

EVALUACIÓN DE LA REGENERACIÓN EN BOSQUE DE PINO MEDIANTE EL METODO “PARCELA CERO”

David Arturo Moreno González¹, José Germán Flores Garnica¹
y Juan de Dios Benavides Solorio¹

RESUMEN

En gran medida la composición, calidad y continuidad del bosque dependen del establecimiento adecuado del renuevo incorporado por regeneración natural. El estudio que se describe evalúa esta etapa joven del desarrollo en varios pinos presentes en 315 sitios repartidos sobre 74 áreas de corta de la sierra de Tapalpa, estado de Jalisco, mismas que fueron intervenidas de 1991 a 1996 mediante el tratamiento de árboles padres. El trabajo se realizó de 1999 a 2001, aplicando el método de “parcela cero”. Inicialmente, se clasifica la densidad forestal en cinco categorías: sobreexcesiva, excesiva, recomendable, suficiente e insuficiente, con base en el espaciamiento entre individuos (< 1 , $1 - 2$, $2 - 3$, $3 - 4$, > 4 m) con sus respectivos valores expresados en árboles/m² (> 1.0 , 0.2501 a 1.0 , 0.1111 a 0.2500 , 0.0625 a 0.1110 , < 0.0625). En cada unidad de muestreo se contó el renuevo sano y vigoroso (54% fue aceptable y 46%, deficiente). Conocida la densidad, se determinó la distribución espacial con el diagrama “parcela cero” y el índice de Cox, cuya derivación fue clasificada en cuatro clases (> 1.18 , 0.88 a 1.17 , 0.15 a 0.87 , < 0.15); esta variable se manifestó con las siguientes modalidades: aglomerada (68%), regular (8%) dispersa (11%) y rechazada (13%). Los resultados indican que el repoblado de pino tiende a la aglomeración en algunos sitios o a la dispersión en otros, pero es necesario para el análisis el uso del indicador apropiado, tanto para el diseño natural como el artificial, referido en este caso, a la plantación a marco real.

Palabras clave: Bosque templado, densidad, distribución espacial, monitoreo de recursos forestales, renuevo de pino, Tapalpa.

Fecha de recepción: 27 de abril de 2006

Fecha de aceptación: 31 de octubre de 2007

¹ Campo Experimental Centro – Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP. Correo-e: moreno.davidarturo@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Forest composition, quality, and continuity depend on its regeneration. Early stages of pine were assessed on 315 sample plots, within 74 forest stands yielded from 1991 to 1996 under the parental trees treatment. This study was carried out from 1999 to 2001 in Tapalpa, state of Jalisco, based upon the distance method known as "zero plot". This method requires classifying density into the following classes: overstocked, excessive, suggested, sufficient, and understocked, considering also the distance among trees (< 1, 1 to 2, 2 to 3, 3 to 4, > 4 m) corresponds to the classed density expressed as number of trees per m² (> 1.0, 0.2501 to 1.0, 0.1111 to 0.2500, 0.0625 to 0.1110, < 0.0625). In each sample plot the number of trees is counted and classified by their health and vigor, 54 per cent showed good density and 46 per cent, understocked density. The spatial distribution was evaluated with use of a "zero plot" diagram and classed Cox index (> 1.18, 0.88 to 1.17, 0.15 to 0.87, < 0.15), in this way its dispersion was clustered (68 per cent), regular (8 per cent), sparse (11 per cent) and rejected (13 per cent). Forest regeneration tends to be abundant in some sample plots and rare in others, but is necessary to use a respective index to each natural and artificial (square in this case) distribution form.

Key words: Temperate forest, density, spatial distribution, forest resources monitoring, pine regeneration, Tapalpa.

INTRODUCCION

La regeneración natural es importante para asegurar la continuidad y sustentabilidad de los bosques. En las áreas que han sido objeto de cortas de aprovechamiento, el repoblado puede ser deficiente o excesivo. La primera condición se atribuye a la baja producción de semilla, a su diseminación irregular y/o a su consumo por depredadores, a fallas en la germinación y a la mortalidad de plántulas. La sobrepoblación provoca competencia entre los arbolitos con las hierbas, arbustos y árboles establecidos por el espacio entre ellos, en una relación desventajosa para los recién llegados. En este contexto, es importante conocer la magnitud de la disponibilidad de plantas jóvenes, con el propósito de establecer la medida silvícola adecuada para el manejo productivo del recurso forestal. En el caso particular de la Sierra de Tapalpa, Jalisco, se ha estado aplicando la silvicultura intensiva desde 1991; en gran parte su avance ha dependido de la diseminación de la semilla y el establecimiento de los arbolitos en los claros del bosque. Por tal motivo, la composición de la estructura joven se ha determinado por la cantidad de individuos presentes durante esta etapa. Sin embargo, su número no garantiza un resultado favorable, ya que es necesario que el renuevo se distribuya de forma uniforme para evitar aglomeraciones y espacios vacíos.

No basta contar con la densidad del renuevo solamente, sino que es pertinente tener una estimación de cómo se distribuye en el espacio. Para lo primero existen varios métodos, siendo el conteo directo el más confiable. Para la distribución espacial, el método "parcela cero" resulta bastante práctico en situaciones de bosques naturales. Por ello, en el presente trabajo se estudió la etapa juvenil de un bosque de coníferas con los siguientes propósitos: a) evaluación de la densidad a través de un conteo directo en una superficie pre-establecida, la cual corresponde al método "parcela cero"; y b) estimación de la distribución espacial mediante el método de la "parcela cero".

Es importante señalar que aunque existen metodologías alternativas para la evaluación de densidad, éstas no representan una opción para la estimación de la distribución espacial, como el que se propone en forma integral con la metodología de "parcela cero", la cual se adapta en este trabajo para evaluar la regeneración.

Evaluaciones de la densidad

Existen varias opciones para la evaluación de la densidad de arbolado. Wratten y Fry (1980) propusieron tres fórmulas basadas en métodos de distancia, que ofrecen un resultado eficaz cuando se trata de plantaciones con distribución uniforme. Sin embargo, en bosques naturales su precisión disminuye (Pollard 1971), pues el arbolado no sigue esta disposición regular.

