

Informe final* del Proyecto H140

Regeneración, crecimiento y dinámica poblacional del pino azul *Pinus maximartinezii* Rzedowski

Responsable: Dr. Lauro López Mata
Institución: Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Natural
Dirección: Carretera México-Texcoco Km 35.5 Montecillo, Texcoco, Mex, 56230 , México
Correo electrónico: lauro@colpos.colpos.mx
Teléfono/Fax: Tel: 01(595)1 0232 Tel/Fax: 01(595)1 0227
Fecha de inicio: Mayo 31, 1996
Fecha de término: Agosto 31, 1998
Palabras clave: Pino, *Pinus maximartinezii*, dinámica poblacional,
Principales resultados: Estudio de investigación, conservación, restauración y manejo

Resumen:

Pinus maximartinezii es una especie rara, endémica, y amenazada, conocida solo de una pequeña y localizada población en Juchipila, Zacatecas. Las semillas de este pino piñonero se consumen localmente, pero la mayoría de ella se exporta a los Estados Unidos y Japón. Esta investigación evaluó el impacto de la cosecha de semilla sobre la dinámica poblacional de la especie a través de simulaciones derivadas de un modelo matricial. Durante dos años consecutivos, se colectó información demográfica en tres parcelas permanentes de observación de 0.1ha cada una. La población fue agrupada en ocho estados o clases de tamaños basado en alturas para plantulas y brinzales y en diámetro para arbolitos, juveniles y árboles maduros. Dichas clases reflejan los estados del ciclo de vida de la especie. Para simular la cosecha de semilla y su impacto sobre la estabilidad de la especie, los coeficientes de fecundidad en la matriz de transición fueron reducidos progresivamente desde cero hasta un 99% sobre todos los estados adultos. Los resultados mostraron que la tasa finita de incremento poblacional (λ) derivada de 1000 iteraciones fueron consistentemente mayores que 1.0, aún en el caso de una cosecha de semilla del 99%. Esto indica que *Pinus maximartinezii* es una especie capaz de soportar cosechas de semilla extremadamente altas sin que se llegue a afectar su estabilidad demográfica, y que aproximadamente el 1% de la producción de semillas y bajo las actuales condiciones es suficiente para garantizar su incremento poblacional. Sin embargo, el habitat de distribución se encuentra seriamente amenazado por la creciente erosión del suelo debido principalmente al sobrepastoreo e incendios inducidos. Por otra parte, la distribución natural de la especie es muy restringida y aparentemente nunca se ha extendido más allá de los límites actuales de distribución. Los incendios, el apacentamiento, y el uso de la madera para leña y construcción han contribuido a limitar el crecimiento del bosque bajo condiciones naturales.

* El presente documento es un informe final que no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx

Informe Final

**Proyecto H140
Convenio FB305/HI40/96**

**Regeneración, crecimiento y dinámica poblacional
del pino azul *Pinus maximartinezii* Rzedowski**

**Dr. Lauro López Mata
Responsable del proyecto**

22 de Junio de 1998

RESUMEN

Pinus maximartinezii es una especie rara, endémica, amenazada y conocida solo de una pequeña y localizada población en Juchipila, Zacatecas. Las semillas de este pino piñonero se consumen localmente pero la mayoría de ella se exporta a los Estados Unidos y Japón. Esta investigación evaluó el impacto de la cosecha de semilla sobre la estabilidad demográfica de la especie a través de simulaciones derivadas de un modelo matricial. Durante dos años, se colectó información demográfica en tres parcelas permanentes de observación de 0.1 ha cada una. La población fue agrupada en ocho estados o clases de tamaños basado en alturas para plántulas y brinzales y en diámetro para arbolitos, juveniles y arboles maduros; dichas clases reflejan los estados del ciclo de vida de la especie. Para simular la cosecha de semillas y su impacto sobre la estabilidad de la especie, los coeficientes de fecundidad en la matriz de transición fueron reducidos progresivamente desde cero hasta un 99% sobre todos los estados adultos. Los resultados mostraron que la tasa finita de crecimiento poblacional, λ , derivada de 300 iteraciones de esas matrices fue consistentemente mayores que 1.0, aún en el caso de una cosecha de semilla del 99%. Esto indica que *Pinus maximartinezii* es una especie capaz de soportar cosechas de semilla extremadamente altas sin afectar su estabilidad demográfica, y que aproximadamente el 1% de la producción de semilla en *Pinus maximartinezii*, es necesaria para mantener a la población en estabilidad demográfica.

INTRODUCCION

El ciclo biológico como base para el estudio de la dinámica poblacional de

Pinus maximartinezii Rzedowski

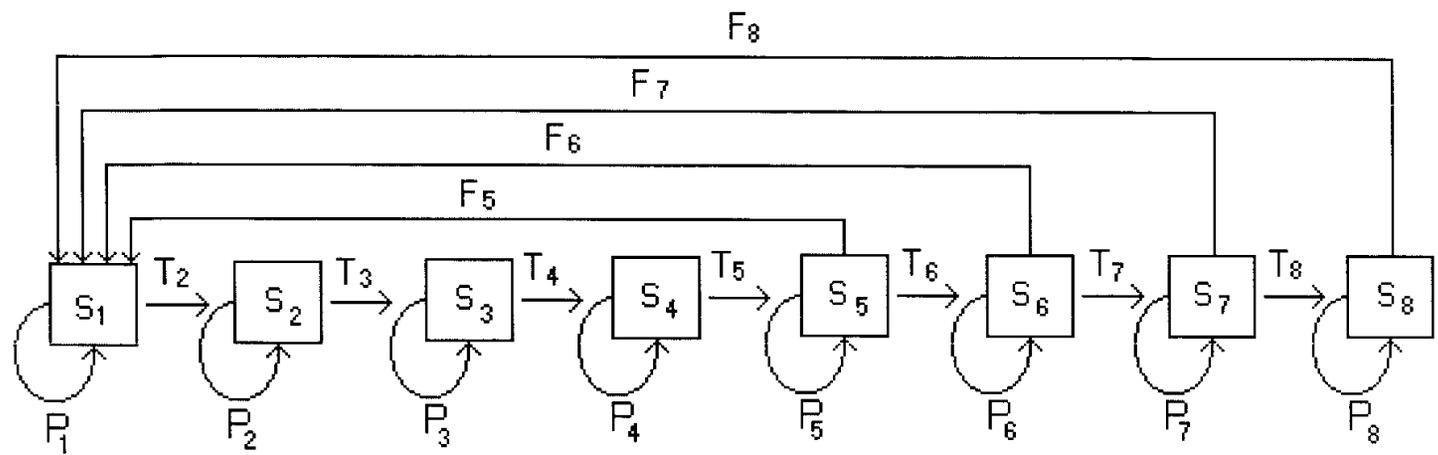
El diagrama del ciclo biológico que sirve de base para el análisis del modelo matricial de *P. maximartinezii* se muestra en la Fig. 1. La población de pino azul se agrupó en ocho clases de tamaño o estados cada uno representando un número igual de estados de su ciclo biológico (S_1 - S_8). Los ocho estados del ciclo de vida del pino azul se definieron de la siguiente manera:

- S_1 : Plántulas (≤ 40 cm altura)
- S_2 : Brinzales (41-134 cm altura)
- S_3 : Arbolitos (≥ 135 altura y ≤ 2 cm DAP)
- S_4 : Juveniles (2.1 a 4 cm DAP)
- S_5 : Reproductivos precoces (4.1 a 8 cm DAP)
- S_6 : Maduros 1 (8.1 a 16 cm DAP)
- S_7 : Maduros 2 (16.1 a 32 cm DAP)
- S_8 : Maduros 3 (> 32 cm DAP)

En el diagrama del ciclo biológico del pino azul, el tránsito de un estado al siguiente es directo, hacia adelante, avanza de un estado al siguiente sin brincarse estados y sin regresar a estados anteriores.

Durante la fase reproductora del pino azul, la producción de conos y semillas ocurre durante los meses de septiembre a noviembre durante los años semilleros. Sin embargo, mis observaciones de campo indican que una muy baja proporción de árboles maduros produce conos y semillas en años no semilleros. En el área de estudio, observe que 1994 fue un año semillero para la población de *Pinus maximartinezii*. Sin embargo, observe que algunos rodales pequeños de menos de una hectárea de extensión también produjeron conos y semillas durante 1995.

Fig. 1. Diagrama del ciclo de vida de *Pinus maximartinezii* estructurado en ocho estados o tamaños distintos (S_1-S_8). Las probabilidades de transición se expresan por los coeficientes T_2-T_8 , mientras que las probabilidades de permanecer en el mismo estado o tamaño por P_1-P_8 y los valores de las fecundidades de los estados maduros (S_5-S_8) por los coeficientes F_5-F_8 .



Estimación de la fecundidad (producción de semillas):

Los años de 1995 y 1996 fueron años no semilleros de *Pinus maximartinezii* lo cual se traduce en que hubo un escaso número de individuos adultos que produjeron frutos y semillas en toda el área de su distribución natural. Sin embargo, después de una intensa búsqueda de individuos en reproducción, se logró coleccionar 205 conos con semillas viables. Los conos provienen de 25 árboles diferentes variando en tamaño, edad, vigor y localización dentro del área de distribución natural de la especie. Basado en esta colecta realizada de Octubre a Diciembre de 1996 se procedió a estimar el número promedio de semillas producidas por cono y por árbol individual.

Los conos de *Pinus maximartinezii* son grandes, pesados, y permanecen unidos a la rama hasta por tres o cuatro años antes de caer y desintegrarse. Alguna proporción de estos conos es depredada y otra proporción desconocida cae al suelo durante o después de la ocurrencia de vientos fuertes o eventuales lluvias torrenciales. La ocurrencia de vientos asociados a lluvias facilita la caída de conos a una tasa desconocida. Sin embargo, su gran tamaño, de hasta 25 cm de largo, y su permanencia sobre el árbol progenitor permite realizar con un alto grado de certidumbre el número total de conos producidos por un árbol en su última reproducción. Haciendo uso de dicha propiedad, localicé, marqué y numeré árboles reproductivos y sobre ellos conté todos los conos que sobre sus copas estaban presentes, tanto en las parcelas de observación permanente como en otros sitios fuera de ellas con el propósito de conocer la fecundidad promedio por individuo y clase diamétrica. Los datos coleccionados con este método son promedios y consignan el número promedio de semillas producidas por árbol individual. Estos datos son apropiados para estimar varios parámetros demográficos, entre ellos: la fecundidad promedio por clase de tamaño o diamétrica, el diámetro o tamaño del individuo a su

primera reproducción, las clases diamétricas más altamente fecundas en términos de semillas, la producción de semillas por rodal o hectárea y por consiguiente el potencial reproductivo del parche del bosque en cuestión.

