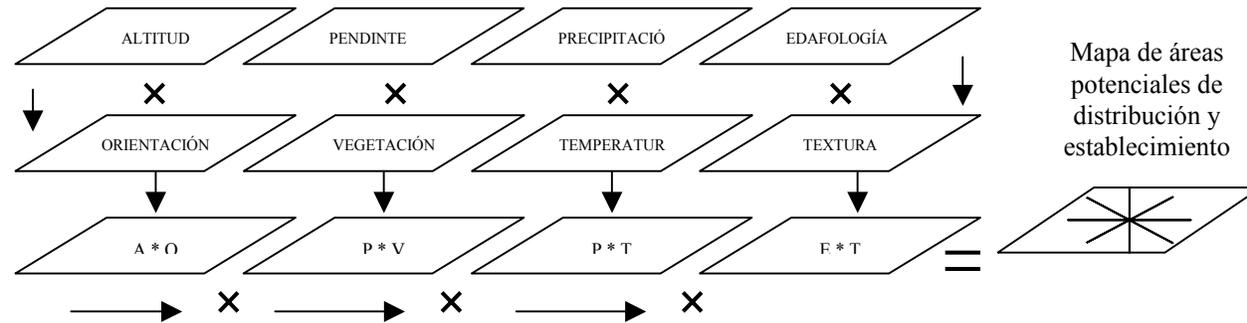


Figura 5. Esquema general del proceso para el desarrollo de un mapa de áreas con alta probabilidad de distribución y/o con potencial para el establecimiento de *Pinus arizonica*.

Una vez generado el mapa de áreas potenciales para la distribución y/o establecimiento de *Pinus arizonica*, se calculó el total de la superficie en kilómetros cuadrados de las áreas y el porcentaje que éstas representan dentro de la Sierra Tarahumara, lo anterior se hizo cambiando la proyección del sistema de coordenadas de grados decimales a UTM, considerando que éstas últimas representan la latitud y longitud en metros a partir del meridiano central de cada zona y del ecuador terrestre (INEGI, 1993).

elevación sobre el nivel del mar, pendiente, orientación, tipo de suelo, fases físicas del suelo, textura del suelo, precipitación media anual, temperatura media anual y el tipo de vegetación, son presentados en forma tabulada para facilitar su comprensión.

Cada uno de los cuadros indicados contiene una columna con un identificador (Id), el cual fue utilizado por el sistema para diferenciar cada clase de los factores en estudio. Enseguida se muestran los rangos o clases que intervienen, éstos varían dependiendo el factor ambiental analizado. Las dos columnas siguientes muestran el número de sitios de muestreo en donde se determinó la presencia o ausencia, respectivamente, de *Pinus arizonica*, con relación a cada uno de los rangos o clases.

Los resultados del análisis de la chi cuadrada calculada (χ^2) son presentados en la última columna. Aquellos datos que sean significativos, en los cuales χ^2 calculada es mayor a la χ^2 de tablas, con un grado de libertad y una probabilidad del 0.05% de cometer el error tipo I, equivalente a un 3.84, serán distinguidos con un asterisco, indicando que la ocurrencia o ausencia de *Pinus arizonica* y el rango del factor ambiental en cuestión no son independientes uno del otro, rechazándose así la hipótesis nula.

Es importante indicar que los valores de chi cuadrada calculada determinan una asociación positiva así como negativa de la presencia de la especie con respecto a la del factor ambiental, lo cual indica que éstos resultados pueden ser significativos en el caso de que la presencia de ciertos rangos o clases determinen la presencia de la especie en el área, indicando así un sentido proporcional o positivo en la asociación de las variables; sin embargo, es posible que aun siendo significativos los valores de chi cuadrada, la presencia

independientes no fue necesario determinar el orden de la dependencia, puesto que no la hay.

Para realizar la determinación de los rangos o clases de los nueve factores ambientales incluidos en el estudio como las asociadas a la distribución de *Pinus arizonica* en el área, fueron considerados aquellos que presentaran valores significativos de chi cuadrada, así como una asociación positiva.

Los nueve factores ambientales considerados en el trabajo fueron ubicados en cuatro grupos afines, los cuales son presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Ubicación de los factores ambientales por grupo.

Grupo	Factor
Aspecto	Altitud (msnm)
	Orientación (rumbos)
	Pendiente (porciento)
Edafología	Unidad de suelo
	Textura de suelo
	Fase física
Clima	Temperatura media anual (°C)
	Precipitación media anual (mm)
Ecología	Tipo de vegetación

A continuación se presenta una explicación y discusión referente a cada uno de los factores bajo consideración, en donde se aclaran los resultados anteriormente indicados.

1. ASPECTO

Altitud sobre el nivel del mar

Es posible apreciar en el Cuadro 5 que las categorías que determinan los rangos altitudinales influyentes en la distribución de *Pinus arizonica*, según la significancia de los valores obtenidos en la prueba de chi cuadrada, y que mantuvieron una asociación positiva, son los de las categorías marcada con los identificadores 13, 14 y 15, las cuales abarcan altitudes que van de mayor o igual a los 2400 metros hasta altitudes menores de los 3000 metros sobre el nivel del mar.

Estos datos pueden ser cotejados con información proporcionada por autores como García y González (1998), quienes mencionan que la especie se distribuye en altitudes que van de los 2500 a los 2750, posiblemente hasta los 2800 metros sobre el nivel del mar. Por su parte, Rentería (1996) en su estudio taxonómico de las coníferas de la reserva de la biosfera “La Michilía”, en Durango, reporta presencia de la especie en rangos altitudinales que van desde los 2370 hasta los 2710 metros, datos similares a los obtenidos en este estudio.

5	800 - 1000	0	10	*4.242
6	1000 - 1200	0	13	*5.944
7	1200 - 1400	0	2	0.108
8	1400 - 1600	0	14	*6.516
9	1600 - 1800	2	56	*26.721
10	1800 - 2000	4	87	*41.399
11	2000 - 2200	58	199	*25.092
12	2200 - 2400	131	275	3.697
13	2400 - 2600	150	126	*49.479
14	2600 - 2800	91	11	*132.693
15	2800 - 3000	23	1	*35.129
Total		459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva.

Es muy posible que la especie tenga una distribución menor a los rangos obtenidos en el estudio, Perry (1991) indica que *Pinus arizonica* crece a partir de los 2000 metros de altitud, por lo tanto, debido a la imposibilidad de realizar un muestro, en el cual se registrara un número homogéneo para cada una de las clases de altitud, determinándose una unidad mínima de muestreo para cada una, es posible que el número de sitios muestreados de presencia, en el caso de la categoría 11, influyera sobre el tipo de asociación obtenida en este rango o clase, sucediendo lo mismo en el caso de la categoría con identificador 12, en donde se determinó una falta de significancia en el valor de la chi cuadrada, quedando ambas excluidas.

Se observa una tendencia general, en los sitios de muestreo a partir de la categoría 3 hasta la 8, correspondiente a un rango altitudinal que abarca de los 400 hasta antes de los 1600

categorías superiores de altitud la especie continua ausente.

Esta tendencia corresponde claramente a lo indicado por los autores ya mencionados, quienes no advierten presencia de la especie para ninguno de éstos rangos altitudinales, posiblemente y considerando que los factores climáticos se ven afectados por los gradientes altitudinales (Spurr y Barnes, 1982), las necesidades de precipitación y temperatura que la especie requiere no sean cumplidos totalmente en estas categorías limitando así su distribución espacial en el área.

En las siguientes dos categorías, correspondientes a la 9 y 10, las cuales indican rangos que van de los 1600 hasta antes de los 2200 metros de altitud, se observa que en pocos sitios de muestreo se registró presencia de la especie, sin embargo, posiblemente éstos sitios correspondan a áreas asiladas o muy específicas en donde la interacción de los factores no sea propicia para el establecimiento de la especie, dado que los resultados demostraron que a pesar de ser valores de chi cuadrada significativos, la asociación es de tipo negativa, por lo tanto no se consideran como rangos de distribución.

En el caso de la última categoría, la cual abarca la clase de altitud que va desde igual o mayor a 2800 y menor a los 3000 metros, se registró poca presencia de la especie sobre éstos rangos, sin embargo este rango presentó significancia y asociación positiva con respecto al valor de chi cuadrada, por lo tanto, probablemente la especie solo se encuentre presente en estas altitudes en mucho menor frecuencia a las demás. Es importante apreciar que el número total de sitios, tanto de presencia como ausencia, para esta categoría es considerablemente bajo en comparación del resto, por lo tanto, elevar el número de sitios

resultados advierten que ninguna de las categorías utilizadas presentó valores de chi cuadrada significativos (Cuadro 6), por lo tanto, se asume que la presencia de una exposición determinada, no define en todo caso la presencia o ausencia de la especie en esta región.