En México se han efectuado algunos estudios de densidad en diferentes sistemas de manejo forestal, los cuales coinciden en que la regeneración se presenta en los espacios que surgen de la pérdida de árboles ocasionada por el viento, descargas eléctricas, incendios, plagas, enfermedades, vejez y aprovechamientos (Méndez, 1998; Hernández, 1994; Cardoza, 1994; Chacón, 1993; Ruiz *et al.*, 1990; Aldrete, 1990; García, 1985; Velázquez, 1984; Negreros y Snook, 1984; Mas, 1983). En contraste, los mejores logros se han obtenido al seleccionar los progenitores, procurando su distribución uniforme, un terreno preparado con tratamientos a los desperdicios, hierbas y arbustos, para favorecer la germinación, la plantación y el establecimiento (Toral, 1999; Manzanilla *et al.*, 1997; Chávez, 1996; Valencia, 1992; Ortega, 1990; Rodríguez y García, 1989; Mastache, 1988; Musalém, 1984; Chacón, 1983).

La germinación numerosa es favorecida por la producción abundante de semilla y su dispersión uniforme sobre el área de corta. Sin embargo, muy pocas son las plántulas emergidas que logran establecerse, siendo esta fase la más crítica para el rejuvenecimiento del bosque al ocurrir el mayor porcentaje de mortalidad. En este sentido (Cuadro 1), se han llegado a reportar mucho más de 20 mil plántulas de pino/ha en los primeros meses de vida (Méndez, 1998; Ruiz *et al.*, 1990; Musalém, 1984; Chacón, 1983), lo que suele modificarse durante la primera década de existencia de las mismas, pues sus poblaciones tienden a disminuir hasta cantidades menores a 14,300 ejemplares/ha.

Cuadro 1. Densidades reportadas de renuevo de pino.

| Autor | Especie | Árboles/ha | Lugar |
|---------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Monroy (1999) | <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. | 7 000 | Huayacocotla, Ver |
| Méndez (1998) | <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. | 24 118 | Zacualtipán, Hgo. |
| Cardoza (1994) | <i>Pinus</i> spp. | 3 145 – 7 730 | Tlatlauquitepec, Pue. |
| Hernández (1994) | <i>P. hartwegii</i> Lindl. | 43 - 438 | Chalco, Méx. |
| Chacón (1993) | <i>P. arizonica</i> Engelm. | 5 175 – 10 050 | Madera, Chih. |
| Valdez (1992) | <i>P. hartwegii</i> Lindl. | 1 700 – 3 700 | Zoquiapan, Méx. |
| Valencia (1992) | <i>P. douglasiana</i> Mtz. | 1 533 – 14 588 | Atenquique, Jal. |
| Ortega (1990) | <i>Pinus</i> spp. | 100 – 2 000 | Chignahuapan, Pue. |
| Ruiz et al. (1990) | <i>P. montezumae</i> Lamb. | 544 281 | Calpulalpan, Tlax. |
| Ruiz et al. (1990) | <i>P. montezumae</i> Lamb. | 223 531 | Calpulalpan, Tlax. |
| Ruiz et al. (1990) | <i>P. rudis</i> Endl. | 36 093 | Calpulalpan, Tlax. |
| Ruiz et al. (1990) | <i>P. rudis</i> Endl. | 4 520 – 7 753 | Calpulalpan, Tlax. |
| Rodríguez y García (1989) | <i>P. douglasiana</i> Mtz. | 2 730 – 5 694 | Concepción, Jal. |

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------|
| Mora y Rodríguez (1988) | <i>P. montezumae</i> Lamb. | 13 213 | Tulancingo, Hgo. |
| Cano (1988) | <i>P. douglasiana</i> Mtz. | 5 000 – 7 500 | Sureste de Jalisco |
| Musalem (1984) | <i>P. montezumae</i> Lamb. | 26 000 | Zoquiapan, Méx. |
| Chacón (1983) | <i>P. arizonica</i> Engelm. | 1 976 800 | Madera, Chih. |
| Mas (1983) | <i>P. herrerae</i> Martínez | 560 – 4 100 | Coalcomán, Mich. |
| Lagunes (1969) | <i>Pinus</i> spp. | 10 900 – 14 300 | Guanacevi, Dgo. |

Estimaciones de la distribución espacial

La dispersión heterogénea de la regeneración natural ha sido señalada por Upton y Fingleton (1985) como la tendencia que tiene el renuevo a ser denso en algunas zonas y ausente o escasa en otras. Algunos estudios realizados con técnicas diferentes refuerzan esta aseveración, entre los que pueden citarse los siguientes: a) Por la cobertura de copas; Cardoza (1994) indicó una presencia del nuevo arbolado dispersa, considerando que las copas cubrieron del 19 al 52% de la superficie, mientras Ortega (1990) obtuvo el 36 % de distribución regular y el 64 % dispersa; b) Por localizaciones puntuales registrando las coordenadas x-y, Aldrete (1990) encontró que el renuevo se mostró disperso el primer año y aglomerado al segundo, y c) Por el índice de Cox; aplicando el método de distancias "parcela cero", Méndez (1998) reconoció que el renuevo se dispone en una forma combinada entre dispersa y aglomerada. Hernández (1994) lo describió como aglomerado con vacíos grandes. Valdez (1992), como ligeramente aglomerado y González (1990) como 96% homogéneo y el 4 % restante, heterogéneo.

Al respecto, Torres y Magaña (2001) describieron brevemente los métodos de análisis que involucran distancia, ya sea desde un punto fijo de muestreo al árbol más cercano o bien entre dos árboles, el cuadrante centrado a rumbos francos y el método de pares aleatorios; destacaron que es importante determinar factores de corrección para los diferentes diseños de plantación, con el fin de evitar sesgos en las estimaciones.

Método "parcela cero"

El método "parcela cero" surgió en Ecología para investigar la cobertura de superficie por las plantas, que Cox (1971) definió como las áreas circulares de tamaño desigual pero sin plantas. Estos círculos se convierten en sitios de muestreo al tomar la distancia radial desde el centro hasta el renuevo más cercano. La cantidad de árboles por unidad de área depende del tamaño de estas parcelas; así, Méndez (1998) señaló que la categoría de "parcela cero" de menor superficie significa la mayor cantidad de estos círculos por hectárea, lo que ofrece una densidad superior y la aglomeración de los arbolitos. Por el contrario, cuando constituyen el menor número de círculos posibles se observa una densidad disminuida con árboles dispersos (Figura 1).