Los árboles maduros retienen por periodos de hasta tres o cuatro años sus conos después de la dispersión de sus semillas. Las semillas son dispersadas durante los meses de septiembre-octubre a noviembre. Estas semillas germinan relativamente rápido dentro de un lapso de 8 a 10 semanas postdispersión. Las plántulas tienden a desarrollarse rápidamente produciendo sus hojas cotiledonareas en las siguientes dos semanas. La sincronía en la germinación y desarrollo inicial de las plántulas es tal que en el periodo de observaciones de este proyecto, no vi una sola plántula en ningún sitio germinando o desarrollándose asincrónicamente. Las plántulas inician la emisión de su segundo conjunto de hojas aproximadamente dos meses después de la expansión total de sus primeras hojas cotiledonareas, esto es aproximadamente a los cinco o seis meses después de la germinación, y así permanecen por el resto del año hasta que reinician su crecimiento al año entrante. Removí algunas muestras de suelo tomadas de distintas partes dentro de las parcelas de observación y no encontré semillas de esta especie. La semilla de esta especie es una de las semillas de pino piñonero más grande del mundo (25mm de largo, 13mm de ancho y 10mm de grueso), solo comparable con aquellas de *Pinus pinea* que se distribuye a todo lo largo de la región Europea del Mediterráneo (España, Francia, e Italia principalmente). Por estas evidencias, deduzco que en el sitio de estudio no existe un banco de semillas en el suelo del pino azul.

DATOS
Y
NOMBRE DE ARCHIVOS

Supervivencia de plántulas:

Archivos:

1. Para el Sitio: PIÑONCITOS:

A:\PLANTULA\SeedsS1.xls también en formato texto, extensión .txt

A:\PLANTULA\SeedsS2.xls también en formato texto, extensión .txt

A:\PLANTULA\SeedsS3.xls también en formato texto, extensión .txt

2. Para el Sitio: LOMA DE ENMEDIO:

A:\PLANTULA\Pilomat1.xls también en formato texto, extensión .txt

A:\PLANTULA\Pilomat2.xls también en formato texto, extensión .txt

A:\PLANTULA\Pilomat3.xls también en formato texto, extensión .txt

El formato de los archivos esta organizado de la siguiente manera:

Columna No.	Definición
1	Número de la plántula
2	Altura de la plántula
3	Diámetro del cuello de la plántula
4	Número de ramas
5 a la 20	Condiciones de desarrollo de las plántulas a cada fecha de censo: CD1 a CD 16.

Las fechas de censo en las que se evaluó la condición de desarrollo de las plántulas fueron:

Condición de desarrollo	Fecha de censo	Condición de desarrollo	Fecha de censo
CD1	DIC1995	CD9	FEB1997
CD2	MAR1996	CD10	MAR1997
CD3	JUN1996	CD11	MAY1997
CD4	JUL1996	CD12	JUL1997
CD5	AGO1996	CD13	SEP1997
CD6	SEP1996	CD14	NOV1997
CD7	OCT1996	CD15	EME1998
CD8	DIC1996	CD16	MAR1998

REGENERACION

Crecimiento vertical y diamétrico de brinzales (estado S₂):

Archivos: A:\REGENERA\PAR1C1.TXT ; también con extensión *.XLS
A:\REGENERA\PAR1C2.TXT ; también con extensión *.XLS
A:\REGENERA\PAR1C3.TXT ; también con extensión *.XLS

El crecimiento vertical y diamétrico de brinzales, también llamado regeneración, corresponde al estado S₂ del ciclo de vida de *Pinus maximartinezii*. El crecimiento de brinzales fue seguido sobre todos los individuos pertenecientes a esta categoría, los cuales fueron marcados dentro de cuadros o parcelas permanentes de conservación de 1000 m² cada una. Dentro de esta clase se ubicaron a los individuos cuyas alturas fluctúan entre 41 y 135 cm. Los incrementos en altura y diamétricos de estos individuos, fueron evaluados en cuatro ocasiones a intervalos de seis meses cada uno. La primera observación se realizó al inicio del proyecto, y las observaciones 2, 3 y 4 a los intervalos mencionados. Por lo tanto, la observación 3 (Ht3 y DC3, columnas 6 y 7 en la base de datos para cada parcela) corresponde a la observación al año de haberla iniciado, y las observaciones Ht4 y DC4 fueron las últimas realizadas al final de proyecto.

En la base de datos, las columnas contienen los siguientes datos, en centímetros

1. Número del individuo marcado al inicio del estudio
2. Ht1, es la altura del brinzal al inicio del estudio, primera observación
3. DC1, es el diámetro a la altura del cuello del brinzal al inicio del estudio, primera observación.
4. Ht2, altura del brinzal, segunda observación, a los seis meses.
5. DC2, diámetro del cuello, segunda observación, a los seis meses.
6. Ht3, altura del brinzal, tercera observación, a los 12 meses.
7. DC3, diámetro del cuello, tercera observación, a los 12 meses.
8. Ht4, altura del brinzal, cuarta observación, a los 18 meses.
9. DC4, diámetro del cuello, cuarta observación, a los 18 meses.

Estructura poblacional de *Pinus maximartinezii*

Archivos.

A:\PARCELAS\PAR1C1.TXT
A:\PARCELAS\PAR1C2.TXT
A:\PARCELAS\PAR1C3.TXT

A:\PARCELAS\PAR2C1.TXT
A:\PARCELAS\PAR2C2.TXT
A:\PARCELAS\PAR2C3.TXT

A:\PARCELAS\PAR3C1.TXT
A:\PARCELAS\PAR3C2.TXT
A:\PARCELAS\PAR3C3.TXT

Se localizaron tres sitios distantes entre sí por no más de tres km con el criterio de tener representados tres distintos grados de regeneración: dos extremos con buena y escasa regeneración y uno con regeneración intermedia. Los tres estuvieron sometidos a distintos grados de disturbio antrópico, principalmente por actividades de pastoreo, y fuegos inducidos para favorecer el rebrote de pastos. Los tres sitios contienen tres parcelas de 1000 m² cada una. El primer sitio, Los Piñoncitos, contiene una regeneración abundante como puede apreciarse en los datos (A:\PARCELAS\PAR1C*.TXT). El segundo sitio, Loma de Enmedio, contiene una regeneración intermedia según se aprecia en los datos (A:\PARCELAS\PAR2C*.TXT) y el tercer sitio, El Plano, contiene una regeneración muy escasa o nula (A:\PARCELAS\PAR3C*.TXT).

Sobre los sitios Loma de Enmedio y El Plano, observé de manera consistente una actividad pastoril intensa durante toda la duración del proyecto. Además de que también se observó extracción de madera para construcción y leña, principalmente. La actividad humana sobre estas dos parcelas se refleja en los datos colectados.

Amplitud de anillos de crecimiento

ARCHIVOS: A:\ANILLOS\ANILLO.TXT
A:\ANILLOS\ANICL5.TXT
A:\ANILLOS\ANICL6.TXT
A:\ANILLOS\ANICL7.TXT
A:\ANILLOS\ANICL8.TXT

Se colectó información sobre la amplitud del crecimiento entre anillos de 55 árboles pertenecientes a diferentes clases diamétrica. Las colectas consistieron de muestras destructivas para obtener discos completos de árboles y de muestras tornadas con taladro. Las colectas de discos fueron obtenidas de individuos en las clases diamétricas 5 y 6, mientras que los colectados de árboles más grandes (clases 7 y 8) se obtuvieron de dentro de las parcelas y con taladro. Las clases diamétricas son las mismas seleccionadas para el modelo básico del ciclo de vida de la especie.

Los datos se encuentran en el archivo A:\anillos\anillos.txt y contienen información para cada árbol individual. En este archivo, todas las columnas, excepto la primera, corresponde a un individuo (IND1-IND55) y cada renglón es una amplitud medida para un anillo particular. La primera columna es el número de anillos que se logró observar y medir. El número de anillos medidos no necesariamente corresponde al número total de anillos contenidos en la muestra, por lo tanto, tampoco corresponde necesariamente a la edad del árbol en cuestión.

RESULTADOS

Supervivencia de plántulas:

Con los datos de los archivos en el directorio A:\PLANTULAS, se generaron curvas de supervivencia de plántulas expresadas en porcentajes de supervivientes a la fecha de los censos.

En el sitio los Piñoncitos, se marcaron, midieron y siguieron un total de 378 plántulas, de las cuales el 95.2% (n=360) habían muerto al finalizar las observaciones de campo y 18 de ellas (4.76%) logró sobrevivir al periodo del proyecto. En el transecto 1 se localizaron 126 plántulas, de las cuales únicamente logró sobrevivir el 3.97% (n=5) de ellas al termino del proyecto; en el transecto 2 se ubicaron 109, de las cuales logró sobrevivir el 5.5% (n=6); la densidad de plántulas en el transecto 3 fue de 143, de las cuales 136 murieron, sobreviviendo solo el 4.89% (n=7) hasta marzo de 1998.

En el sitio Loma de enmedio, el número total de plántulas marcadas, medidas y seguidas fue de 446; el porcentaje acumulado de muertes hasta marzo de 1998 fue de 62.8% (n=280) y el 41.7% (n=86) logró sobrevivir a la misma fecha. En el transecto 1 se marcaron 157 plántulas, murió el 66.9% (n=105) y sobrevivió el 33.12% (n=52) de ellas hasta marzo de presente año. En el transecto 2 se marcaron 177, murió el 61.6% (n=109) y sobrevivió el 38.42% (n=68) al termino del proyecto, mientras que en el transecto 3 murió el 58.9% (n=66), y logró sobrevivir el 41.07% (n=46) de un total de 12 plántulas marcadas.