Cuadro 6. Exposiciones asociadas a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Id	Orientación	Presencia	Ausencia	χ^2
1	Zenital	1	7	1.058
2	Norte-Noreste	19	29	0.122
3	Este-Noreste	54	106	0.352
4	Este-Sureste	91	127	3.255
5	Sur-Sureste	84	144	0.025
6	Sur-SurOeste	93	140	1.540
7	Oeste-SurOeste	73	146	0.780
8	Oeste-NorOeste	40	91	1.747
9	Norte-NorOeste	4	20	3.215
Total		459	810	N = 1269

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva.

Aún cuando en éste trabajo los resultados no indican que la distribución de *Pinus arizonica* se asocie con una exposición en particular, en trabajos realizados en Bocoyna, en el estado de Chihuahua, relacionados con el establecimiento de la especie, Islas y Mendoza (1989)

correspondientes a Chihuahua, son más secas, colocando al *Pinus arizonica* como especie representativa de estas áreas.

Pendiente

En lo referente a las clases de pendiente asociadas a la distribución de la especie, los valores de la chi cuadrada correspondientes a las pendientes de tipo leve y abrupta, representados en el Cuadro 7 con los identificadores 1 y 6 respectivamente, resultaron significativos con relación al valor de chi cuadrada, y con asociaciones positiva y negativa, respectivamente. Se asume que *Pinus arizonica* se distribuye en zonas con pendientes que van de 0 a un 5 %, mientras que se ve limitada en condiciones de pendientes muy pronunciadas o abruptas, las cuales consideran valores mayores o igual al 40%.

Cuadro 7. Clases de pendiente asociadas a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Id	Tipo de pendiente	Rango de pendiente (%)	Presencia	Ausencia	χ^2
1	Leve	0 – 5	143	205	*4.741
2	Ligera	5 – 10	123	186	2.135
3	Moderada	10 – 20	116	199	0.045
4	Fuerte	20 – 30	47	111	2.915
5	Muy fuerte	30 – 40	18	46	1.540
6	Abrupta	40 - 100	12	63	*13.133
Total			459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Islas y Mendoza (1989), quienes reportan en su estudio que *Pinus arizonica* se establece en sitios con pendientes menores al 15%, indicando que en valores superiores a éste el establecimiento de la regeneración se ve

pueden ser también propicias para la distribución de ésta, sin embargo, debido a que el mayor número de sitios de muestreo fue tomado siguiendo el patrón de la carretera, y considerando que son trazadas sobre las áreas con pendientes menos pronunciadas y en lugares poco accidentados, probablemente esta tendencia se vea reflejada sobre los resultados obtenidos en este caso.

Aunque se intento hacer una corrección de este efecto sobre los sitios de muestreo por medio del uso de buffers, que abarcaran una mayor área de influencia de cada sitio, no se logró un ajuste considerable en los datos, posiblemente debido a que la toma de un promedio de las diferentes pendientes registradas para los pixeles incluidos en cada buffer, no demostró la tendencia general de éstas en el área de influencia, posiblemente la implementación de otra medida de dispersión como la moda, con la cual se obtendrían datos sobre la tendencia de las pendientes en los buffers, se obtengan resultados con una mayor certeza.

En base a las observaciones realizadas en campo, en los diferentes sitios de muestreo donde se registró presencia de la especie, es posible constatar que en su mayoría éstos presentan pendientes de tipo leve, ligera y moderada, las cuales abarcan rangos que van de un 0 a un 15%.

Posiblemente, la presencia de la especie se ve limitada en pendientes pronunciadas, ya que éstas tienen un efecto indirecto sobre el suministro de agua del suelo, dado que el declive acentuado acelera la circulación del agua del suelo (Braun-Blanquet, 1950); además, considerando que *Pinus arizonica* crece y tiene un mejor desarrollo en suelos con buen

Como se aprecia en el Cuadro 8, existen dos unidades de suelo que mantienen, según los valores de chi cuadrada, una asociación con la presencia de *Pinus arizonica* en el área de estudio; estas son feozem háplico y regosol eútrico, donde se presentaron valores significativos y una asociación positiva, con valores de 35.327 y 15.614, respectivamente.

Cuadro 8. Unidades de suelo asociadas a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Id	Unidades de suelo	Presencia	Ausencia	χ^2
2	Cambisol eútrico	0	1	0.083
3	Cambisol vértico	0	5	1.489
4	Feozem háplico	242	287	*35.327
5	Feozem lúvico	2	7	0.277
6	Litosol	15	156	*62.894
9	Fluvisol eútrico	0	3	0.496
10	Luvisol crómico	4	47	*17.212
11	Luvisol órtico	0	10	*4.2417
13	Regosol eútrico	196	255	*15.614
15	Vertisol pélico	0	30	*15.844
19	Xerosol lúvico	0	9	3.6797
Total		459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva. Según la descripción del área de estudio, en donde se definen las unidades de suelo predominantes, basados en las cartas edafológicas de la región Tarahumara (SPP, 1981a), es posible apreciar que las unidades resultantes como las asociadas a la distribución de la especie, son también las más abundantes en el área, además de que ciertamente sus características las definen como apropiadas o aptas para soportar este tipo de vegetación.

castañozem. Los feozem profundos y localizados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego y temporal con altos rendimientos. Los menos profundos situados en laderas y pendientes tienen rendimientos bajos y son muy susceptibles a erosionarse. Sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables.

La asociación de *Pinus arizonica* con las diferentes unidades edáficas obtenidas, concuerda con lo indicado por autores como Rentería (1996), quien menciona que la especie es encontrada en suelos delgados, someros, con materia orgánica y de color café claro, con buena profundidad y buen drenaje. Por su parte, Chacón (1983) realizó trabajos dentro del área de estudio, evaluando regeneración de *Pinus arizonica*, advirtiendo que la especie se presenta en suelos de coloración café rojiza, ricos en materia orgánica y con un porcentaje de carbonato de calcio que varía de 0.42 a 3.57, son suelos ácidos con alto contenido en nitrógeno; en ambos casos varias de estas características se ajustan a las de la descripción de la unidad feozem háplico.

En el caso del regosol eútrico, éstos son suelos que se pueden encontrar en diferentes climas y diferentes tipos de vegetación, caracterizados por no presentar capas distintas. En general, son claros, muy parecidos a la roca que los subyace; encontrados en playas, dunas y en mayor o menor grado en las laderas de todas las sierras mexicanas, acompañados de litosoles y afloramientos de roca o tepetate. Son de fertilidad moderada o alta, son someros y no presentan pedregosidad (INEGI, 1990).

significativos fueron descartados por mantener una asociación negativa entre la unidad edáfica y la presencia de la especie.

Por medio de la tabulación cruzada, y empleando las coberturas de pendientes y suelos, se relaciono la presencia de las unidades edáficas con asociación negativa sobre *Pinus arizonica*, con los rangos de pendiente del área, obteniéndose así la frecuencia con que estas ocurren en los diferentes tipos de pendientes. Se determinó que el litosol, a pesar de ser una de las unidades edáficas más abundantes en el área de estudio, probablemente se asocia a la no presencia de *Pinus arizonica*, debido a que son suelos localizados en mayor o menor grado en laderas, barrancas y lomerios, además de contar con profundidades menores a los 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro (INEGI, 1990). De la misma forma los luvisoles crómico y órtico son suelos abundantes en zonas boscosas del país, y por lo tanto de importante uso forestal (INEGI, 1990); sin embargo son unidades edáficas presentes con mayor frecuencia en terrenos con pendientes mayores al 10% dentro del área de estudio. En el caso del vertisol pélico, a pesar de ser un suelo común en pendientes leves, es muy arcillosos y por lo tanto presenta problemas de drenaje e inundación (INEGI, 1990). Estas características pueden ser una limitante para el establecimiento de *Pinus arizonica*, si se considera que estos árboles se presentan en suelos con buena profundidad, buen drenaje y sobre todo en valles y mesas (Perry, 1991).