Por su parte, Dennis (1984) consideraba que técnicas como la "parcela cero" son adecuadas para estimar la densidad y establecer el patrón de distribución espacial de los árboles. Ha sido ponderada como un procedimiento conveniente para medir el éxito de los tratamientos silvícolas, aunque Sachtler (1975) enfatizó la necesidad de reglamentar el número de individuos por unidad de área y su acomodo espacial. De este modo, el método de distancias "parcela cero" permitiría caracterizar el ordenamiento de los árboles sobre la superficie a partir

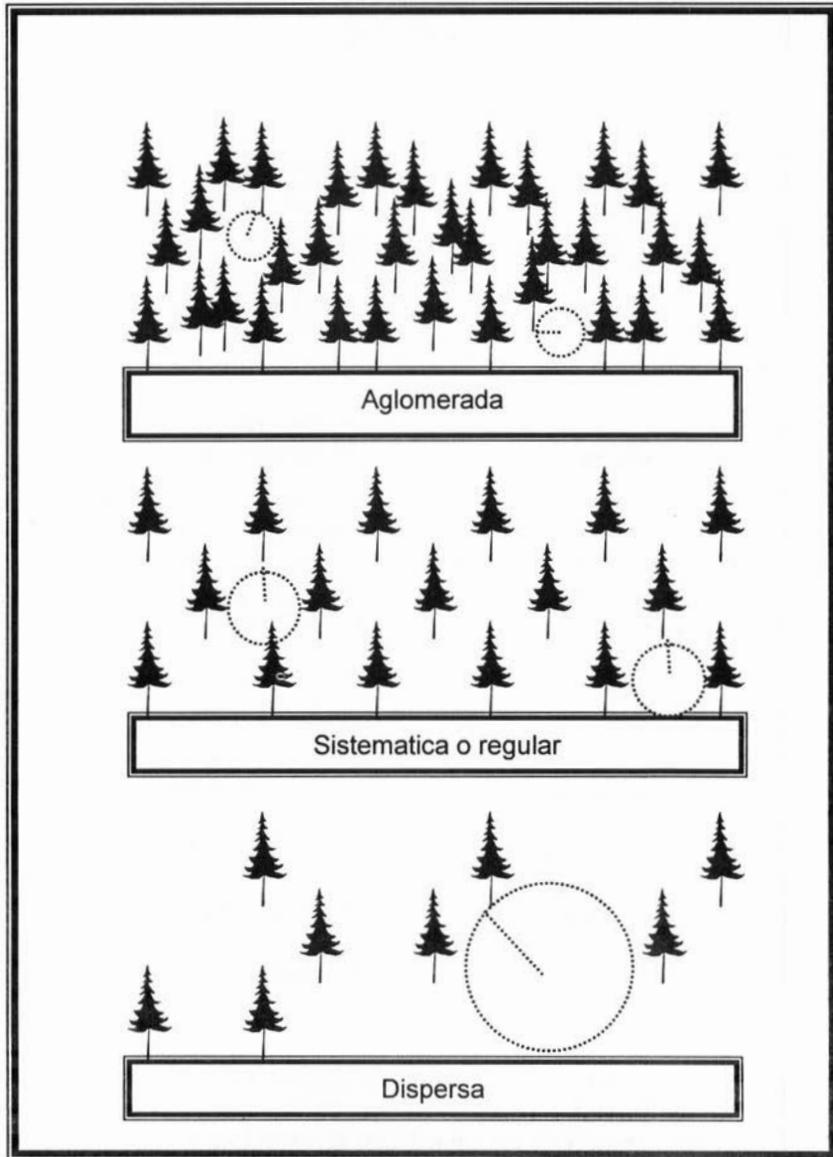


Figura 1. Diferentes formas de la distribución espacial de la regeneración.

de los resultados de un diagrama elaborado con el índice de Cox (I_c). Este índice de heterogeneidad se desarrolla con la fórmula:

$$I_c = a \cdot b \cdot k.$$

Donde:

I_c = Índice de Cox.

a = Cifra de la ordenada $P(0)$ del diagrama que es dividida entre 100 (corresponde al 2° punto de control, en medio de la línea diagonal)

b = El valor del factor λ calculado a partir de sitios vacíos (tercer punto de control)

k = Constante para que el I_c asuma el valor 1, con $1/ab$

Entonces, $a \cdot b \cdot k = 1$. Se deduce que el I_c se aproxima a cero en la distribución dispersa, asume el valor de 1 con la regular y al sobrepasarlo es aglomerada.

El diagrama de "parcela cero" se elabora después de calcular la densidad del sitio de muestreo. Este esquema se estructura con dos líneas verticales y paralelas (ordenadas) y otra horizontal (abscisa) que las une en su base. En la ordenada de la derecha se anota el porcentaje de "parcela cero" como $P(0)$, obtenido con la siguiente fórmula de la distribución Poisson:

$$P(0) = 100 e^{-\lambda} \quad (1)$$

Donde:

$P(0)$ = porcentaje de "parcela cero"

e = la constante 2.718281828459, base del logaritmo natural.

λ = indicador de la forma de distribución. Se obtiene con $\pi r^2 \delta$.

En la ordenada de la izquierda se escribe el $P(0)$ con la versión logarítmica:

$$\text{Log}_{10} P(0) = 2 - (0.434294482 \cdot \lambda) \quad (2)$$

Donde:

$\text{Log}_{10} P(0)$ = logaritmo en base 10 del porcentaje de "parcela cero"

2 = logaritmo en base 10 del 100 %

0.434294482 = logaritmo en base 10 de la constante e

En la abscisa se apunta el valor del factor λ :

$$\lambda = \pi r^2 \delta \quad (3)$$

Donde:

- π = "pi"; la constante 3.14159
- r = radio de la "parcela cero"
- δ = arbolitos por m² en el sitio.