Los porcentajes de las plántulas vivas y muertas a la fecha de los censos en cada parcela se presentan en las tablas anexadas en los resultados. Dichos porcentajes se reportan también en las figuras que se anexan en la misma sección.

Debido a que no hubo diferencias significativas entre las curvas de supervivencia dentro de cada sitio (sitio 1, Piñoncitos: prueba de Wilcoxon: $\chi^2=0.3241$. g1=2, P<0.85; y sitio 2, Loma de enmedio: prueba de Wilcoxon: $\chi^2= 0.7344$, gl = 2, P< 0.69; SAS 1995),

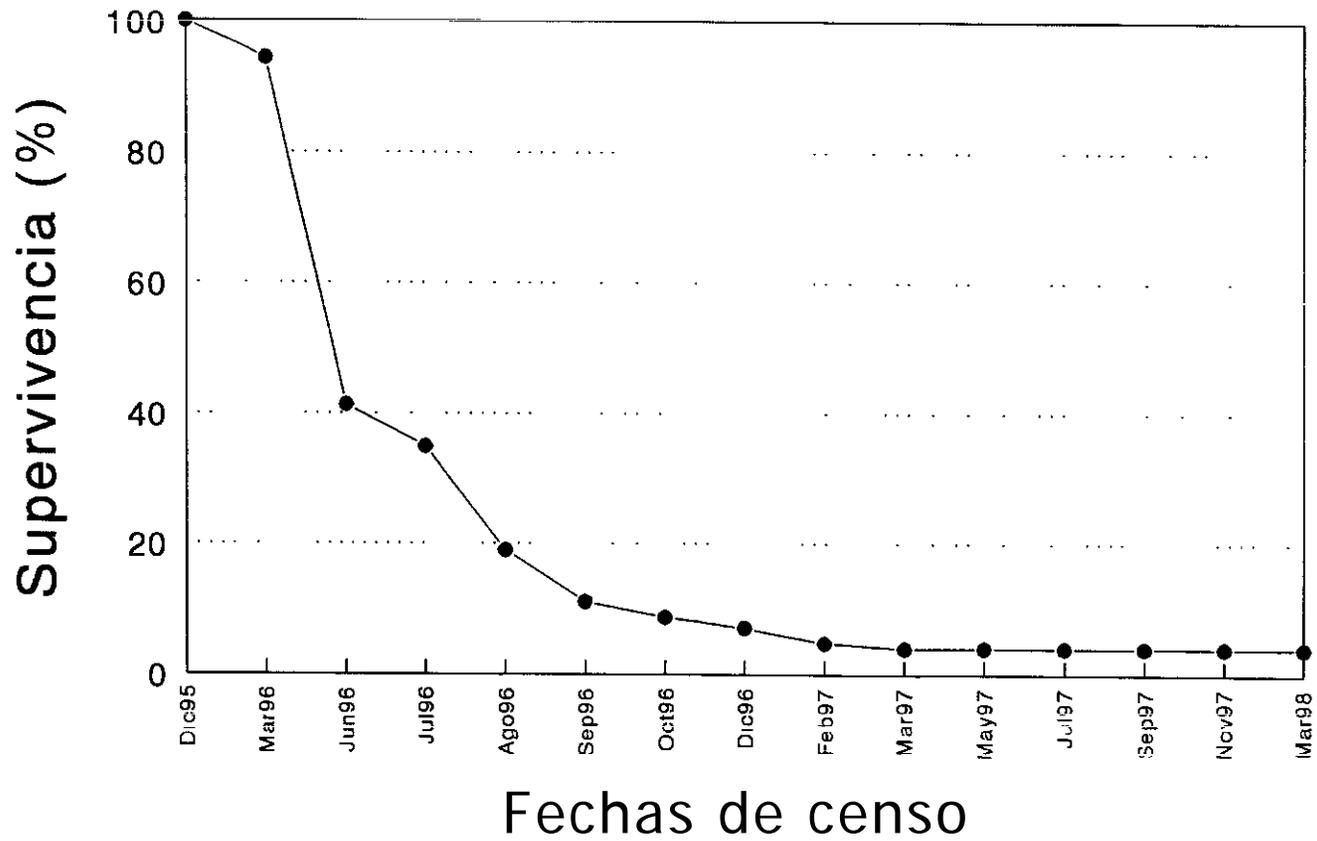
éstas fueron agrupadas por sitio de estudio (transectos agrupados) con objeto de realizar una comparación de las curvas de supervivencia entre los sitios. Los resultados del agrupamiento por sitio se presentan en las tablas para cada sitio por separado. Una comparación de las curvas de supervivencia entre los sitios de estudio mostró que existen diferencias significativas entre ellos (Wilcoxon: $X^2=0.3321$, $gl=1$, $P,0.0001$; SAS 1995). Se presenta también una gráfica que compara los porcentajes de supervivencia total de plántulas entre los sitios de estudio, donde se evidencia la existencia de diferencias en las curvas de supervivencia entre sitios.

Crecimiento vertical y diamétrico de brinzales (estado S_2)

El crecimiento vertical y diamétrico del estado S_2 , o brinzales, se basó en los datos colectados de tres parcelas permanentes de observación de 1000 m^2 cada una. Para dichos crecimientos, se calculó tanto el incremento anual como la tasa relativa de crecimiento anual. Los incrementos anuales son sencillamente la diferencia absoluta entre dos mediciones, en este caso, la inicial y la anual (columnas 7 y 3; y 6 y 2 para los incrementos vertical y diamétrico, respectivamente). La tasa relativa de crecimiento vertical y diamétrica se calculó también sobre una base anual (columnas 7 y 3; y 6 y 2, respectivamente), pero usando la diferencia de los logaritmos base 10 entre las observaciones anuales dividido por un año. Los incrementos y tasas de crecimiento vertical y diamétricos fueron calculadas tanto para los individuos en cada parcela o cuadro por separado (cuadro 1, cuadro 2, cuadro 3), como para todos los cuadros agrupados (cuadro 1+cuadro 2+cuadro 3). Los resultados de tal análisis se presentan en las tablas correspondientes. Estos análisis fueron realizados con el procedimiento PROC MEANS de SAS (SAS 1988).

Pinus maximartinezii
(Plantulas, Los pinoncitos, Juchipila)