Textura del suelo

En lo referente a la clase textural del suelo, la cual indica el tamaño relativo de las partículas que lo conforman, relacionada con la presencia de la especie, los resultados demuestran que existe una alta preferencia de la especie por suelos de texturas medias, si

2	Media	458	754	*29.077
3	Fina	1	56	*29.077
TOTAL		459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva.

Chacón *et al.* (1989) indica que los suelos que mantienen este tipo de vegetación se caracterizan por ser arcillo – limosos, los cuales contienen de 0 a 20 % de arena, de un 40 a un 60 % de limo y valores similares en los porcentajes de arena (Ortiz-Villanueva y Ortiz-Solorio, 1990), por lo tanto, puede considerársele como suelos que van de una textura media a fina lo cual denota una clase textural tendiente a la de tipo media.

En este, caso ambos valores de chi cuadrada resultaron significativos, y con la particularidad de ser el mismo para las dos clases, sin embargo, para el caso de la clase textural fina, el tipo de dependencia encontrada fue de orden negativo, asumiéndose que posiblemente la presencia de esta textura en ciertas áreas de la región, involucra la ausencia de *Pinus arizonica*; este comportamiento de los valores se debe a que al evaluarse únicamente dos rangos, la proporción del número de presencias y ausencias se divide a la mitad, asignando el mismo valor, pero con diferente dependencia.

Fases físicas

Ésta corresponde a la presencia de fragmentos de roca y materiales cementados en los suelos (INEGI, 1990). Los resultados indican que la especie se ve asociada de manera positiva con las fases físicas de tipo lítica y pedregosa (Cuadro 10).

Cuadro 10. Fases físicas asociadas a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

La fase lítica, perteneciente al grupo de las fases de profundidad, se refiere a una capa de roca dura y continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de raíces; por su parte la fase pedregosa se refiere a la presencia de fragmentos de roca mayores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno o cercana a ella (INEGI, 1990).

En el caso de la categoría con identificador 0, correspondiente a las áreas sin fase física, la dependencia resultó negativa, sucediendo lo mismo en el caso de la fase gravosa, lo cual determina la ausencia de la especie en zonas con estas características en sus suelos. Sin embargo, el área determinada por suelos libres de fase física tiene una amplia cobertura sobre la zona, por lo tanto, se puede observar una marcada tendencia de la especie por establecerse en suelos con presencia de estas fases, esto puede explicarse si se considera que los suelos en que *Pinus arizonica* se distribuye, tales como el regosol, según los resultados obtenidos, son someros y con afloramientos, lo cual seguramente los condiciona a encontrarse en algún tipo de fase física.

No obstante que los resultados de chi cuadrada calculada no representan valores proporcionales a su dependencia, se puede asumir, que en este caso, la fase lítica probablemente tenga una mayor relación con la distribución del pino, si se considera que el número de sitios muestreados sobre ésta característica es proporcionalmente mayor al muestreados con fases física pedregosa, teniendo en consideración que su distribución abarca suelos con características de nula pedregosidad.

Es importante considerar que la medida de la temperatura media anual solo denota una característica muy general del área de distribución de la especie, es decir, es necesario tomar en cuenta que la distribución de *Pinus arizonica* se ve limitada también además por otras variables asociadas con el factor, que quizás sean aun más determinantes, tales como son las temperaturas extremas, máximas y mínimas, además de la incidencia de heladas; este tipo de factores tienen gran influencia sobre el establecimiento de la especie, sobre todo durante etapas críticas de su desarrollo. Referente a ello Chacón *et al.* (1989) encontraron que las bajas temperaturas son un factor que determina una alta mortalidad en el establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* en el área de estudio.

Cuadro 11. Temperatura media anual asociada a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Id	Temperatura media anual (°C)		Presencia	Ausencia	χ^2
	\geq	<			
4	8 - 10		91	57	*45.277
5	10 - 12		325	344	*93.248
6	12 - 14		41	224	*61.027
7	14 - 16		1	93	*53.564
8	16 - 18		1	48	*24.199

En el identificador 6, con una temperatura media de 15 °C, aún y cuando fue registrado un cierto número de sitios con presencia de la especie, se asume que no es un rango que determine su distribución, dado que el número de ausencias registradas es considerable, lo cual determina una asociación negativa en el valor de chi cuadrada registrado, denotando que la presencia del rango de la temperatura determinará la ausencia de la especie; de forma similar ocurre con el resto de los rangos.

Para el caso del rango con identificador 10, se encontró que es independiente a la presencia o ausencia de la especie, tomando en cuenta la tendencia de la especie por los rangos de temperatura menores, es posible que el número de sitios concordantes influyera en el resultado, lo cual indica que seguramente representará una limitante en la distribución de *Pinus arizonica*.

Precipitación media anual

En el caso de los valores de precipitación media anual relacionados con la distribución de esta especie, se tiene que en categorías con identificador 8 y 9, que abarcan rangos de 600 a 800 mm y de 800 a 1000 mm, con una precipitación media de 700 mm y 900 mm por año, respectivamente, la especie presentó una asociación positiva, de acuerdo a los valores de chi cuadrada indicados en el Cuadro 12, lo cual indica una asociación positiva por parte de la especie sobre dichos rangos.

8	600 - 800	171	254	*4.313
9	800 - 1000	217	264	*26.220
10	1000 - 1200	65	127	0.414
11	1250 - 1450	0	20	*9.978
Total		459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva.

Es posible apreciar que los valores obtenidos como resultados son semejantes a los mencionados por autores como Eguluz (1978), indicando que el área de distribución muestra una precipitación variable de 400 a 1000 mm anuales, las más frecuentes de 500 a 750 mm, y Perry (1991) menciona la distribución de la especie en áreas con precipitación media anual de entre 500 y 600 mm, indicando regiones de hasta 650 mm.

Considerando que la cartografía digital, para el caso de la precipitación, se encuentra basada en las isoyetas que tienen influencia sobre el área de estudio, las cuales gráficamente equivalen a líneas de anchos variables, lo más probable es que la categoría 10, con un rango de precipitación de 1000 a 1200, y considerando que esta se refiere a que continua los rangos con los cuales la especie mostró estar asociada, no sea una determinante de la presencia o ausencia de la especie, es decir, tomando en cuenta el resultado obtenido, es probable que la especie no se vea influida en ninguna medida por

posiblemente las condiciones climáticas no sean favorables para la especie, y considerando que el clima representa uno de los principales reguladores de la distribución, conforman una limitante para la especie, influyendo sobre los demás factores.

4. ECOLOGÍA

Tipo de vegetación

El Cuadro 13 presenta los diferentes tipos de vegetación y usos de suelo existentes en el área de estudio y sobre los cuales se realizó la prueba de chi cuadrada para el *Pinus arizonica*, el cual sólo presentó asociación con el tipo de vegetación clasificado de acuerdo con INEGI (1985) como bosque de pino, en el cual los valores de chi cuadrada demostraron una dependencia positiva, con un valor de 123.107.

Cuadro 13. Tipos de vegetación asociada a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Id	Tipos de Vegetación	Presencia	Ausencia	χ^2
1	Agricultura de Riego	2	15	3.438
4	Agricultura de temporal	44	93	0.905
10	Bosque bajo abierto	1	6	0.663
12	Bosque de encino	6	38	*9.039
13	Bosque encino con vegetación secundaria.	0	29	*15.253

19	Bosque pino – encino	58	126	1.780
20	Bosque pino – encino vegetación secundaria	6	33	*6.629
38	Matorral subtropical	0	26	*13.485
44	Pastizal inducido	11	27	0.592
48	Pastizal natural	0	44	*24.232
50	Selva baja caducifolia	0	3	0.496
57	Vegetación halófila	1	0	0.083
65	Bosque pino encino (E)	0	3	0.496
TOTAL		459	810	

Id = identificador, χ^2 = valor de chi cuadrada, * = valor significativo, negrita = asociación positiva.

Los bosques de pino son rodales más o menos homogéneos dominados principalmente por este género. Esto es confirmado por García y González (1998), quienes mencionan que *Pinus arizonica* por lo general se presenta formando poblaciones puras o comúnmente asociada con *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. ayacahuite* y *P. teocote*. Es importante recordar que el muestreo se enfocó básicamente al bosque de pino, además de que según las observaciones de campo, *Pinus arizonica* tiende a formar rodales puros en mesas y valles. Sin embargo, autores como Rentería (1996) reportan también una frecuente asociación de la especie con encinos tales como *Quercus durifolia*, *Q. hartwegii*, *Q. Sideroxyla*; aun así, de acuerdo con los valores de chi cuadrada no mostró asociación con los bosques de pino encino. Probablemente este tipo de vegetación no es una determinante definitiva para la presencia o ausencia de la especie, sin embargo, esto no descarta la presencia de *Pinus arizonica* en ellos, considerando que parte de éstos bosques se distribuyen en áreas donde los factores ambientales le son propicios a la especie.

pesar de contar con características ambientales propicias para su establecimiento, probablemente la afectación de estas zonas condicione la ausencia de *Pinus arizonica*.