Además, en el diagrama se traza una diagonal, característica de la distribución Poisson, con base en tres puntos de control: a) El 100% de "parcelas cero" en coordenada con el 2 como logaritmo de esta cifra y un $\lambda = 0$ como punto inicial; b) Es el de mayor significado, pues muestra la condición regular de los arbolitos sobre el terreno. En este punto, el factor λ adquiere el valor de acuerdo a la forma de distribución ideal u óptima, natural o artificial, que tienen los árboles, y c) El porcentaje de las unidades de muestreo que, por la ausencia de arbolitos, no incluyen medidas de "parcela cero". La teoría recomienda 5% de sitios vacíos para este punto de control (Loetsch *et al.*, 1973).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 25 predios con ordenamiento en el Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales (SIMANIN) de Tapalpa, Jalisco (Figura 2). En cada uno de ellos se localizaron las áreas de corta de regeneración con el tratamiento de árboles padres, correspondientes a las primeras cuatro anualidades del aprovechamiento; la regeneración es de procedencia original y no de una plantación. Se eligieron 74 áreas intervenidas de 1991 a 1996 en total, con superficie variable de una a seis hectáreas. Se contaron hasta 90 árboles padres en las áreas más grandes y 15 en las pequeñas, con promedio de 14 árboles/ha uniformemente distribuidos.

En la mayoría de las áreas predominó una especie de pino, en otras el espacio está compartido por dos y raramente se observaron tres juntas. De ellas, *Pinus devoniana* Lindley fue la más abundante, le siguen en ese orden *P. oocarpa* Shiede, *P. lumholtzii* Robins *et Fern*, *P. leiophylla* Schl. *et Cham.* y *P. pseudostrobus* Lindley, las cuales coexisten con otras especies arbóreas, arbustivas y herbáceas.

Método de evaluación de la regeneración

Durante dos periodos, 1999-2000 y 2000-2001, se evaluó tanto la regeneración natural como la artificial, correspondientes a 1-2 y 3-4 anualidades del SIMANIN. La primera forma de propagación es el resultado de la reproducción nativa de los árboles padres, mientras que la otra es producto de la plantación a marco real o

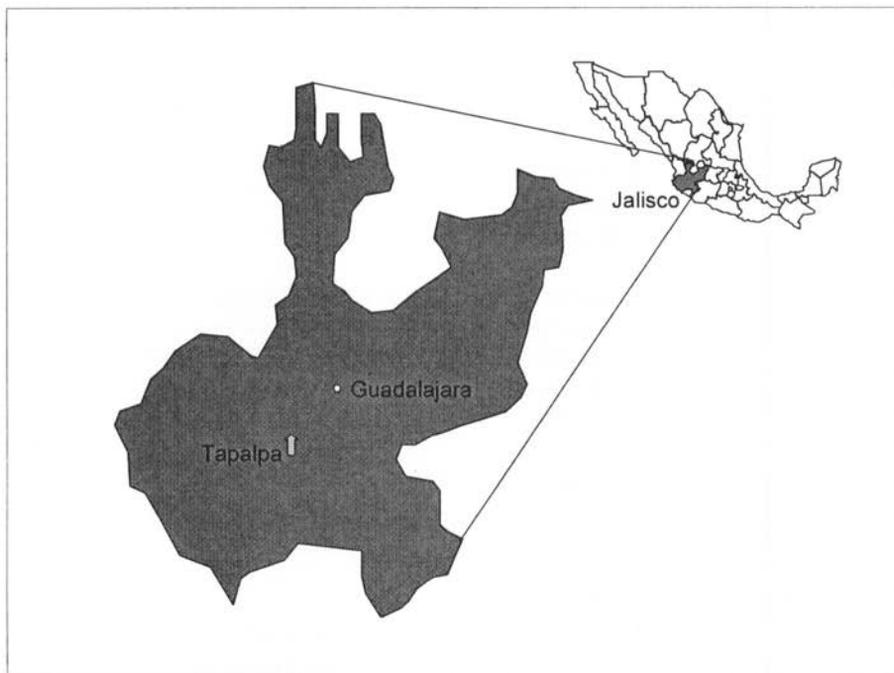


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

cuadrada en algunas de las áreas con deficiencia de renuevo y en las que fueron incendiadas. La evaluación se efectuó mediante el método de "parcela cero", descrito anteriormente.

Sistema de muestreo.- El tamaño de las áreas donde fue aplicada la corta de regeneración se utilizó para determinar el muestreo. Según su dimensión, se asignó diferente número de sitios (Cuadro 2). En total se contó con 227 ha., donde se levantaron 315 sitios equivalentes a 43% de intensidad de muestreo.

Cuadro 2. Sitios de muestreo para evaluar regeneración.

| Superficie (ha) | Áreas | Sitios/área | Total |
|-----------------|-------|-------------|-------|
| < 2.5 | 39* | 3 | 111 |
| 2.6 – 3.5 | 16 | 5 | 80 |
| 3.6 – 4.5 | 9 | 6 | 54 |
| 4.6 – 5.5 | 10 | 7 | 70 |

* Dos áreas fueron siniestradas por incendios.

Cada sitio de muestreo iniciaba con un árbol padre, sorteado conforme a un esquema determinado, donde se ubican cinco orientaciones de estos progenitores en cada una de las cuatro cantidades de sitios por área (Figura 3). Inicialmente se revisaban los registros para conocer la superficie de un área de corta de regeneración, por ejemplo; si era menor a 2.5 ha, le correspondían tres sitios de muestreo (T3) (Cuadro 2). Enseguida se sorteaban las cinco formas de orientación correspondiente a esta cantidad de sitios (Figura 3). Si resultaba la forma uno, (F1), entonces los sitios de muestreo debían estar cerca de tres árboles padres, orientados de forma recta por la parte central del área: uno próximo al límite norte, otro en el centro y el tercero hacia el límite sur.

Para instalar el sitio de muestreo, primero se localizó al árbol padre y al renuevo más inmediato, a partir del cual, en la misma dirección proyectada por el ejemplar adulto, se midieron 10 m. Esta medida es el radio del área circular del sitio, donde se contabilizaban todos los arbolitos sanos y vigorosos ya establecidos y que, por lo tanto, hayan sobrevivido a una temporada de secas, cuando menos.

Posteriormente, se tomó la distancia del centro del sitio al arbolito más cercano, misma que se define como el radio de la "parcela cero" (Figura 4).



Figura 3. Sorteó de sitios en las áreas de regeneración.