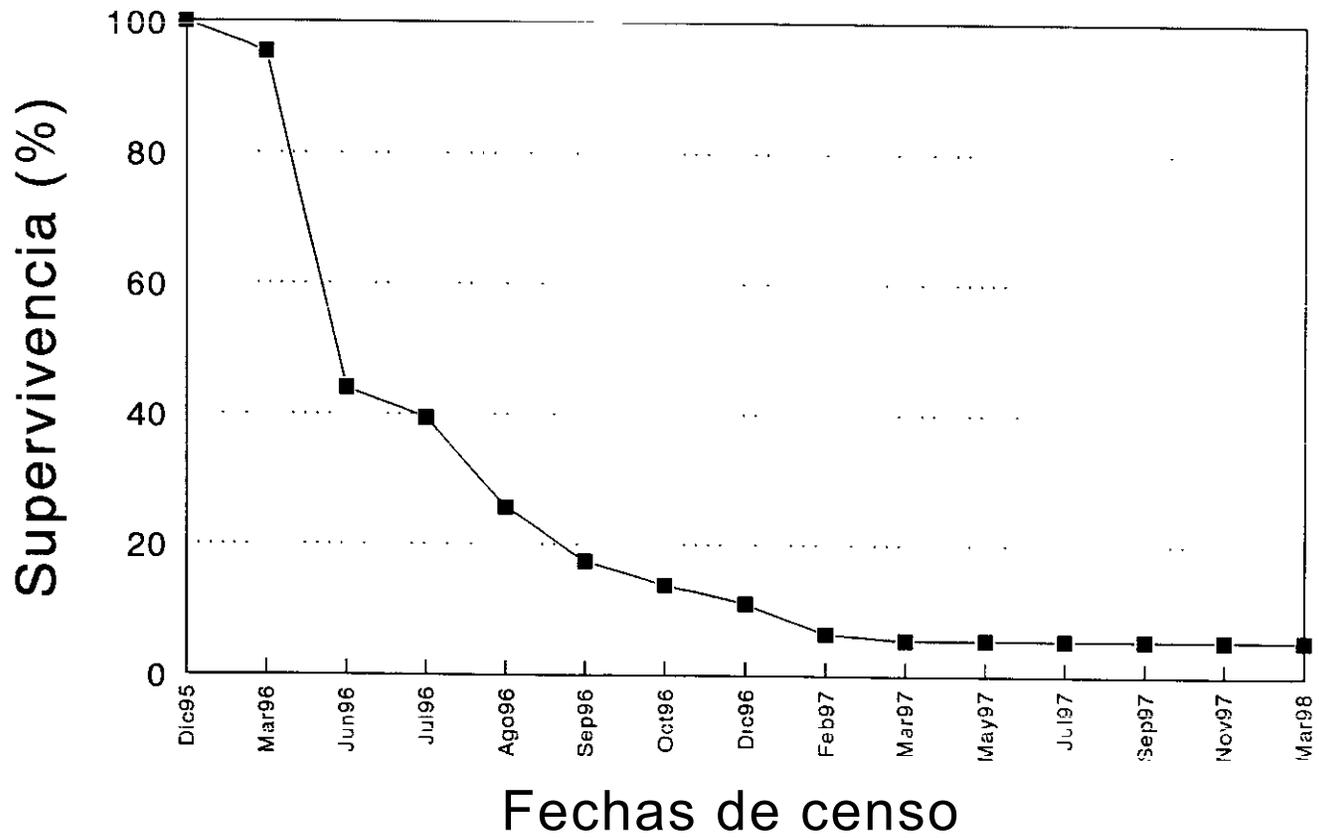
—●— Transecto 1



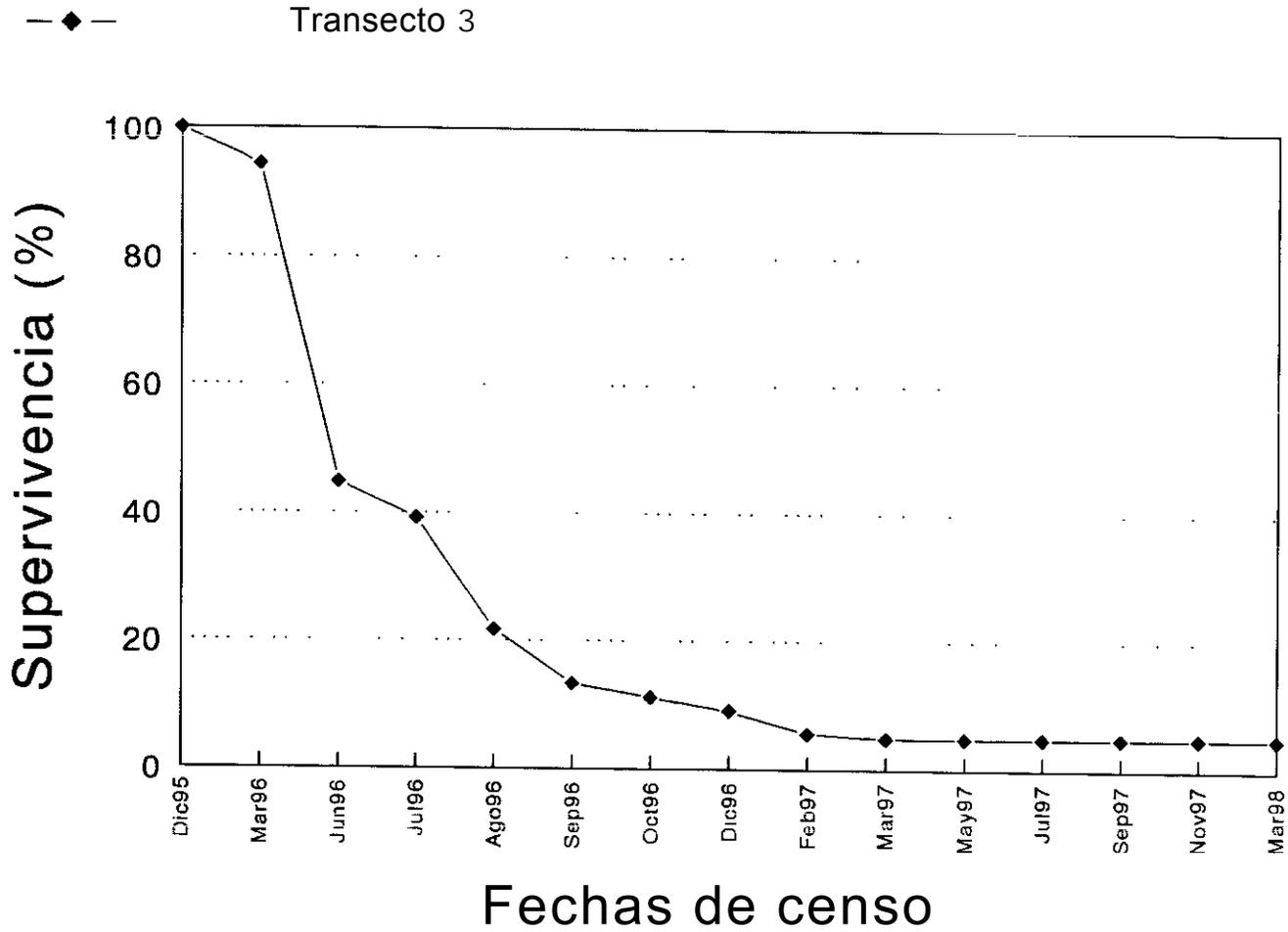
Pinus maximartinezii

(Plantulas, Los pinocitos, Juchipila)

—■— Transecto 2

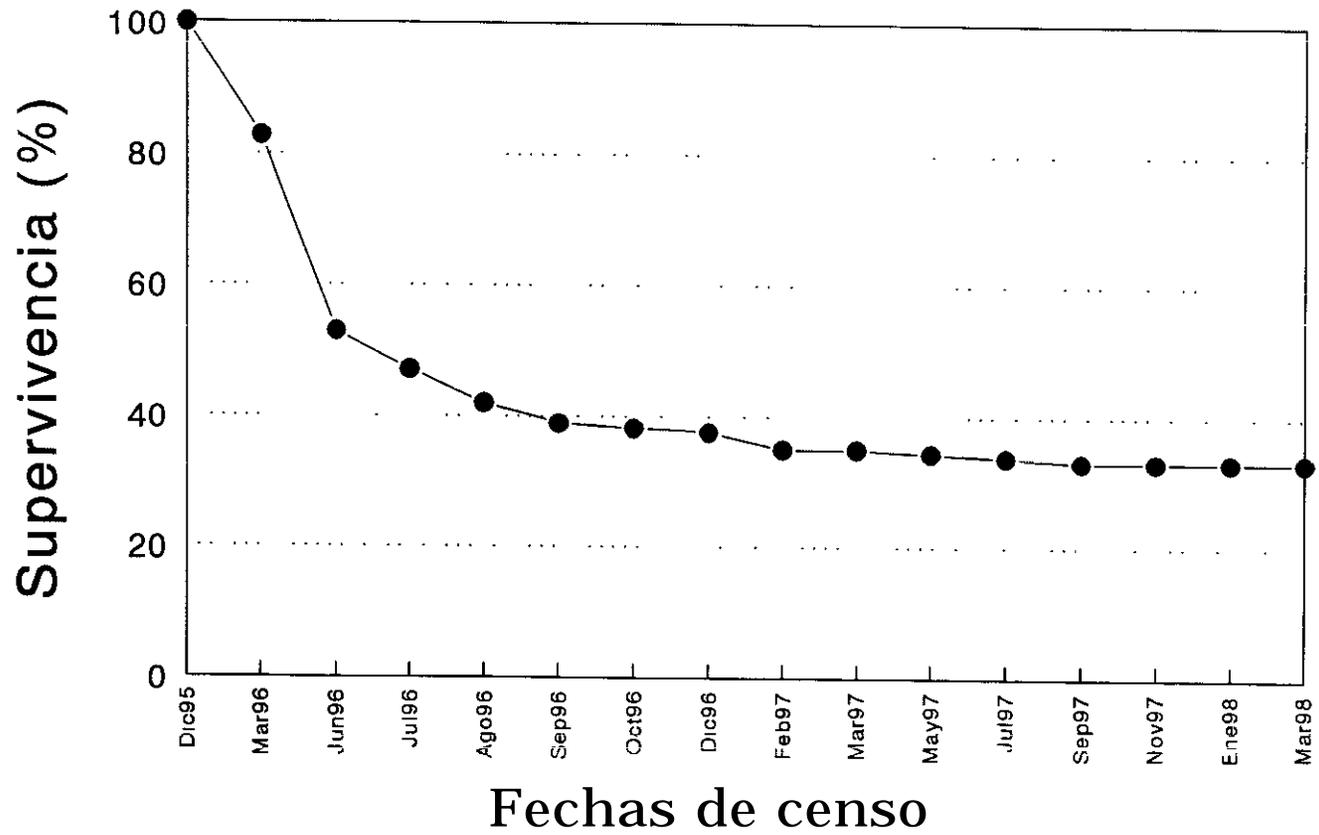


Pinos maximartinezii
(Plantulas, Los pinoncitos, Juchipila)



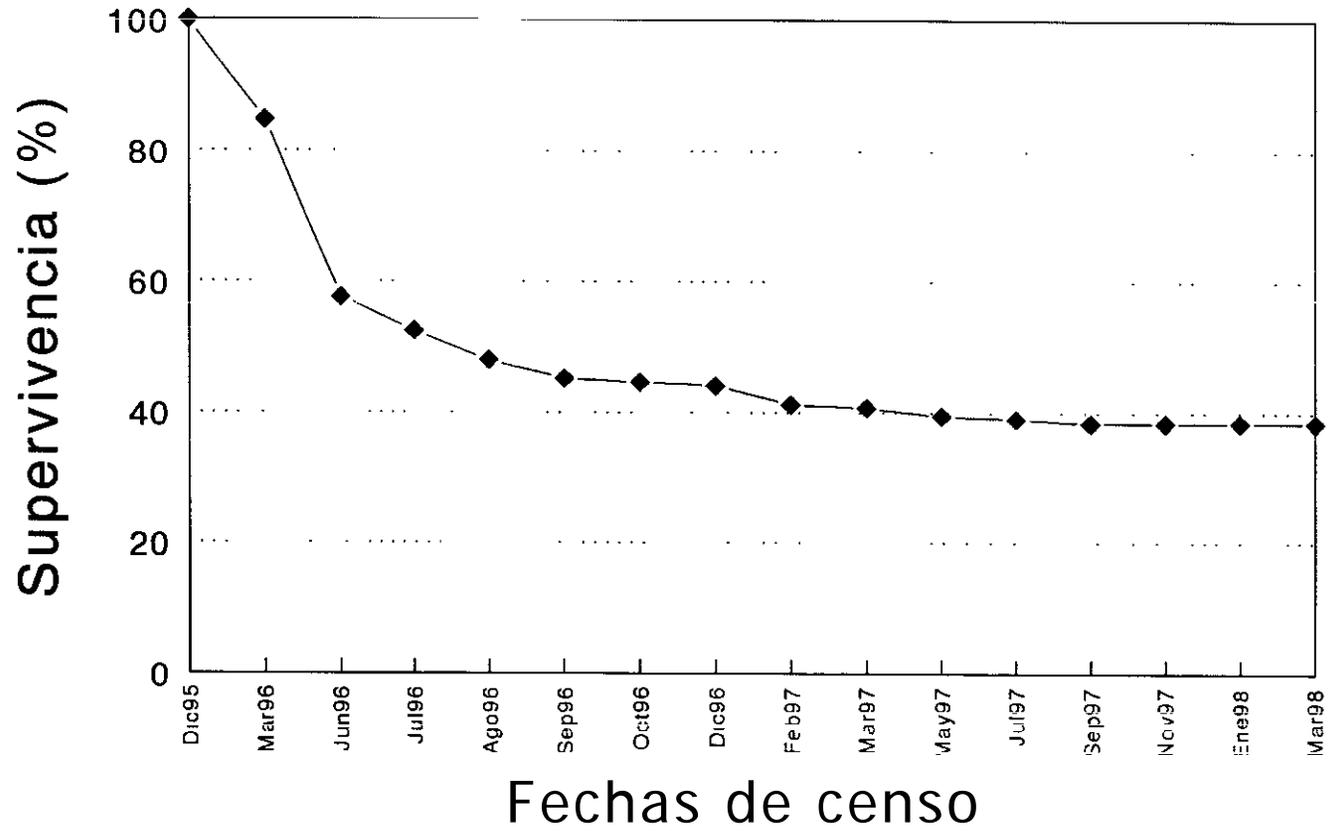
Pinos maximartinezii
(plantulas, Loma de Enmedio, Juchipila)