A pesar de que se reporta la distribución de la especie en los bosques de encino pino y bosques de encino pino con vegetación secundaria, (INEGI, 1985), los resultados indican que su presencia limitan la distribución de *Pinus arizonica*, probablemente esto se deba a que las áreas en donde éstos se desarrollan presentan rangos de pendientes desfavorables para la especie.

En lo referente a las áreas destinada a la agricultura, se aprecia en los resultados que no son una determinante de la distribución del pino en ningún sentido, probablemente debido a que son el resultado de desmontes y cambios en el uso de suelo, transformándolo de aptitud forestal a uso agrícola, lo cual indica que probablemente algunas de las áreas aún cuando reúnen las características necesarias para su distribución, no pueden ser pobladas por las especie por situaciones ajenas a sus requerimientos ecológicos. En aquellas dominadas por los tipo de vegetación tales como el bosque de encino, el pastizal natural y vegetación de matorral, los valores de chi cuadrada reportan negatividad en la asociación de variables, asumiéndose esto a que las condiciones ambientales que las especies características de cada una de ellas se desarrollan en condiciones climáticas, edáficas y geográficas desfavorables o poco propicias para la distribución del pino bajo estudio.

5. CONCENTRACIÓN DE RESULTADOS DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA DISTRIBUCIÓN DE *Pinus arizonica* EN LA SIERRA TARAHUMARA, CHIHUAHUA

De acuerdo con los resultados, *Pinus arizonica* presenta una distribución en la Sierra Madre Occidental, dentro de la región de la Sierra Tarahumara en Chihuahua, que va desde un rango mayor o igual a los 2400 metros de altitud hasta menor de los 3000 metros, distribuido en pendientes leves que van del 0 al 5 % en su valor, y en donde la orientación no presenta una influencia directa sobre la especie. Edáficamente, la especie mantiene una relación de distribución sobre las unidades de suelo feozem háplico y el regosol eútrico; con textura media y fases físicas de tipo lítica y pedregosa. Distribuida entre rangos con temperaturas medias de 9 y 11° C y con rangos de precipitación media que van de los 700 a los 900 mm anuales; referente en aspectos ecológicos, la especie se asocia en mayor grado con bosque de pino.

Cuadro 14. Concentración de resultados de los factores asociados a la distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Grupo	Factor	Clases y rangos
Aspecto	Altitud (msnm)	2400 - 3000
	Orientación (rumbos)	No definida
	Pendiente (porcentaje)	Leve (0 – 5 %)
Edafología	Unidad de suelo	Feozem háplico
		Regosol eútrico
	Textura de suelo	Media
	Fase física	Lítica
		Pedregosa
	Temperatura media anua	8 - 10

independiente, es decir, no se consideró en ningún momento la posible interacción que éstos puedan presentar.

6. AREAS POTENCIALES PARA LA DISTRIBUCIÓN Y/O ESTABLECIMIENTO DE *Pinus arizonica* EN LA SIERRA TARAHUMARA, CHIHUAHUA

Las áreas indicadas en la Figura 6 son aquellas zonas dentro de la Sierra Tarahumara en donde son cumplidos los diferentes rangos y categorías de los factores ambientales bajo estudio, a excepción de la orientación, debido a que ninguna de sus categorías resultó estar asociada con la distribución de la especie; estas áreas son denominadas como potenciales para el establecimiento y distribución de *Pinus arizonica*, asumiendo que en ellas se cumplen las necesidades ambientales de la especie, tomando como base los resultados del presente trabajo. Estas áreas representan una inferencia sobre la posible distribución que la especie pueda tener en la Sierra, basada en el análisis de los factores.

Las consideraciones anteriores no significan que la especie no se distribuya en otras zonas dentro de la Sierra, o que en su totalidad esté presente en las indicadas en la cartografía. Para evitar una confusión respecto al término de potencialidad, cabe indicar que éste se refiere básicamente a que existe una mayor probabilidad de encontrar presencia de *Pinus arizonica* de forma natural, o bien que según los requerimientos ambientales del mismo, son zonas en donde su establecimiento tiene una mayor posibilidad de ocurrir, ya sea de forma natural o bien mediante plantaciones.

Sin embargo, con el sólo hecho de ser cumplidas todas las categorías ambientales indicadas anteriormente, es difícil precisar con certeza absoluta la ocurrencia de la especie de forma natural, o su total establecimiento, esto se debe a que la interacción que pueda ocurrir entre los diferentes factores ambientales, tanto los estudiados como aquellos que no

CONCLUSIONES

1. En base a los resultados obtenidos y la discusión desarrollada se concluye que los valores y categorías de los nueve factores ambientales analizados en el estudio, y a los cuales se asocia en parte la distribución de la especie son los siguientes:

Aspecto:

- El rango de altitud sobre el nivel del mar va de la categoría igual o mayor a 2400 hasta la de valores menores a los 3000 metros.

- Las unidades de suelo asociadas con la distribución de la especie son el feozem háplico y el regosol eútrico.
- La clase textural media resultó ser la más asociada
- La fase físicas lítica demostró una alta asociación seguida por la fase pedregosa.

Clima:

- Los rangos de la temperatura media anual son de 8° a 10°C y de 10° a 12° C
- Los rangos de precipitación media anual son los que abarcan de 600 a 800 mm y de 800 a 1000 mm.

Ecología:

- El tipo de vegetación asociado con la distribución de la especie es el bosque de pino
2. Se asume por lo tanto que en aquellas zonas en donde son cumplidos cada uno de los factores ambientales anteriores, en sus respectivos rangos y clases, la probabilidad de encontrar presencia de *Pinus arizonica* es mayor, o bien de que la especie tenga mayores posibilidades en su establecimiento, ya sea de forma natural o inducida.

RECOMENDACIONES

- A partir de esta información es posible realizar una planeación más adecuada sobre las áreas propicias para el establecimiento de plantaciones comerciales de la especie, considerando que se cuenta con una aproximación de los rangos requeridos por *el Pinus arizonica* para su óptimo establecimiento, además de proporcionar cartografía que define las áreas más adecuadas para la región.
- Se recomienda incluir en trabajos similares a éste, la influencia no sólo de los factores aquí empleados, sino de todos aquellos que pudieran determinar una limitante en la

- La metodología empleada en el trabajo demuestra que el uso de sistemas de información geográfica es factible para la manipulación de grandes cantidades de información, por lo tanto, se recomienda ampliamente el uso de éstos en trabajos similares a éste y en aquellos donde los volúmenes de datos sean considerables.

madereros de la región Tarahumara, en Chihuahua, destacando como partícipe directo en la producción forestal. En el presente trabajo, mediante el uso de un sistema de información geográfica, se identificaron los rangos o clases de nueve factores ambientales que se asocian en su distribución dentro de esta región. Los factores bajo estudio son la altitud sobre el nivel del mar, exposición, pendiente, tipo de suelo, textura del suelo y fase física de éste, temperatura media anual y precipitación promedio, así como el tipo de vegetación asociada.

El trabajo consistió en un muestreo sistemático de campo, el cual fue realizado en bosques de pino, siguiendo como base la ruta de las carreteras, caminos y brechas de la Sierra Tarahumara, en el cual se registró la presencia o ausencia de la especie por unidad de muestreo. La información recabada fue complementada por una base de datos proporcionada por Celestino Flores López. Los datos fueron integrados a los sistemas de información geográfica de formato vectorial PC ArcInfo™ y PC ArcView™, generando una cobertura o mapa digital con la información geográfica de cada uno de los sitios de muestreo. Posteriormente, mediante el empleo del sistema raster Idrisi™, se interactuó la información de éste con la cartografía temática digital del área de estudio, la cual incluyó mapas sobre altitud, exposición, pendiente, tipo de suelos, textura del suelo, fases físicas de éste, además de mapas sobre temperatura media, precipitación media y el tipo de vegetación; ésto se logro por medio de la sobreposición de los mapas, obteniéndose la frecuencia en que se presentan los sitios de muestreo sobre las diferentes características de las coberturas digitales. El proceso estadístico para el análisis de estos datos consistió en el uso de tablas de contingencia de 2 por 2, adaptadas a una hoja electrónica de calculo (Excel), mediante las cuales se determinó la asociación de la especie con respecto a las diferentes variables.

también se asocia con temperaturas medias de 9 y 11° C, y con rangos de precipitación media que van de los 700 a los 900 mm anuales; referente en aspectos ecológicos, la especie se asocia en mayor grado con bosque de pino.