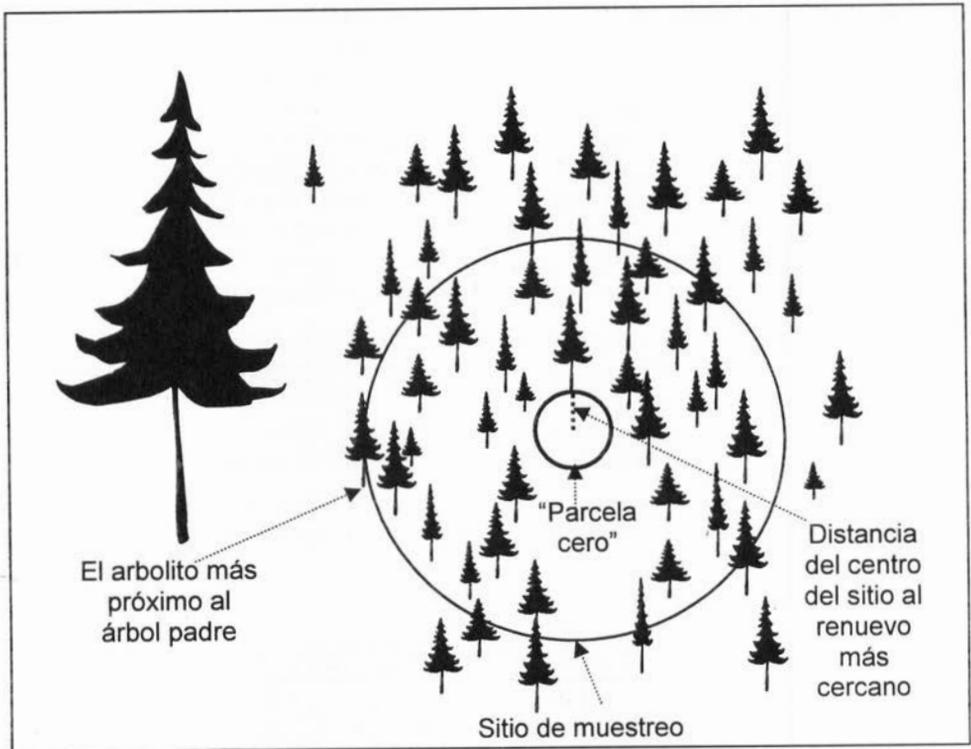


Figura 4. Trazo del sitio de muestreo

Clasificación de la densidad. La densidad es el número de árboles sanos, vigorosos y establecidos por unidad de superficie. Para obtenerla por m^2 se contaron los arbolitos del sitio y se dividió esta cantidad entre su área. También fue expresada por la distancia entre los árboles, la cual indica el espacio de crecimiento que ocupa cada individuo. Debido a que la "parcela cero" requiere clasificar esta variable, la distancia entre arbolitos se clasificó en sobreexcesiva (<1 m), excesiva (1 a 2 m), recomendable (2 a 3 m), suficiente (3 a 4 m) e insuficiente (>4 m).

La designación de "recomendable" surgió a partir del análisis realizado a la recopilación sobre plantaciones comerciales (Fierros *et al.*, 1999) en la que la distancia de plantación predominante mide 2 y 3 m. Además, se observó que este intervalo incluye de 2,500 árboles/ha para los diseños natural y marco real, que para la corta de regeneración en un bosque con manejo intensivo, fue considerada como aceptable (Dirección General para el Desarrollo Forestal, 1980).

Se consideró conveniente realizar un ejercicio como ejemplo (Cuadro 3) que incluye la densidad calculada por m^2 (factor δ), la distancia y la superficie por árbol, además del radio máximo de la "parcela cero", la superficie de esta parcela y el indicador para la forma de distribución (factor λ). Se hace alusión con los superíndices 1, 2 y 3 a las diferentes densidades cualitativas y cuantitativas por ha en una plantación a marco real o cuadrada. En este prototipo, la densidad se propuso excesiva, recomendable y suficiente. Los conceptos involucrados en este trabajo se pueden separar en clases, excepto el factor λ , el cual es aceptado como exclusivo para la forma de distribución a marco real. De este modo, las distancias entre individuos permiten manejar la densidad de manera sencilla, facilitando su frecuencia con valores máximos y mínimos por clase.

Cada una de las clases de densidad la constituye una cantidad variable de árboles por tres razones: 1) La designación de la clase en sí misma, la cual está caracterizada por una particular distancia en metros; 2) La suma alcanzada en cada clase, de acuerdo a esta separación, pero con respecto a la forma de distribución usada en la plantación, y 3) El incremento de esa cantidad, conforme aumenta la inclinación del terreno para cada diseño y clase de densidad. Esta última podría ser interpretada como errónea, partiendo del supuesto de que las distancias se trazan en forma horizontal. Pero, después de haber interpretado las densidades bajo condiciones naturales de los Sitios Permanentes de Investigación Silvícola, se ha comprobado la abundancia de árboles conforme aumenta la pendiente. Por ello ha sido adoptado este escenario para brindar mayor protección al suelo durante los aprovechamientos, lo que puede ser extensivo para las plantaciones, tal y como lo habían señalado Moreno *et al.* (1993), quienes recomendaron el trazo de la distancia en forma paralela a la inclinación del terreno.

La clase seleccionada como recomendable parte de las siguientes consideraciones: corresponde a la densidad variable, dada por el intervalo de 2 a 3 m. Dentro de este rango quedaron incluidas diferentes cantidades, según la forma de distribución espacial; así resultó que la regeneración natural tuvo de 1,283 a 2,890 árboles/ha., mientras que la artificial en marco real varió de 1,111 a 2,500 árboles/ha. Estos rangos quedarían sujetos a la inclinación del terreno, de tal manera que al alcanzar el 100% (45°) se incrementarían 40%.