—●— Transecto 1



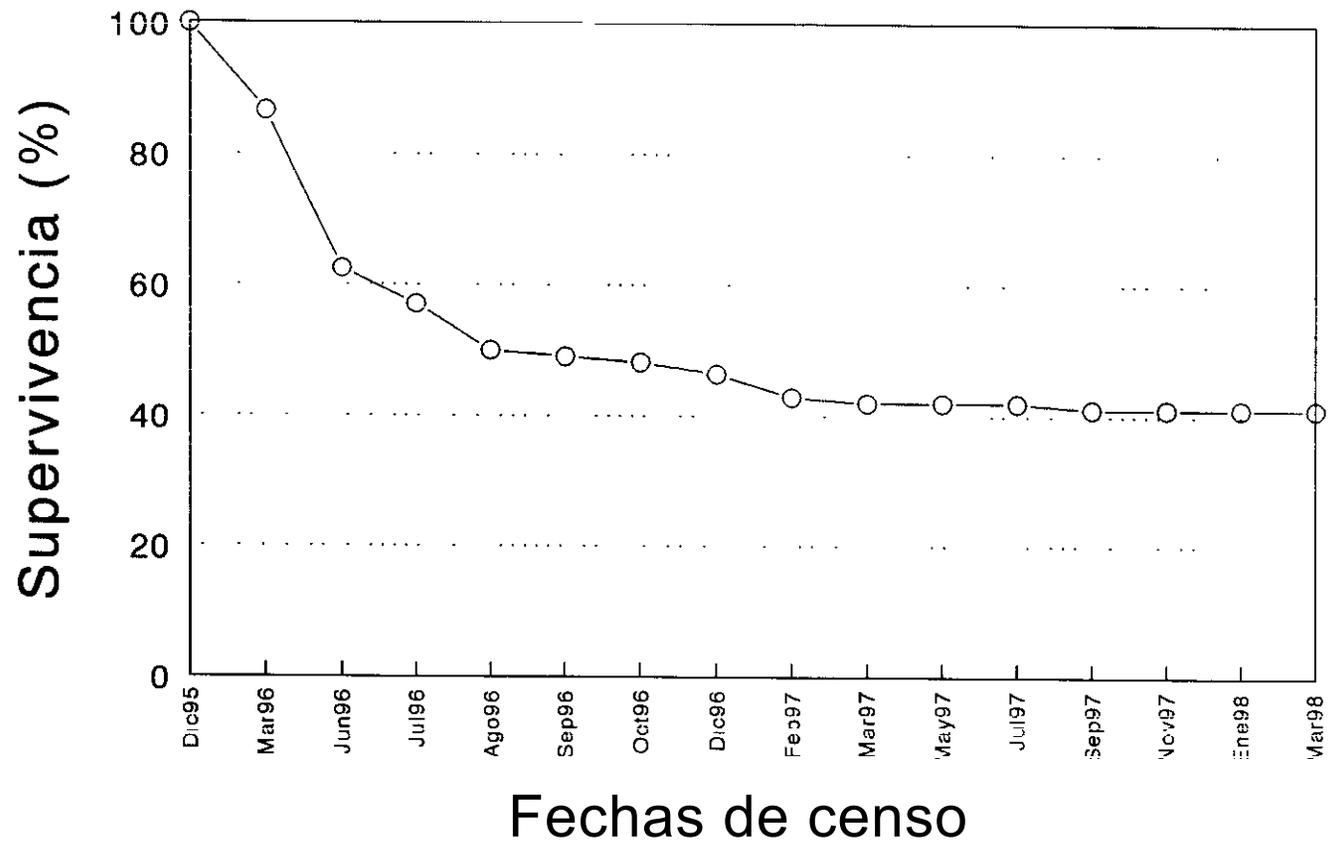
Pinus maximartinezii
(plantulas, Loma de Enmedio, Juchipila)

—◆— Transecto 2



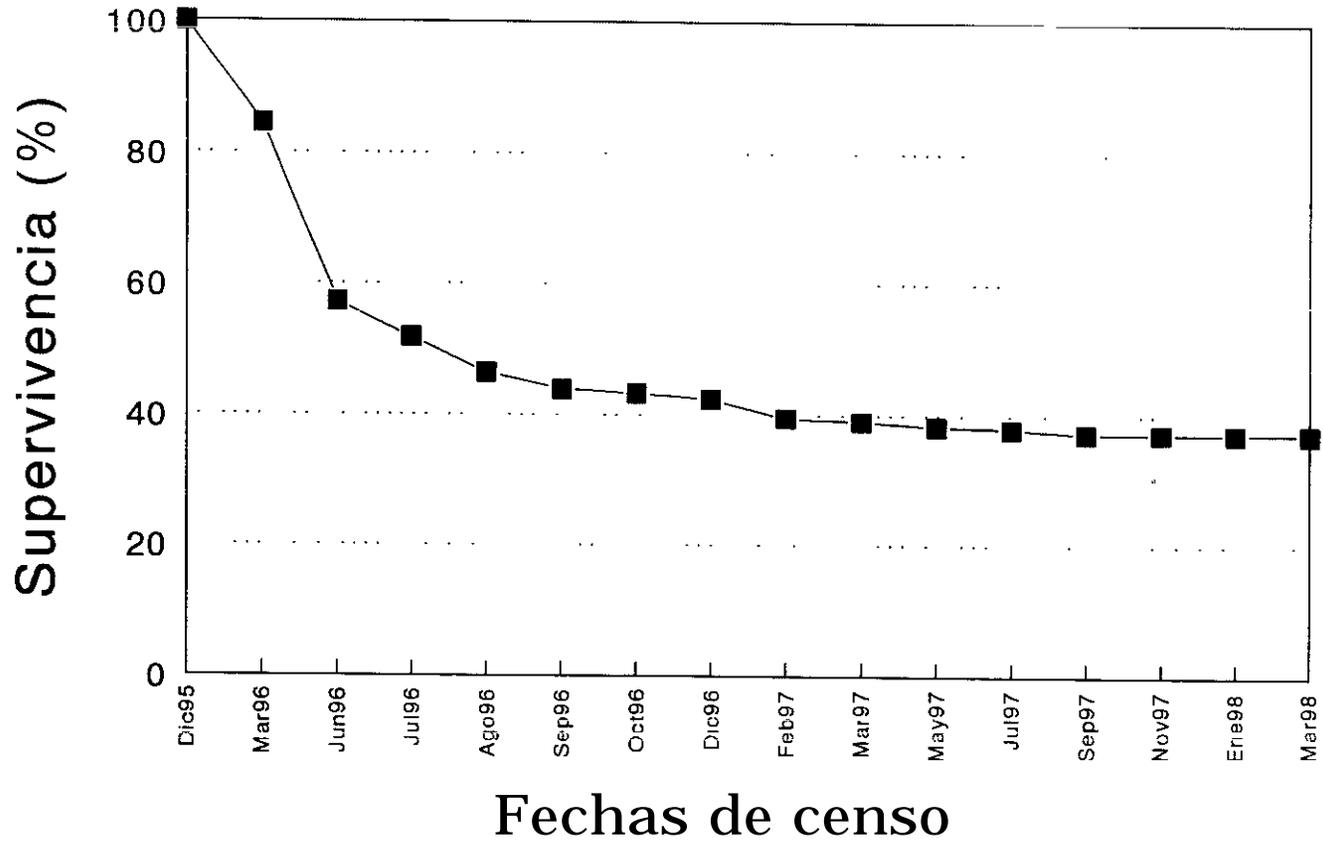
Pinus maximartinezii
(plantulas, Loma de Enmedio, Juchipila)

—○— Transecto 3



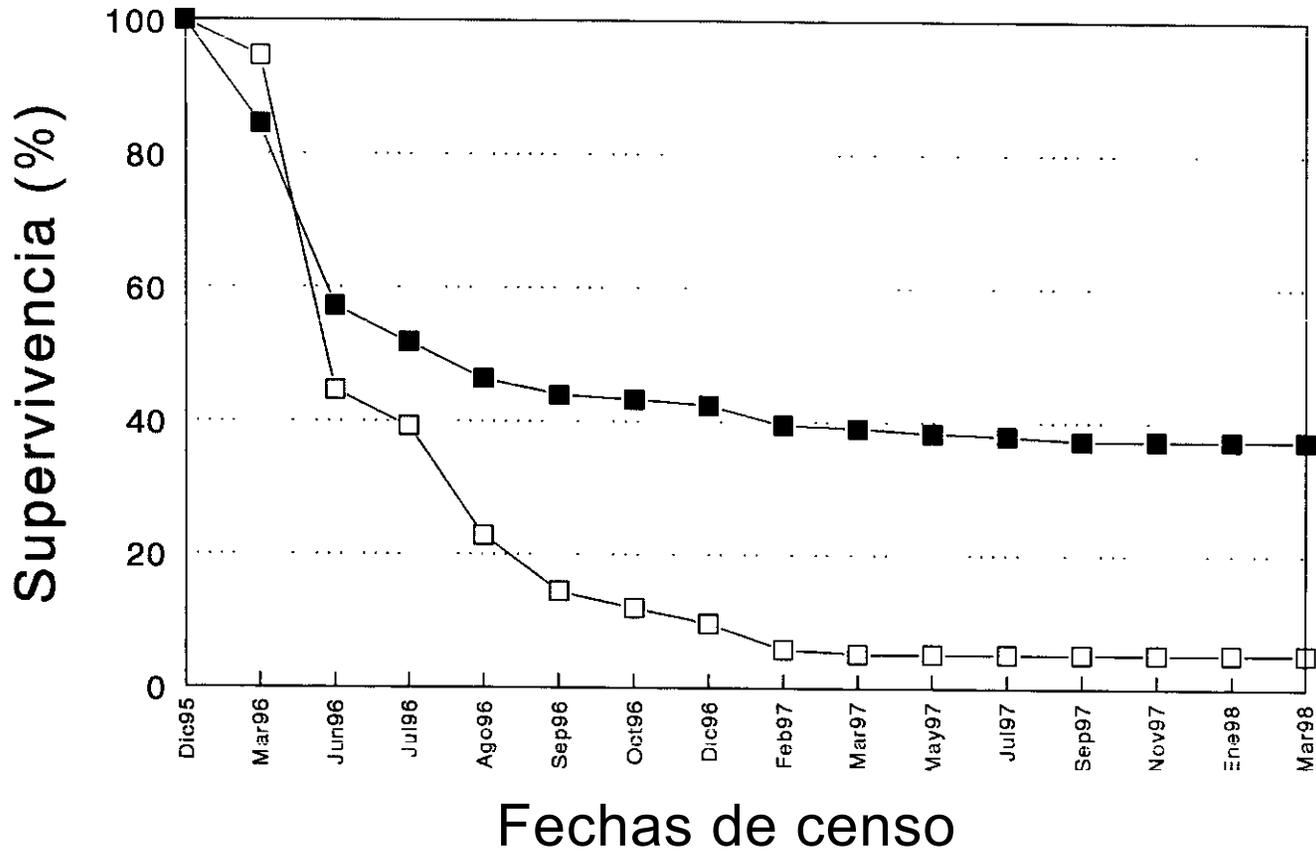
Pinus maximartinezii
(plantulas, Loma de Enmedio, Juchipila)