Mediante los resultados, y por medio del sistema Idrisi™, se desarrolló un mapa en el cual se especificaron las zonas dentro de la región en donde son cumplidos cada uno de los rangos o clases de las variables con las cuales se asocia la distribución de *Pinus arizonica*, determinándose así las áreas potenciales para su establecimiento. Estas áreas abarcan aproximadamente 1317.49 Km², de la Sierra Tarahumara, lo cual equivale al 1.85% del total del área.

LITERATURA CITADA

- Anónimo. 1981. Guía de planeación y control de las actividades forestales. Fondo de Cultura Económica. SEP. México. 266 p.
- _____. 1993, Enciclopedia de México. Tomo IV. Rand McNally, USA. pp 1827-2440
- Bosque, S. J. 1992. Sistemas de información geográfica. RIALP. España. 451 p.
- 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. 478 p.
- Braun-Blanquet, J. 1950. Sociología vegetal. Estudio de las comunidades vegetales. Acme Agency. Buenos Aires, Argentina. 444 p.
- Brewer, R. 1979. Principles of ecology. Saunders College. Philadelphia. USA. 299 p.
- Businský, R., M. Kučera y M. A. Svobode. 1983. Genus Pinus L. In: V. Vetvicka (editor). Index Seminum Plantarumque 19: 33-60. Published by Institute of Botany. Czechoslovak Academy of Science. Pruhonice.
- Cabrera, A. L. y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico Departamento de Asuntos Científicos. Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos. Washington, D, C. 120 p.
- Capó A., M. A. 1972. Notas para la colecta de coníferas en Nuevo León. Revista Bosques. 9 (4): 30-36
- Chacón S., J. M. 1983. Regeneración mediante árboles padres de *Pinus arizonica*. Ciencia Forestal. 8 (42): 3-20
- Chacón S., J. M., H. Manzanilla B. y V. M. Cano G. 1989. El bosque virgen, un caso de estudio en Chihuahua. Ciencia Forestal. 14 (66): 1-14.
- Colinvaux, P. A. 1982. Introducción a la ecología. Limusa. México. 679 p.
- CONABIO. 1998. La Diversidad biológica de México. Estudio del país. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Diversidad. México. 341 p.
- Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-minera del estado de Chihuahua. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas. México. 297 pp.

- Dajoz, R. 1979. Tratado de ecología. Mundi-Prensa. Segunda Edición. Madrid. 608 p.
- Daniel, W. W. 1987. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México. 667 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 623 p.
- Eustaquio V., C. E. y J. L. Quispe V. 1995. Uso de la percepción remota y los sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales. Boletín de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota. México. 30: 37 - 42.
- Everitt, B. S. 1977. The analysis of contingency tables. Chapman and Hall Ltd. London, England. 119 p.
- Franco-López, H. 1999. Updating forest monitoring systems estimates. Tesis Doctoral. Universidad de Minnesota. Minnesota. 123 p.
- Freese, F. 1969. Muestreo forestal elemental. Centro Regional de Ayuda Técnica. Boletín de Agricultura. No. 232. México. 96 p.
- García A., A. y M. S. González E. 1998. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. México. 178 p.
- González M., R. y D. F. Lozano G. 1995. Modelos ecológicos de distribución de la cobertura vegetal. Memorias del VII Congreso Latinoamericano de Percepción Remota. Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER). Bogota. 31: 6 – 24.
- González R., L. 1987. Crónicas de la Sierra Tarahumara. Cien de México. México. 427 p.
- González-Elizondo, S., M. González-Elizondo y A. Cortez O. 1993. Vegetación de la Reserva de la Biosfera “La Michilia”, Durango, México. Acta Botánica Mexicana. 22: 1-104.
- INEGI. 1985. Cartas Usos del Suelo y Vegetación. Claves H12-9, H12-12, H13-10, H13-7, G12-3, G12-6, G13-1, G13-4, G13-7. Escala 1:250,000.
- INEGI. 1990. Guías de Interpretación de Cartografía. Edafología. Reimpreso de SPP (1981). México. 48 p.
- INEGI 1993. Manual de control de calidad de los productos cartográficos. México. 146 p.
- INEGI. 1998. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. México. 470 p.

- Islas G, F. y M. A. Mendoza B. 1989. Modelos de regeneración y mortalidad para *Pinus arizonica* Engelm. *Ciencia Forestal*. 14 (66): 31-43p.
- Ludwig, J. A. y J. F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology: A primer on methods and computing*. Wiley and Sons. United States of America. 337 p.
- Maisel, L. 1973. *Probabilidad y estadística*. Fondo Educativo Interamericano. Universidad Nacional de Colombia. UNAM. México. 280 p.
- Martínez, M. 1992. *Los pinos mexicanos*. botas. Tercera Edición. México. 369 p.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D. C. 169 p.
- Muller-Dombois., D. y H. Ellenbery. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons. New York. 547 p.
- Ortiz-Villanueva, B. y C. A., Ortiz Solorio. 1990. *Edafología*. Séptima edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 394 p.
- Ostle, B. 1965. *Estadística aplicada. Técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas*. Limusa-Wiley. México. 629 p.
- Passini, M. y N. Pinel. 1989. Ecology and distribution of *Pinus Lagunaae* 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 p.
- Pritchett, W. L. 1986. *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. Limusa. México. 634 p.
- Rentería A., L. I. 1996.. *Estudio taxonómico de las coníferas de la Reserva de la Biósfera "La Michilia"*. Tesis Profesional. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. 92 p.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- SEDESOL. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL 059-1994. *Diario Oficial de la Federación*, tomo CDLXXXVIII, No. 10, 16 de mayo. México pp. 2-56.
- SEMARNAP. 1999. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997*. México. 144 p.
- 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 1:1000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981b. Cartas Geológicas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981c. Cartas Hidrológicas de Aguas Subterráneas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1982. Cartas Fisiográficas. Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1000,000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes 1982. Ecología forestal. A. G. T. Editor. México. 690 p.
- Star, J., y J. Estes. 1996. Sistemas de información geográfica. Una introducción. Universidad de California, Santa Bárbara. Universidad Autónoma. Chapingo. Serie de apoyo académico No. 50. Chapingo, Méx. 238 p.
- Trejo, I. y J. Hernández. 1996. Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. México. 5: 11-18.
- UAAAN. 1999. Estudio de impacto ambiental de la región Tarahumara, Chihuahua. Dirección de Desarrollo Regional de SAGAR. Banco Mundial. México 231 p.
- UNAM. 1970. Cartas de Climas. Claves 13R-III, 13R-V, 12R-II, 12R-IV, 12RVI. Escala 1:500,000. Dirección de Planeación. Secretaría de la Presidencia. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- Zar, J. H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall. Second Edition. United States of America. 718 p.