Determinación de la distribución espacial. - Al haber concluido los cálculos de densidad, se procedió a elaborar el diagrama de "parcela cero" (Cox, 1971) (Figura 5). A través de la longitud de la diagonal del diagrama se ubicó la totalidad de valores de los sitios de muestreo. La parte media de la línea equivale al punto b, que mostró los de los diseños natural y artificial, según el que se haya estado usando. Por tratarse de una reforestación realizada en cuadro o marco real como apoyo a la condición natural de la regeneración, en el presente estudio el factor λ o indicador de esta forma de distribución adquirió un valor de 1.57, con un $P(0)$ y su logaritmo respectivo calculado con las fórmulas 1 y 2 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Densidad excesiva¹, recomendable² y suficiente³, para un diseño a marco real sobre un terreno con menos del 10 % de inclinación.

| | (A) Densidad (árb/ha) | (B) Distancia entre arbolitos e hileras (m) ($\sqrt{10000/A}$) | (C) Superficie por arbolito (m ²) (10000/A) | (δ) Número de arbolitos por m ² . (A/10000) | (r) Radio máximo de la "parcela cero"(m) ($\sqrt{2(\frac{1}{2}B)^2}$) | (S) Superficie de la "parcela cero" (m ²) ($\pi \cdot r^2$) | (λ) Indicador de la forma de distribución a marco real ($\pi \cdot r^2 \cdot \delta$) ó (S · δ) |
|--------------|-----------------------------|--|---|--|--|---|---|
| ¹ | 10000 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.71 | 1.58 | 1.58 |
| ¹ | 5000 | 1.41 | 2.0 | 0.5 | 1.0 | 3.14 | 1.57 |
| ² | 2500 | 2.0 | 4.0 | 0.25 | 1.42 | 6.33 | 1.58 |
| ² | 2262* | 2.1 | 4.42 | 0.2262 | 1.48 | 6.93 | 1.57 |
| ² | 2000 | 2.24 | 5.0 | 0.2 | 1.58 | 7.84 | 1.57 |
| ² | 1667* | 2.45 | 6.0 | 0.1667 | 1.73 | 9.43 | 1.57 |
| ² | 1250 | 2.83 | 8.0 | 0.125 | 2.0 | 12.57 | 1.57 |
| ³ | 1110 | 3.0 | 9.0 | 0.1110 | 2.13 | 14.25 | 1.58 |
| ³ | 1000 | 3.16 | 10.0 | 0.1 | 2.23 | 15.62 | 1.56 |
| ³ | 625 | 4.0 | 16.0 | 0.0625 | 2.84 | 25.33 | 1.58 |

* Densidad manejada por el Fideicomiso para la administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco (Toral, 1999)

Cuadro 4. Porcentaje P(0) y su logaritmo en el diseño a marco real.

| P(0) | Log P(0) |
|-----------------------------|---|
| $P(0) = 100 e^{-\lambda}$ | |
| $100 (2.718)^{-\lambda}$ | $\text{Log } P(0) = 2 - (0.43 \cdot \lambda)$ |
| Distribución en marco real: | $2 - (0.43 (1.57))$ |
| 100 (0.208) | $2 - 0.68$ |
| 20.8 | 1.318 |

El punto c de la diagonal representa el límite tolerable; está integrado por el porcentaje de sitios vacíos más los que, por contener una cantidad mínima de arbolitos, rebasaron este punto hacia la parte inferior de la diagonal, por lo que fueron rechazados para el análisis de distribución.

En el caso del SIMANIN, las anualidades de corta de regeneración 1, 2, 3 y 4 en conjunto alcanzaron la cifra de 3.17%. La fórmula para despejar los valores de las coordenadas que fijan este punto de control sobre la línea diagonal del diagrama fue la siguiente:

$$\lambda = \frac{2 - \text{Log}_{10} 3.17}{\text{Log}_{10} e} = 3.45$$

Las coordenadas obtenidas para los tres puntos de control en la diagonal del diagrama "parcela cero" se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Puntos de control en el diagrama "parcela cero"

| Puntos de control | P(0) (%) | Log P(0) | (λ) |
|-------------------|----------|----------|---------------|
| 1° | 100 | 2.0 | 0.0 |
| 2° (Marco real) | 20.8 | 1.31 | 1.57 |
| 3° | 3.17 | 0.50 | 3.45 |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento de árboles padres no ha ocasionado un resultado completamente eficaz de densidad y distribución espacial del renuevo.

Densidad de la regeneración

No hubo sitios de regeneración con la categoría sobreexcesiva (Cuadro 6); esto significa que en las áreas de las primeras cuatro anualidades del SIMANIN, al momento de la evaluación – de 6 a 8 años después de realizada la corta de regeneración– no existía un número elevado de arbolitos establecidos y distanciados a menos de 1 m. Este resultado mostró una diferencia notable con los obtenidos por Lagunes (1969) y Valencia (1992) (Cuadro 1). La comparación expresó la posibilidad de alguna influencia, tanto en la fecha de evaluar, como en la especie y el tratamiento silvícola que contribuyen a saturar de repoblado a una localidad. Las densidades reportadas por estos autores han sido de las más altas logradas a la fecha, y si se tratara de clasificarlas, se caracterizarían por contener la mayor cantidad de "parcelas cero" de la menor superficie (Méndez, 1998).

La clase excesiva incluyó a 20 sitios (6%), misma que se caracteriza por la distancia entre arbolitos de 1 a 2 m. Dentro de esta categoría se han obtenido resultados similares para otras especies de pino, también manejadas con el tratamiento de árboles padres en diferentes regiones del país (Chacón, 1993; Valencia; 1992; Cardoza, 1994; Monroy, 1999; Cano, 1988; Rodríguez y García, 1989; Mas, 1983).

La clase de densidad recomendable que sería la ideal y que tiene un espaciamiento de 2 a 3 m entre los árboles, solamente abarcó 73 sitios (23%), casi la cuarta parte del número total. En esta categoría también quedaron comprendidos algunos de los sitios evaluados por Valencia (1992) y Mas (1983).

En 78 sitios (25%) la densidad forestal quedó clasificada como suficiente, que se identifica por la distancia entre individuos de 3 a 4 m, aunque aceptable todavía, muestra una ligera deficiencia de poblamiento.

La clase insuficiente comprendió el mayor número de sitios con 134 (43%), donde la distancia entre arbolitos supera los 4 m. En estas áreas la deficiencia de regeneración es notable y obliga a realizar prácticas silvícolas para mejorarla. En esta misma categoría quedarían incluidos los resultados obtenidos por Hernández (1994) y Mas (1983).