—■— Transectos agrupados



Pinus maximartinezii
Supervivencia en los dos sitios

—■— Loma enmedio —□— Pinoncitos



Amplitud entre anillos de crecimiento

Se calculó la estadística descriptiva de las amplitudes entre anillos de crecimiento de *P. maximartinezii*, tanto para cada árbol individual (IND1-IND55), como para los mismos árboles pero agrupados por clases diamétricas.

Estadística descriptiva de la amplitud entre anillos de crecimiento del pino azul, *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Los datos corresponden al número de anillos medidos de cada uno de los individuos de los que se obtuvo muestra (IND1 a IND55).

Arbol	Diámetro (DAP o DD)*	Media (cm)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Anillos observados
IND1	5.5	0.35	0.14	0.13	0.58	17
IND2	5.2	0.39	0.15	0.22	0.80	15
IND3	4.4	0.40	0.26	0.16	1.12	12
IND4	4.5	0.28	0.14	0.06	0.54	13
IND5	6.5	0.53	0.22	0.22	0.96	15
IND6	6.5	0.53	0.24	0.22	1.15	16
IND7	9.2	0.24	0.25	0.06	1.12	32
IND8	11.5	0.48	0.21	0.26	1.06	26
IND9	7.2	0.50	0.17	0.22	0.96	19
IND10	9.6	0.66	0.31	0.16	1.47	21
IND11	31.7	0.63	0.23	0.16	1.92	44
IND12	19.8	0.44	0.27	0.16	1.12	29
IND13	34.6	0.76	0.41	0.32	1.76	35
IND14	21.8	0.52	0.23	0.32	1.38	32
IND15	39.6	0.62	0.27	0.16	1.44	64
IND16	11.5	0.31	0.10	0.16	0.48	19
IND17	35.1	0.63	0.28	0.16	1.28	62
IND18	27.1	0.60	0.50	0.13	2.56	33
IND19	26.5	0.88	0.30	0.16	1.44	25
IND20	37.0	0.63	0.31	0.10	1.76	60
IND21	36.3	0.75	0.62	0.16	2.72	61
IND22	55.0	0.36	0.18	0.16	0.99	38
IND23	9.2	0.32	0.14	0.06	0.64	32
IND24	31.5	0.51	0.23	0.16	1.12	51
IND25	23.7	0.49	0.26	0.10	0.96	35
IND26	25.4	0.53	0.20	0.16	0.96	39
IND27	37.5	0.55	0.32	0.13	1.76	45
IND28	38.5	0.81	0.35	0.16	1.70	68

IND29	44.5	0.58	0.31	0.16	1.44	59
IND30	11.8	0.50	0.21	0.16	0.86	21
IND31	29.7	0.55	0.20	0.16	0.96	40
IND32	23.7	0.42	0.18	0.16	0.96	55
IND33	26.9	0.46	0.22	0.13	1.09	41
IND34	29.5	0.74	0.41	0.16	1.34	21
IND35	42.5	0.80	0.27	0.16	1.82	57
IND36	41.7	0.79	0.36	0.16	1.76	62
IND37	24.1	0.90	0.47	0.13	1.73	25
IND38	27.2	1.37	0.61	0.13	2.37	24
IND39	8.8	0.55	0.31	0.19	1.66	24
IND40	8.1	0.40	0.17	0.13	0.80	29
IND41	29.4	0.64	0.22	0.16	0.90	21
IND42	33.9	0.92	0.40	0.32	1.82	27
IND43	5.8	0.32	0.15	0.13	0.70	27
IND44	5.4	0.38	0.16	0.10	0.67	23
IND45	5.7	0.31	0.20	0.06	0.80	23
IND46	7.0	0.30	0.23	0.06	0.80	28
IND47	7.2	0.32	0.17	0.10	0.80	29
IND48	9.1	0.56	0.25	0.13	1.28	19
IND49	16.5	0.30	0.18	0.03	0.83	69
IND50	14.1	0.53	0.28	0.10	1.44	49
IND51	5.4	0.30	0.12	0.10	0.54	20
IND52	5.7	0.38	0.23	0.06	1.06	18
IND53	5.7	0.30	0.15	0.10	0.70	20
IND54	11.7	0.52	0.24	0.10	1.28	25
IND55	11.0	0.64	0.23	0.26	1.18	24

DAP=diametro a la altura del pecho
DD = diámetro de la muestra del disco.

Estadística descriptiva de la amplitud entre anillos de crecimiento de *Pinus maximartinezii* agrupados por clases diamétricas. Los datos están en centímetros.

Clase diamétrica	Intervalo diamétrico	Número de árboles	Media (cm)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
5	4.1-8.0	15	0.36	0.20	0.06	1.15
6	8.1-16.0	12	0.48	0.26	0.06	1.66
7	16.1-32.0	16	0.57	0.37	0.03	2.56
8	> 32.0	12	0.68	0.38	0.10	2.72

Distribución actual de las masas forestales de *Pinus maximartinezii* en la Sierra de Morones, Juchipila, Zacatecas.

Archivo: **A:\PMAXMAPA\DIAGRAMA. BMP**
A:\PMAXMAPA\DIAGRAMA. PCX

El mapa actual de la distribución conocida de *Pinus maximartinezii* generado se presenta a escala de 1:40,000, impreso a color, tamaño carta y almacenado en Paintbrush para windows con el nombre a:\DIAGRAMA.BMP.

En este mapa se presenta la distribución actual conocida y levantada directamente de campo a lo largo de la duración del proyecto. En el mapa se presenta además la distribución de cinco principales asociaciones vegetales relevantes dentro del área de distribución de *Pinus maximartinezii* sobre la Sierra de Morones, así como la ubicación de sitios locales importantes como son la ubicación de suelos con un grado extremo de erosión y carentes de vegetación (tepetates). En el mapa se representa también la hidrología, fallas geológicas y brechas.

Para la captura de los datos espaciales (digitalización) se utilizó la carta JUCIHIPILA F-13-D-36 de INEGI escala 1:50,000 utilizando la proyección transversa de mercator. La información geográfica que se utilizó y a partir de la cual se generó la información cartográfica fueron las cartas Topográfica y Geológica, principalmente, pero también se utilizó información geográfica de hidrología y uso del suelo.

Para la digitalización de los datos espaciales se utilizó el Sistema de Información Geográfica Idrisi versión 4.0.

Procedimiento:

- Se obtuvieron cuatro puntos de control (tics) de cada una de las cartas. A partir de estos puntos de coordenadas UTM el sistema es capaz de identificar las coordenadas

de todos y cada uno de los puntos de cada rasgo (punto, línea y/o polígono). Los cuatro puntos de control son:

Carta:JUCHIPILA	TIC No. 1	TIC No. 2	TIC No. 3	TIC No 4
F-13 – D - 36	x = 680000 y = 2360000	x = 680000 y = 2365000	x = 685000 y = 2365000	x = 685000 y = 2360000