ANEXOS

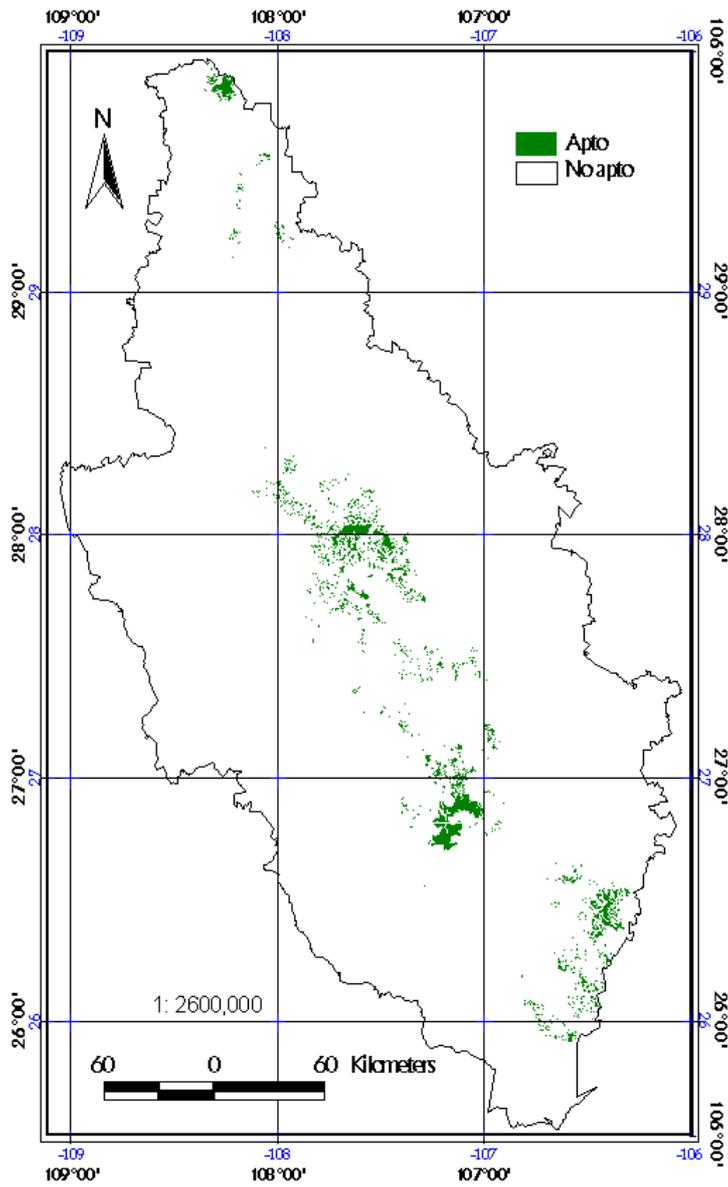
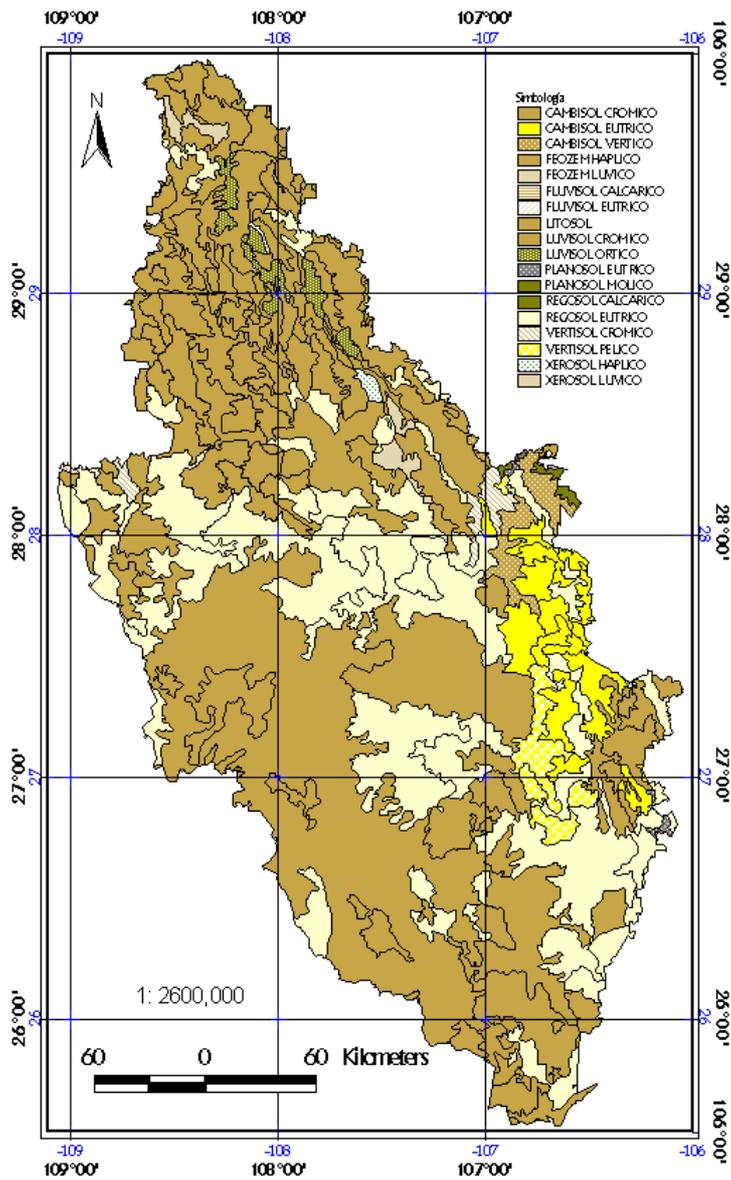
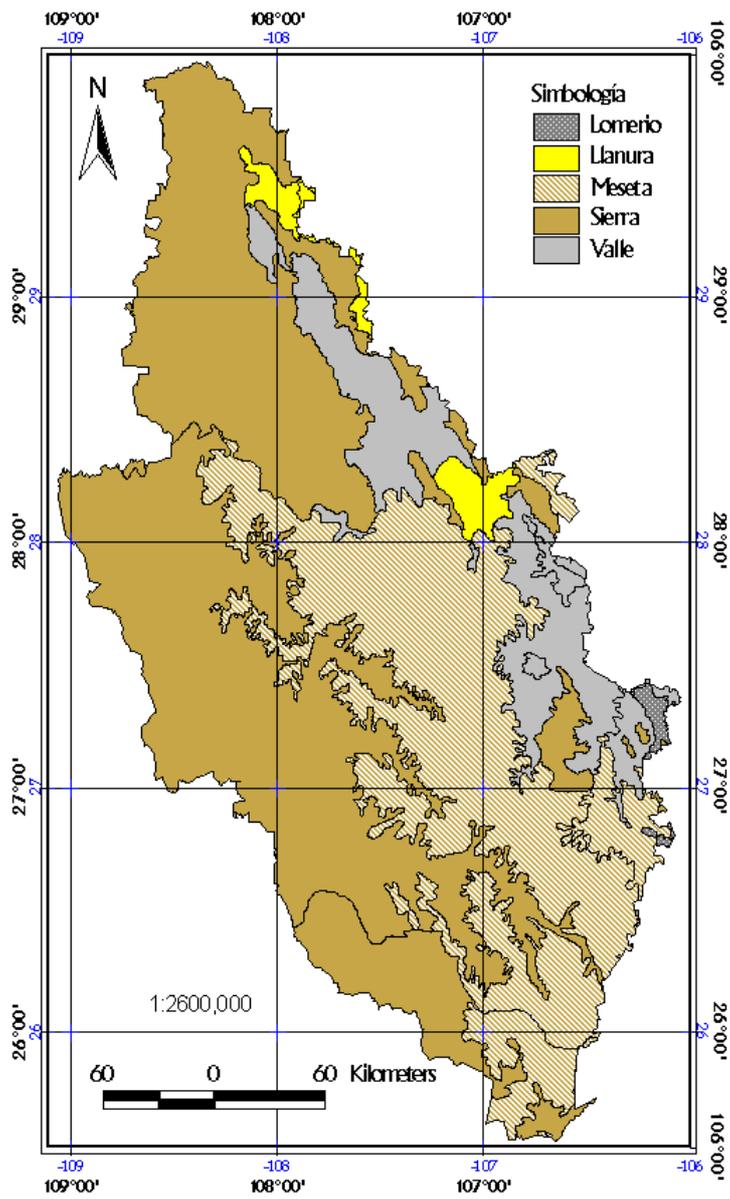


Figura 6. Areas potenciales para la distribución y/o establecimiento de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumera, Chihuahua.