Se registraron 10 sitios vacíos (3%), cantidad menor a la sugerida por Loetsch *et al.* (1973) para aplicar la "parcela cero". En este caso, la insuficiencia y ausencia de regeneración se atribuyó a varios factores: la poca producción de

Cuadro 6. Resultado de densidad por categorías (árb/ha).

| Clase | r parcela (0) (cm) | Sitios | Frecuencia | Mínima | Máxima |
|---------------|--------------------|--------|------------|--------|--------|
| Sobreexcesiva | < 71 | 0 | 0 | 10000 | - |
| Excesiva | 71 - 141 | 20 | 0.06 | 2674 | 5157 |
| Recomendable | 142 - 212 | 73 | 0.23 | 1114 | 2450 |
| Suficiente | 213 - 283 | 78 | 0.25 | 636 | 1082 |
| Insuficiente | > 284 | 134 | 0.42 | 32 | 605 |
| Nula | - | 10 | 0.03 | - | - |

semilla debido a que los árboles padres redujeron su fructificación, principalmente durante los años no semilleros dentro del ciclo característico para cada especie. Además, la depredación por roedores, suelos rocosos, secos y cubiertos por capas gruesas de hojarasca, hierbas y arbustos describen un entorno propicio, que coincide con lo analizado por Moreno *et al.* (1996) y Valencia (1992).

En general, las primeras cuatro anualidades del SIMANIN tuvieron desde 32 hasta 5,157 árboles/ha, que es un intervalo de densidad bastante reducido al compararlo con el reportado por Valencia (1992), y muy superior al de Ortega (1990). Por otra parte, en un área sin aprovechamiento, Valdez (1992) calculó de 1,700 a 3,700 árboles/ha. Uno de los mejores tratamientos fue el de árboles padres, de modo altamente significativo, en comparación con los de cortas sucesivas, selección, matarrasa y un testigo sin intervención, como lo indicó Mas (1983) durante tres fechas de medición. Al respecto, Mas y González (1990) señalaron que los mejores resultados en *Pinus herrerae* Martínez y *P. michoacana* Martínez se asocian a la mayor penetración de luz, condición que favorece a las especies intolerantes a la sombra.

Distribución espacial de la regeneración.- En el Cuadro 7 se ordena el intervalo de valores del factor λ , correspondientes a la abscisa del diagrama "parcela cero", que se generaron para los sitios de muestreo y se agruparon entre los puntos de control. De estos valores se seleccionó el de 1.57 en la ecuación Poisson para determinar el porcentaje de "parcela cero" y obtener sus logaritmos con el fin de colocarlos en las ordenadas del diagrama. A partir de estos resultados se definieron la distribución espacial de los arbolitos como aglomerada, regular y dispersa, aplicando el índice de Cox.

La distribución resultó heterogénea, como la de otros autores. En la mayor parte, 215 sitios (68%) con un índice de Cox (I_c) que varió de 1.18 a 4.79, la dispersión fue aglomerada. En 24 sitios (8%) el I_c fue de 0.88 a 1.17, que indica una distribución regular; la correcta y esperada solo se alcanzó en pequeña proporción. Cabe señalar que el valor de 1 se obtendría con la condición sistemática. Otros 36 sitios (11%) presentaron un I_c de 0.15 a 0.87 para una repartición dispersa. Los 40 sitios (13%) restantes con el $I_c < 0.15$, fueron rechazados por insuficiencia o nula regeneración, lo que sugiere la incorporación de prácticas silvícolas de restauración.

Al observar la columna del factor λ o indicador de la forma de distribución en el cuadro, tomando en cuenta que este indicador adquiere el valor de 1.57 para un diseño a marco real además de considerar su correspondencia al segundo punto de control en el diagrama "parcela cero" e indicar la clásica forma de distribución sistemática de los árboles plantados en cuadro, es posible categorizar la distribución espacial con un intervalo de valores máximos y mínimos del factor λ en las clases siguientes: aglomerada < 1.51 , regular 1.52 – 1.62, dispersa 1.63 – 2.99 y rechazada > 3.0 (Figura 5).

Cuadro 7. Extracto del listado de sitios con el cálculo de la distribución espacial

| Puntos control | Sitios | Factor λ | P(0) | Log P(0) | a | b | k | lc | Clases de Distribución | |
|----------------|--------|------------------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|------------------------|------------|
| 97 | 1° | | 100 | 2.0 | 1.00 | | | | | |
| | | | 0.0009 | 99.9 | 1.99 | 0.999 | | | 4.79 | 68 % |
| | | 215 | 1.34 | 36.7 | 1.56 | 0.367 | | | 1.76 | Aglomerada |
| | 2° | | 1.52 | 21.9 | 1.34 | 0.219 | | | 1.17 | 8 % |
| | | 24 | 1.57 | 20.8 | 1.31 | 0.208 | 3.45 | 1.39 | 1.0 | Regular |
| | | | 1.62 | 19.8 | 1.29 | 0.198 | | | 0.88 | |
| | | | 1.70 | 14.5 | 1.16 | 0.145 | | | 0.69 | 11 % |
| | | | 3.44 | 4.9 | 0.69 | 0.049 | | | 0.23 | Dispersa |
| | | | 3.45 | 3.17 | 0.50 | 0.031 | | | 0.15 | |
| | | | 30 | 3.45 | 2.08 | 0.31 | 0.020 | | | 0.09 |
| 3° | 10* | 50.3 | 1.3E2 | -19 | 0.0008 | | | 0.004 | Rechazada | |