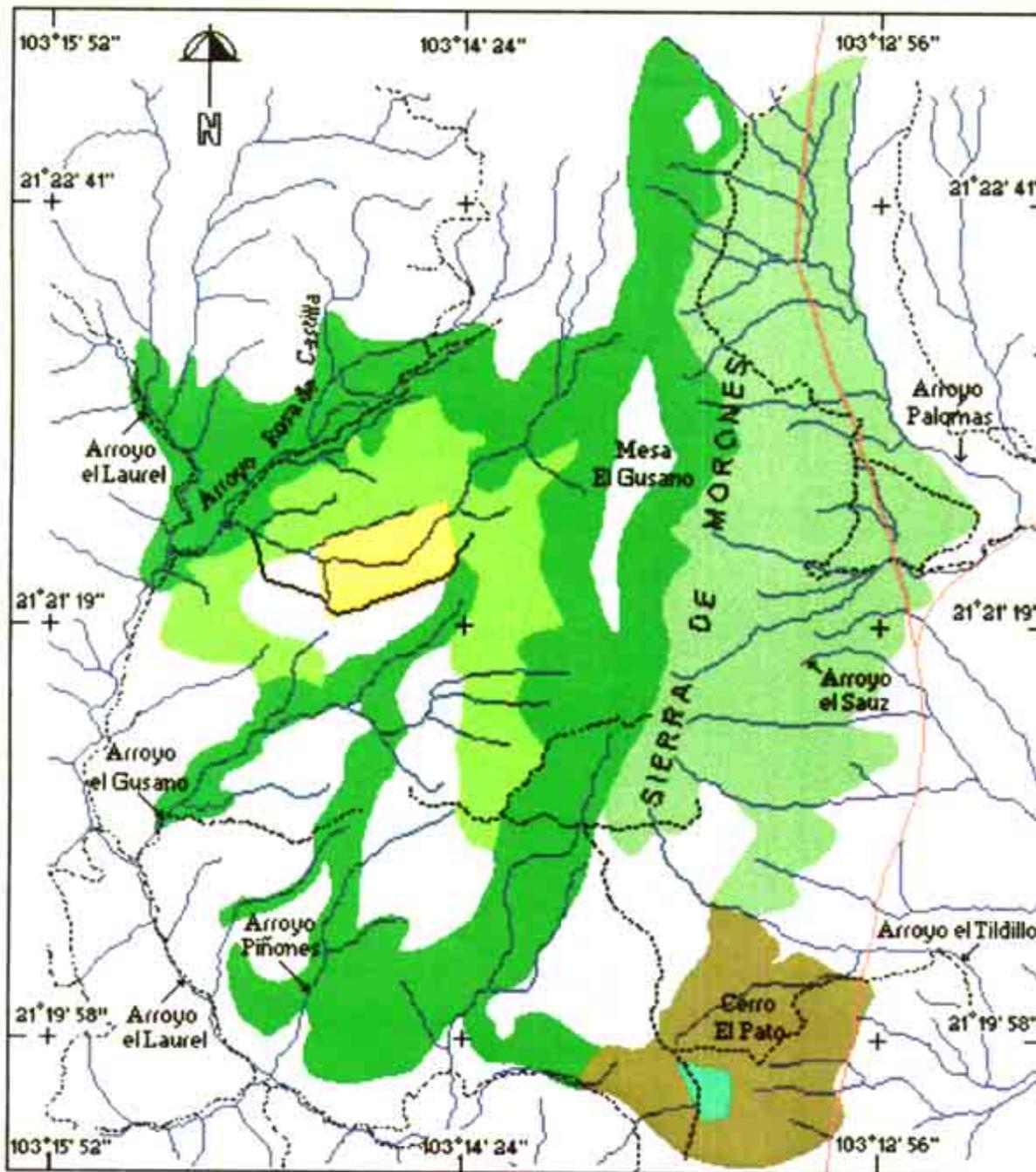
- Se capturaron los puntos de control con un error de 0.20 metros.
- Con ese error (aceptable) se inicio la digitalización.
- Se guardaron los archivos en formato binario con características de líneas.
- Se convirtieron a formato ASCII para manejarlo en el programa vectorial ROOTS, el cual es flexible para la edición de vectores.
- Cada uno de los polígonos se etiquetaron dependiendo del tipo de suelo Cada área o polígono tiene un, por lo tanto, un identificador de acuerdo a su categoría Para el caso de la hidrología, brechas y falla geológica cada línea se asocia a un identificador.
- Se exporta a Idrisi como tipo polígonos o puntos en formato ASCII.
- En Idrisi, se prepara la matriz con celdas de 15 X 15 metros. Se decidió utilizar este tamaño por obtener una resolución muy aceptable de acuerdo al tamaño del área de estudio. De acuerdo con los limites del área de estudio (en longitud oeste de 680000 a 686000 y en latitud norte de 2359150 a 2366125), la distancia en longitud es de 6000 metros y en latitud es de 6975 metros. De esta manera se obtuvo una matriz de 400 columnas por 465 filas.
- El mapa de uso del suelo se convierte a formato matricial, mientras que los de hidrología, falla geológica y brechas se quedan como lineales.

Con este procedimiento se obtuvo la información vectorial de los mapas hidrología, brechas y falla geológica, y la información en formato matricial del uso de suelo. La manipulación de estos archivos resultó en la generación del mapa de distribución de

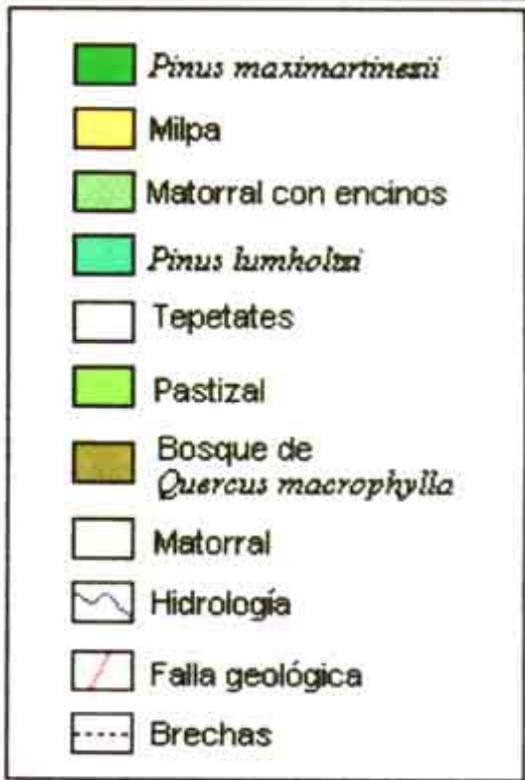
Pinus maximartinezii de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se activa el comando CAMERA en el software gráfico Dpaint.
- Se desplegó en Idrisi la imagen a editar y se sobrepuso la información a nivel gráfico de la hidrología, las brechas, la falla y las coordenadas geográficas.
- Los colores de las categorías del nuevo archivo gráfico se editaron en Dpaint
- Se exportó (importó) a Paintbrush de windows y ahí se rotularon los nombres de rasgos. Se construyó el norte geográfico, la simbología, etc.

Por último, se imprimió un preliminar para calcular en forma manual la escala gráfica y numérica y posteriormente se le dibujó. Esto se hizo así debido a que la version de Idrisi utilizada maneja escalas en cierta medida.

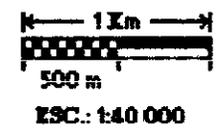


DISTRIBUCION CONOCIDA DE *Pinus maximartinezii* Rzedowski



Fuentes: Cartas de INEGI Geológica y Topográfica Esc.: 1:50 000 de Juchipila F-13-D-36

Elaboro: Dr. Lauro López Mata Mayo de 1998



Dinámica poblacional del pino azul, *Pinus maximartinezii* Rzedowski

Debido a la intensa actividad antrópica (pastoreo) en los sitios Loma de Enmedio y

El Plano, fue muy frecuente la pérdida de etiquetas usadas para marcar los individuos y las alcayatas usadas para marcar los límites de las parcelas. La pérdida de etiquetas y alcayatas en estos dos sitios me llevó a re-iniciar en dos ocasiones los censos en ellas y en esas mismas ocasiones ocurrió la pérdida de marcas, etiquetas y alcayatas. Sin embargo, algo logré rescatar y con muchas dificultades logré recensar uno de los sitios pero con la incertidumbre ocasionada por las pérdidas mencionadas. No obstante esto, se tienen los datos iniciales para ambas parcelas, pero los datos que me permitirían dar seguimiento detallado a ellas se vieron frustrados por las pérdidas antes mencionadas.

El sitio, Los Piñoncitos, no se vio afectado por ningún tipo de pérdidas o vandalismos, y es con los datos colectados de este sitio con los que me enfoqué a trabajar en el desarrollo del modelo de la dinámica poblacional de pino azul.

Por las razones expuestas arriba, la estructura poblacional de *Pinus maximartinezii* se basa en los datos provenientes del sitio Los Piñoncitos. En este y los otros dos sitios, se marcaron todos los individuos del pino azul cuyo diámetro a la altura del pecho fue igual o mayor a un centímetro sobre tres parcelas permanentes de observación de 1000m² cada una. Los vértices de las parcelas permanentes de observación fueron marcados con una alcayata y numeradas. Las parcelas tuvieron dimensiones de 50X20m cada una (tres mil metros cuadrados en total por sitio). Los árboles fueron marcados y numerados con una etiqueta de aluminio. A todos se les midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y se anotó su estado de salud. A los árboles reproductivos dentro de las parcelas se les contó el número de conos producidos con la ayuda de un contador manual. Posteriormente se les ubicó a cada uno en su clase diamétrica correspondiente y

se les dio seguimiento durante los dos años de duración del proyecto. Los mismos individuos se recensaron en dos ocasiones (solo en Los Piñoncitos) con intervalos de un año entre censos.

Con los datos de los censos individuales en el sitio Los Piñoncitos se estimaron las probabilidades de transición de un estado al siguiente, las probabilidades de permanencia en el mismo estado, el número y clase diamétrica de los individuos muertos entre censo anual y la estimación de las fecundidades individuales de los árboles reproductivos en ese sitio.

En la Tabla 1, se presentan los datos de la estructura poblacional de *Pinus maximartinezii* estructurada en ocho estados (S_1 - S_8). Sus densidades están dadas en individuos por hectárea. El número de individuos por estado fue calculado a partir de los datos que se incluyen en la sección de supervivencia de plántulas, regeneración (crecimiento vertical y diamétrico de brinzales) y censos y censos y censos en las parcelas del sitio Los Piñoncitos.

Tabla 1. Estructura poblacional o distribución inicial de estados de *Pinus maximartinezii* (vector columna), utilizada en las simulaciones del modelo matricial. Los datos corresponden al número de tallos por hectárea y están basados en los datos de las tres parcelas permanentes de observación de 1000 m² cada una.

Estados	N
S ₁	8400
S ₂	577
S ₃	440
S ₄	67
S ₅	53
S ₆	20
S ₇	57
S ₈	93

Los datos demográficos usados para calcular los coeficientes para la matriz de transición se presentan en la tabla 2. Las designaciones de los estados son las mismas que se presentan en el diagrama del ciclo de vida (Fig. 1). La primera columna de da tabla muestra los ocho estados del ciclo de vida del pino azul, la segunda columna el número de individuos observado en cada estado (N) y representa la distribución inicial de estados de la población. Los datos en esta columna llegarán a ser el vector columna del modelo matricial.

Tabla 2. Probabilidades de transición y permanencia de los diferentes estados de la población de *Pinus maximartinezii* observada. *S₁, es el número de plántulas observadas y seguidas en tres transectos de 150 m² cada uno (N=378 en 450 m²). Los estados restantes (S₂-S₈) fueron observados en tres parcelas permanentes de observación de 1.000 m² cada una (N está referido por lo tanto a 3,000 m²).