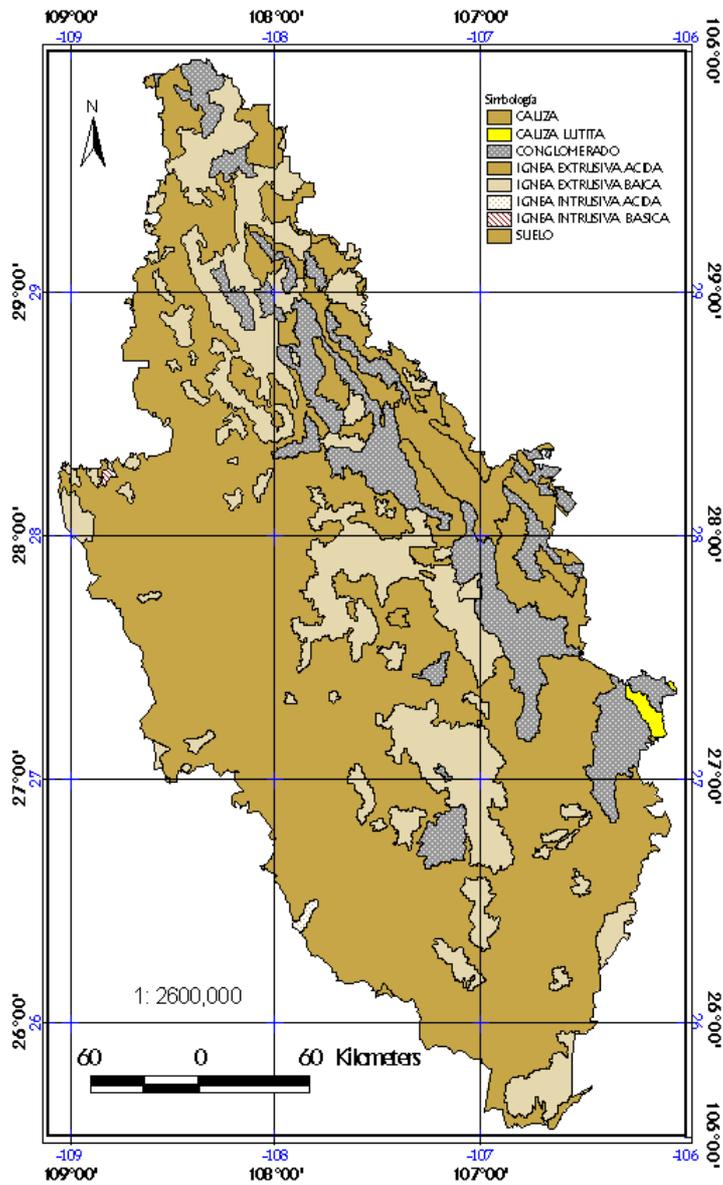
Anexo 8. Mapa de unidades de suelo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.
Fuente: UAAAN, 1999.
 (Basado en la carta edafológica 1: 1000,000. SPP, 1981a).



Anexo 4. Mapa de unidades fisiográficas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Fuente: UAAAN, 1999.

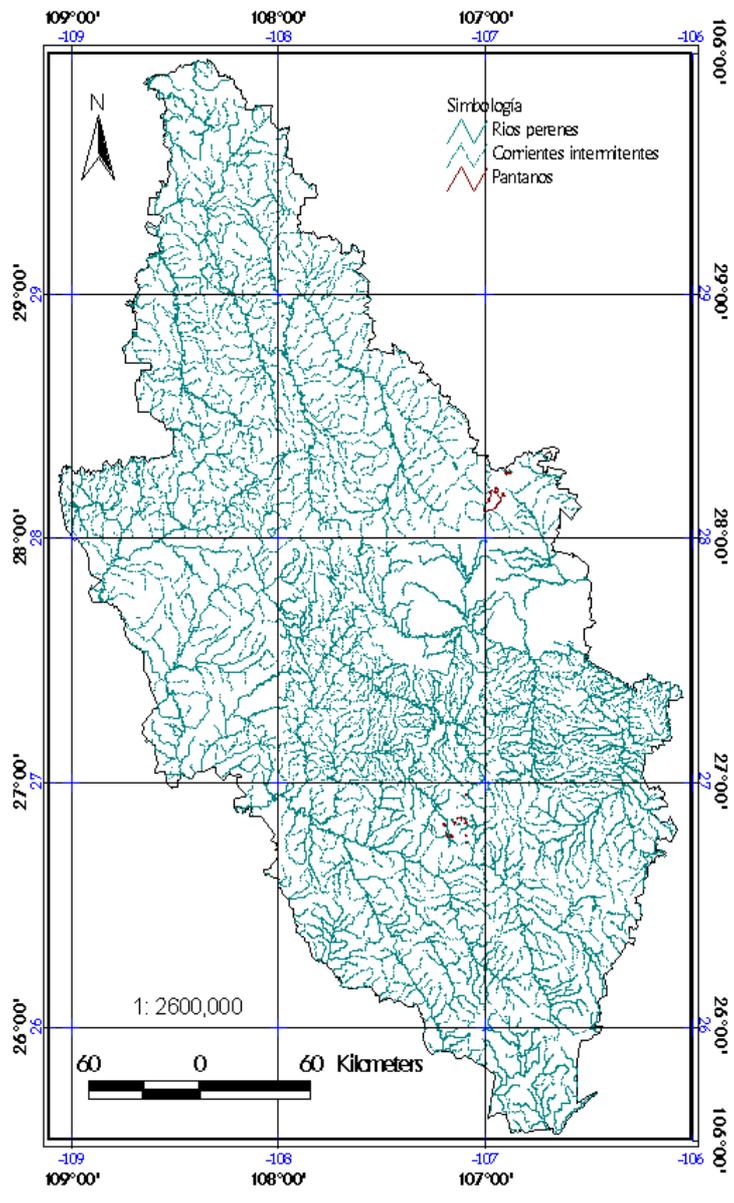
(Basado en la carta fisiográfica 1:1000,000. SPP, 1982).



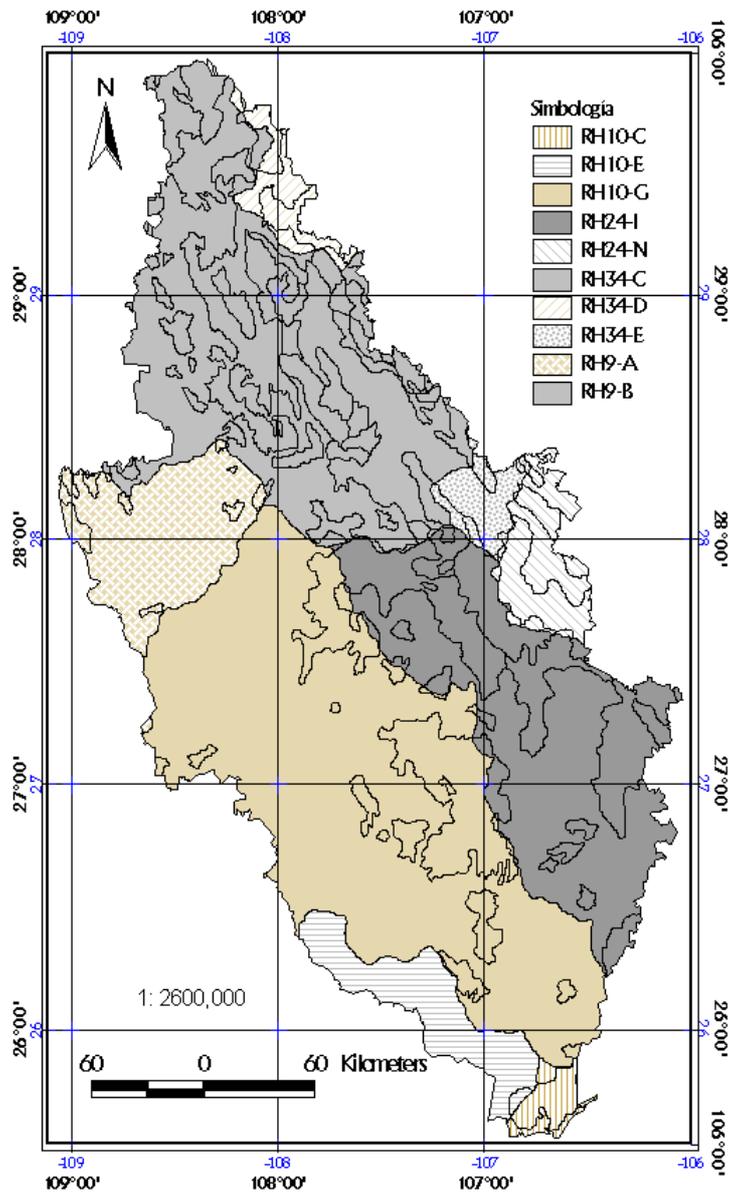
Anexo 7. Mapa de unidades geológicas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Fuente: UAAAN, 1999.

(Basado en la carta geológica 1: 1000,000. SPP, 1981b).



Anexo 6. Mpa de hidrología superficial en la Sierra Tarahumera, Chihuahua.
Fuente: UAAAN, 1999.
 (Basado en las cartas topográficas 1:250,000, SPP, 1980).



Anexo 5. Mapa de regiones hidrológicas en la Sierra Tarahumra, Chihuahua.

Fuente: UAAAN, 1999.