Estado	Número de individuos observados	Número que Transitan	Probabilidad de Transición	Permanencia	Probabilidad de Permanencia	Número de Muertes
S ₁	378	3	0.0079	12	0.0317	363
S ₂	173	19	0.1098	146	0.8439	8
S ₃	132	7	0.0530	122	0.9242	3
S ₄	20	2	0.1000	18	0.9000	0
S ₅	16	1	0.0625	15	0.9375	0
S ₆	6	0	0.0000	6	1.0000	0
S ₇	17	1	0.0588	16	0.0412	0
S ₈	28	0	0.0000	28	1.0000	0

Todos estos datos presentados en forma matricial producen la matriz de transición que se muestra en la Tabla 3. El primer renglón de la matriz enlista los valores de la fecundidad específica del tamaño para las clases S_5 a S_8 . La diagonal principal enlista a probabilidad de que los individuos pertenecientes a esa clase de tamaño permanezcan en la misma clase (probabilidad de permanencia) y la subdiagonal principal enlista las probabilidades de transitar de una clase de tamaño a la siguiente.

El programa utilizado para simular la dinámica poblacional y el efecto de la cosecha de semilla sobre la estabilidad demográfica de *Pinus maximartinezii* fue escrito y amablemente facilitado por la asesora de éste proyecto, Dra. Elena Alvarez-Buylla Roces. Este programa llamado LAMDA, está escrito en Pascal y ha sido desarrollado para implementarse en PC's con la ayuda del M.C. Leopoldo Valiente.

La raíz latente dominante calculada para la matriz con 300 iteraciones produjo un valor de $\lambda = 1.184864$, con una desviación estándar de 0.034729. Este valor de λ supera al valor teórico de 1.0, esperado para una población estable, e indica que la densidad poblacional de *Pinus maximartinezii* en el sitio de estudio está incrementándose con el tiempo. La importancia de los diferentes estados del ciclo de vida del pino azul puede ser evaluada haciendo variar selectivamente los coeficientes en la matriz de transición y evaluando el cambio resultante en λ . Los cambios en los coeficientes de la matriz que pueden reducir el valor de λ por debajo de 1.0 para cualquier población, son considerados perjudiciales para la estabilidad poblacional a largo plazo. Los análisis de sensibilidad de este tipo han sido previamente usados para evaluar la importancia demográfica de las tasas de supervivencia (Piñero *et al.* 1984), manejo y la cosecha sustentable de palmas (Olmsted y Alvarez-Buylla 1995, Pinard 1993), y regímenes de cosecha de semilla de *Brosimum alicastrum* (Peters 1991), entre otros.

Un procedimiento similar fue usado para examinar el impacto de la cosecha de semilla sobre la estabilidad poblacional de *Pinus maximartinezii*. Para simular la cosecha o remoción de semilla predisposición, los coeficientes de fecundidad fueron reducidos progresivamente y de manera escalonada, desde 10 hasta 99%, para todos los estados adultos (S_5 — S_8) de la población de *Pinus maximartinezii*. La raíz latente dominante fue calculada para cada nueva matriz de transición con el propósito de determinar el nivel de cosecha de semilla máximo recomendable para que el valor de λ no fuese inferior a 1.0. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4, y se grafican en a figura que la acompaña. Los resultados muestran que el valor de λ en todas las simulaciones fueron consistentemente mayores que 1.0, incluyendo aquellas simulaciones de cosecha de semilla excesiva, i.e. 96-99%. Estos resultados indican que el incremento poblacional y la estabilidad demográfica de *Pinus maximartinezii* se mantienen bajo todos los niveles de cosecha de semilla simulados, e indican que el nivel de regeneración actual de *Pinus maximartinezii*, en el sitio de estudio, es suficiente para balancear las tasas de mortalidad poblacional. Por otro lado, estos resultados indican también que, aproximadamente el 1% de la producción de semilla de *Pinus maximartinezii*, es necesaria para mantener a la población en estabilidad demográfica, lo cual supone, que las semillas que lograrían permanecer en el sitio encontrarían las condiciones apropiadas para su establecimiento y crecimiento inicial.

Tabla 3. Matriz de transiciones construida para la población de *Pinus maximartinezii* en el Cerro Los Piñoncitos, Juchipila, Zacatecas. Los valores de los coeficientes de fecundidad corresponden a semillas producidas por clase diamétrica de los tallos reproductivos observados en las tres parcelas de observación permanente de 1,000 m² cada una y están calculados a semillas producidas por hectárea.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
S ₁	0.0317	0	0	0	1,477	910	177,156	1'032,951
S ₂	0.0079	0.8439	0	0	0	0	0	0
S ₃	0	0.1098	0.9242	0	0	0	0	0
S ₄	0	0	0.0530	0.9000	0	0	0	0
S ₅	0	0	0	0.1000	0.3375	0	0	0
S ₆	0	0	0	0	0.0625	1.0000	0	0
S ₇	0	0	0	0	0	0.0000	0.9412	0
S ₈	0	0	0	0	0	0	0.0588	1.0000

Tabla 4. Valores de la tasa intrínseca de incremento poblacional, λ generados por el programa LAMDA (código en PASCAL escrito por la Dra. Elena Alvarez Buylla). Los valores de λ , (normal, mínimo y máximo) reportados corresponden a los coeficientes obtenidos con 300 iteraciones para los diferentes porcentajes de cosecha de semilla indicadas.

Cosecha de semilla (%)	λ normal \pm (1 d.e.)	λ min.	λ max.
0	1.184864 (0.034729)	1.055243	1.266408
10	1.178375 (0.034056)	1.051379	1.258520
20	1.171355 (0.033327)	1.047229	1.249977
30	1.163591 (0.032519)	1.042682	1.240518
40	1.154938 (0.031616)	1.037682	1.229959
50	1.145119 (0.030587)	1.032123	1.217953
60	1.133691 (0.029381)	1.025875	1.203942
70	1.119959 (0.027912)	1.018861	1.187044
80	1.102189 (0.025950)	1.011158	1.165666
90	1.076191 (0.022822)	1.004186	1.133873
95	1.055126 (0.019779)	1.001729	1.107060
96	1.049002 (0.018762)	1.001299	1.099106
97	1.042075 (0.017468)	1.000934	1.089692
98	1.033540 (0.015627)	1.000597	1.078734
99	1.022420 (0.012639)	1.000287	1.063523

Conclusiones

- *Pinus maximartinezii* es una especie rara, endémica y su categoría dentro del sistema nacional de áreas prioritarias no debe ser cambiado, pues la especie a pesar de presentar estabilidad demográfica bajo extracciones extremadamente altas de cosecha de semilla y mostrar que su población bajo las actuales circunstancias tiene el potencial para incrementarse, es una especie muy restringida en su área de distribución, sus poblaciones o rodales son escasos, esparcidos y contienen un número de individuos relativamente pequeños.
- Los rodales de esta especie son discontinuos y espacialmente distribuidos en parches en toda el área de su distribución.
- El hábitat de distribución del pino azul se encuentra seriamente amenazado por la creciente erosión edáfica debido al pastoreo y a los incendios inducidos. Las actividades milperas son escasas y no representan un serio problema para la especie bajo las actuales condiciones.
- Las tasas de supervivencia de plántulas de *Pinus maximartinezii* son muy variables y dependen fundamentalmente del estado de uso y actividad antrópica que se está ejerciendo en el área de distribución natural de la especie. Las actividades humanas principales resultan ser, el pastoreo y los incendios a ras de suelo para inducir el rebrote de pastos para alimentar al ganado lechero.
- Los incendios provocados resultan también un factor muy importante que limita el crecimiento del bosque de *P. maximartinezii* en la sierra de Morones. Todos los rodales que tuve oportunidad de observar mostraron evidencias de incendios ocurridos en el pasado. Por otra parte, los lugareños, afirman que en el pasado hace no más de 50 años, el bosque de *P. maximartinezii* estaba mucho más extendido dentro de la zona de distribución natural.
- La cosecha de semilla y su venta en el mercado local para su posterior exportación a Estados Unidos y Japón no parecer poner en peligro la estabilidad demográfica de la especie. Los resultados de las simulaciones que imitan niveles de cosechas de semilla extremadamente altas sostienen esta afirmación.
- Los incrementos diamétricos evaluados a través de la medición de las amplitudes de los anillos de crecimiento de la especie, indican que los incrementos diamétricos son buenos comparados con aquellas de otras especies de pinos piñoneros de zonas

áridas de México

- Toda la información verbal recabada *in situ* indica que la distribución natural de la especie es muy restringida y que nunca se ha extendido más allá de los límites actuales de distribución. Los incendios, el apacentamiento y el uso de la madera de esta especie para fines de construcción y leña también contribuyen también a limitar el crecimiento del bosque bajo condiciones naturales.
- Interesantemente, la familia que posee la mayor extensión de terreno donde esta especie se distribuye, ha manifestado un gran interés por rehabilitar y restaurar sus terrenos que ahora se encuentran bajo condiciones de bajo o nulo pastoreo y que en el pasado inmediato (<10 años) estuvieron pobladas por el pino azul, pero que fueron deforestadas por uno o varios incendios inducidos.

Referencias

- Allison, P.D. 1995. *Survival analysis using SAS System: A practical guide*. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc. 292pp.
- Olmsted, I. y E. Alvarez-Buylla. 1995. Sustainable harvesting of tropical trees: demography and matrix models of two palm species in Mexico. *Ecological Applications* 5: 484-500.
- Peters, C.M. 1991. Plant demography and the management of tropical forest resources: a case study of *Brosimum alicastrum* in Mexico. Pages 265-272 in: A. Gomez-Pompa, T.C. Whitmore, y M. Hadley, editores, *Rain forest regeneration and management*. UNESCO and The Parthenon Publishing Co., Paris, Francia.
- Pinard, M.A. 1993. Impacts of stem harvesting on populations of *Iratea deltoides* (Palmae) in an extractiva reserve in Acre, Brazil. *Biotropica* 25:2-14.
- Piñero D., M. Martínez-Ramos, and J. Sarukhán. 1984. A population model of *Astrocarium mexicanum* and a sensitivity analysis of its finite rate of increase. *Journal of Ecology* 72: 977-991.
- SAS Institute Inc. 1988. *SAS/STAT User's guide* Release 6.03 edition. Cary, North Carolina. 1028pp.