(Basado en la carta hidrológica de aguas subterráneas 1: 1000,000. SPP, 1981c)

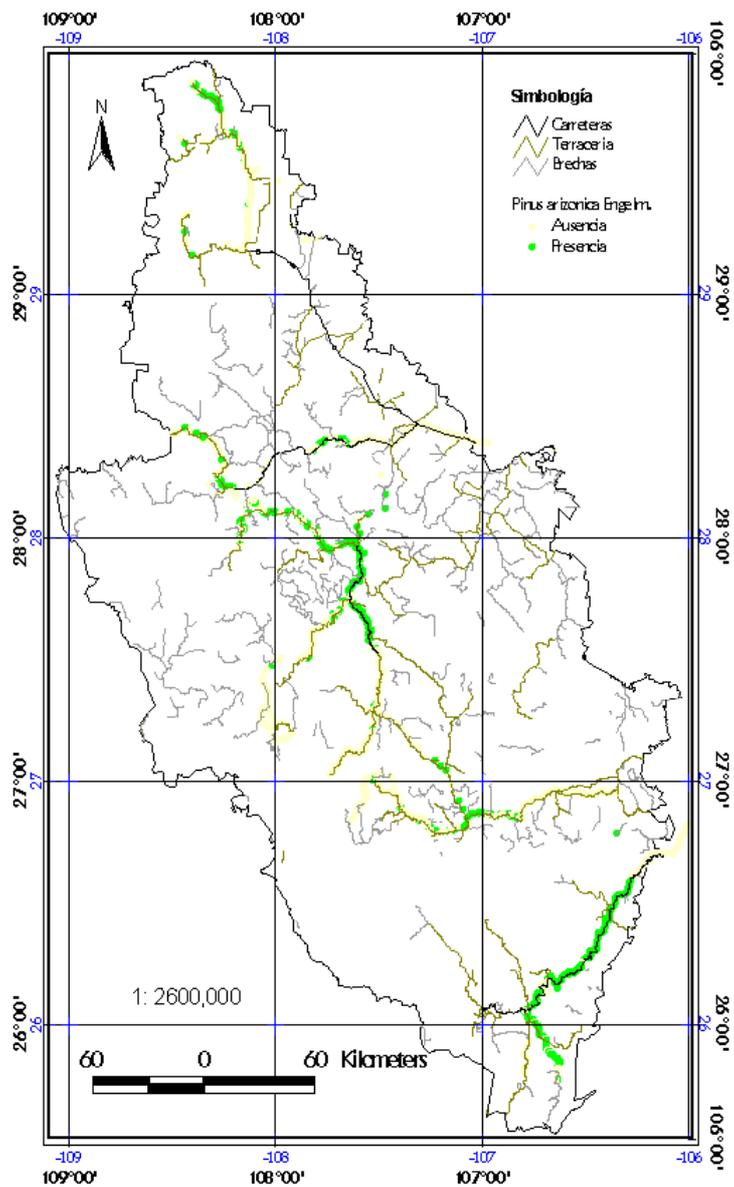
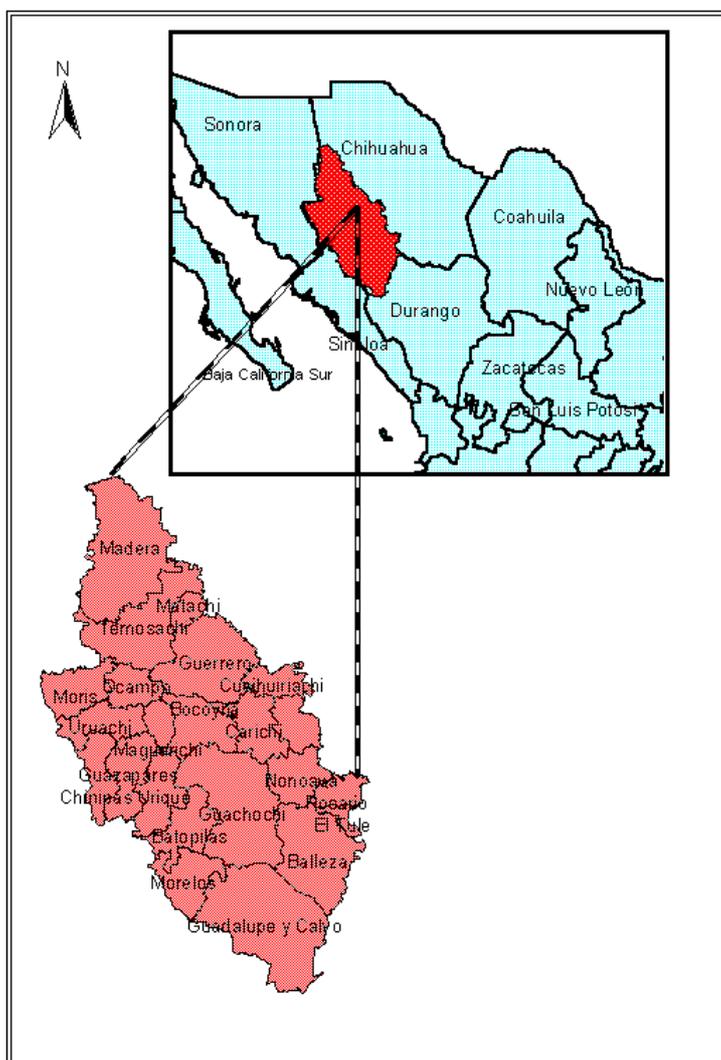


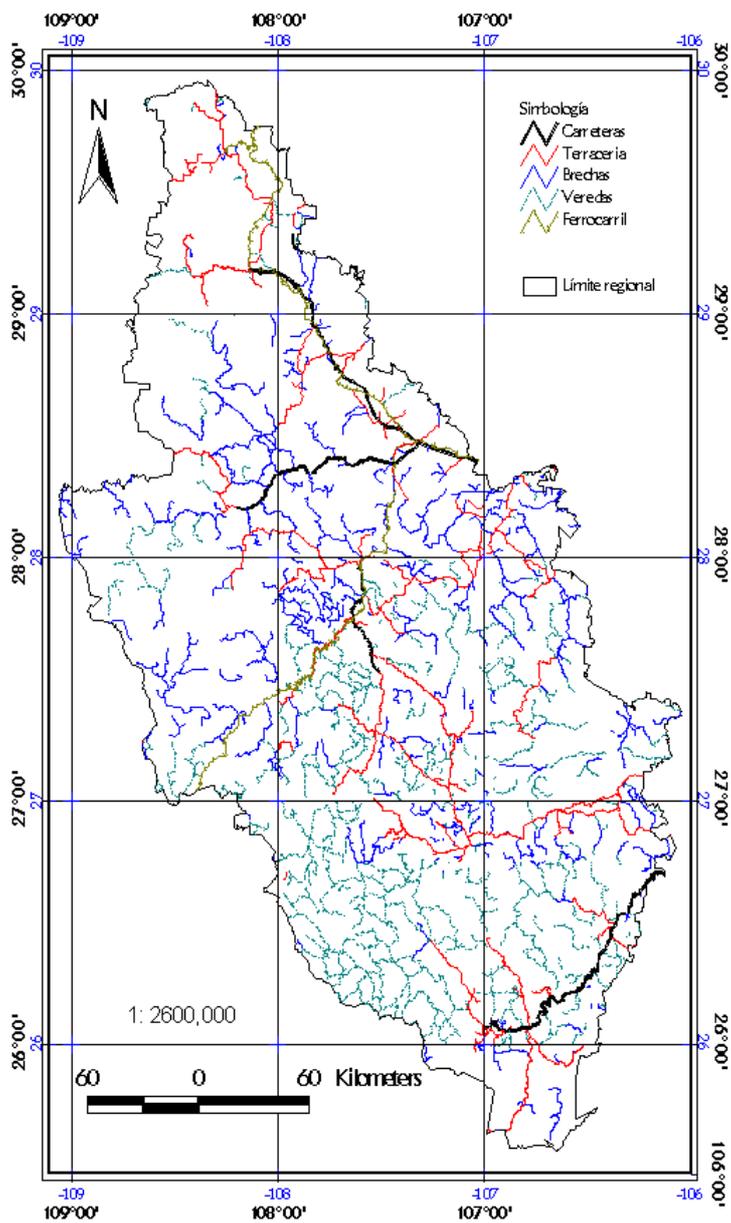
Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Fuente: UAAAN, 1999.

(Basado en la información de campo y en la carta topográfica 1: 250,000. SPP, 1980).



Anexo 1. Mapa de la ubicación geográfica de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.
Fuente: Basado en U.A.A.N, 1999.



Anexo 2. Mapa de infraestructura y vías de acceso en la Sierra Tarahumara, Chihuahua

Fuente: UAAAN, 1999.

(Basado en la carta topográfica 1:250,000. SPP, 1980).