* Sitios sin arbolitos

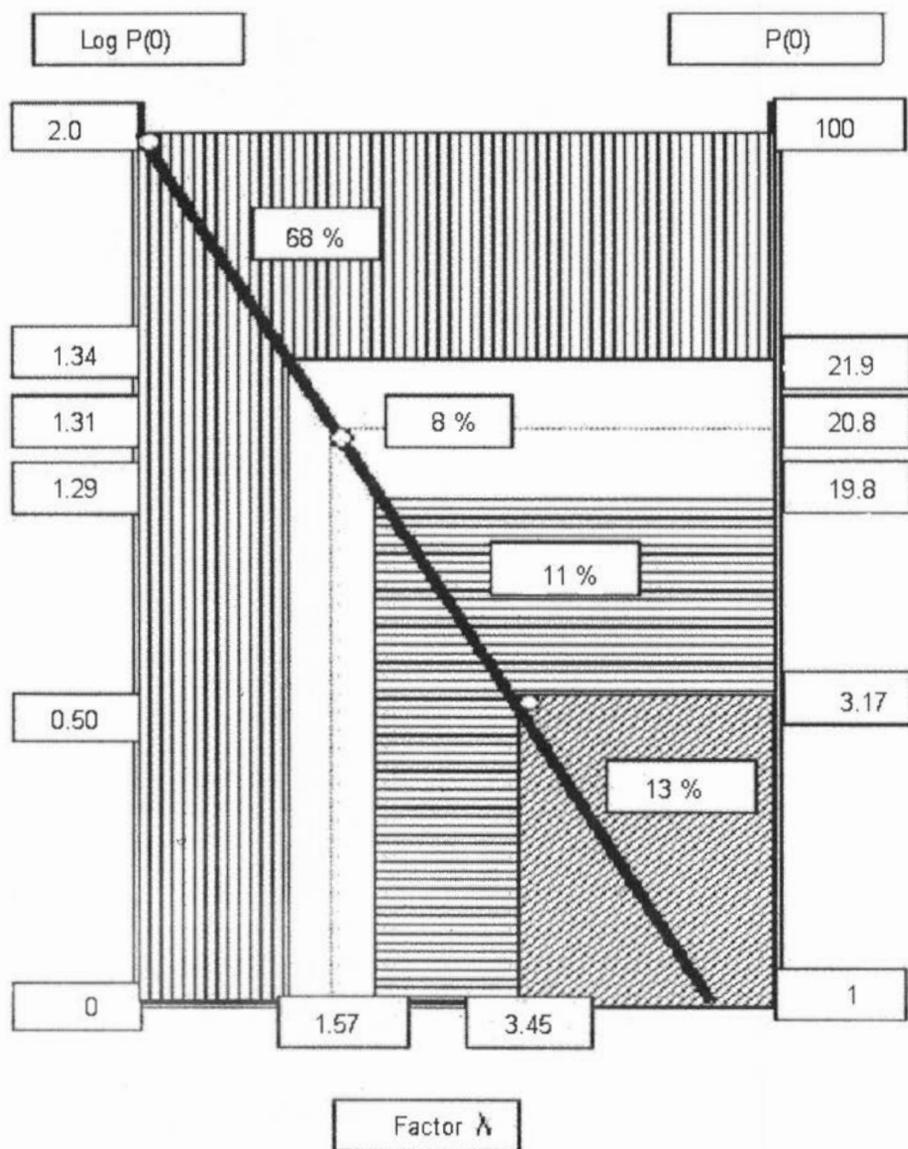


Figura 5. Diagrama de "parcela cero".

CONCLUSIONES

La densidad forestal obtenida (excesiva 6%, recomendable 23%, suficiente 25%, insuficiente 43% y nula 3 %) revela que en 54% de la superficie evaluada la regeneración es aceptable. El otro 46% demanda de prácticas de siembra y/o plantación para elevar los niveles de repoblado.

La regeneración tiende a conformar una distribución espacial aglomerada (68%), preferentemente, y dispersa (11%) como segunda forma.

No se observó uniformidad de resultados en una misma área de corta, ya que es común que se hayan presentado dos o más categorías de densidad y distribución a la vez. Sólo en 5 sitios (1.6%) se alcanzó una condición deseable, al combinarse la densidad recomendable y la distribución regular.

La distancia entre árboles permitió clasificar la densidad de manera práctica. Además, al efectuar ejercicios con estos espaciamientos, se descubrieron indicadores de la forma de distribución para diferentes diseños de plantación.

El factor λ o indicador de la forma de distribución con valor de 1 fue el apropiado para evaluar la regeneración natural. Cuando se trate en exclusiva de plantación con diseño a marco real se deberá usar el valor de 1.57.

Las matrices con las variables clasificadas son herramientas sencillas, prácticas y eficaces para evaluar la regeneración natural y artificial.

REFERENCIAS

- Aldrete, A. 1990. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. en áreas tratadas con el método de árboles padres. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 95 p.
- Cano C., J. 1988. El sistema de manejo regular en los bosques de México; fundamentos de silvicultura y su aplicación práctica. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de Méx., 221 p.
- Cardoza R., J. S. 1994. Evaluación de áreas de regeneración natural de *Pinus spp.*, en el ejido de Gómez Tepeteno, Tlatlauquitepec, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 55 p.
- Cox, F. 1971. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, No. 87, Inst. für Weltforstwirtschaft. Hamburg, Deutschland. 182 p.
- Chacón S., J. M. 1983. Regeneración mediante árboles padres de *Pinus arizonica*. Rev. Cien. For. Vol. 8(42): 3-20.

- Chacón S., J. M. 1993. Comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica* bajo diferentes grados de cobertura de dosel de árboles padres. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 65 p.
- Chávez O., P. 1996. Estudio de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm. en el Campo Experimental Madera, Chihuahua. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 63 p.
- Dennis, B. 1984. Distance methods for evaluating forest regeneration. Reprinted from *New Forests For a Changing World*; Proceedings of the 1983 Convention of the Society of American Foresters, held in Portland, Oregon, October 16 – 20. Soc. Amer. For. Bethesda, MD. pp. 123-128.
- Dirección General para el Desarrollo Forestal. 1980. Evaluación de las áreas de regeneración del plan piloto Fase 1, en la región de Chignahuapan – Zacatlán, Puebla. SARH. México. 72 p.
- Fierros G., A. M., A. Noguéz H. y E. Velasco B. 1999. Paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en ecosistemas de climas templado, fríos y tropicales de México. Vol. I. SEMARNAP. 67 p.
- García L., E. F. 1985. Efecto del fuego en la regeneración natural de *Pinus harwegii* Lindl. en Zoquiapan, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 58 p.
- González G., J. A. 1990. Evaluación de la regeneración de *Pinus cembroides* Zucc., en condiciones naturales en la Amapola, S. L. P. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 79 p.
- Hernández A., E. 1994. Estudio de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. en San Martín Cuautlalpan, Chalco, Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 165 p.
- Lagunes T., F. 1969. Evaluación de renuevo en montes de pino de clima templado y frío, localizados en tres predios del municipio de Guanaceví, Durango. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Texcoco, Edo. de Méx., México. 54 p.
- Loetsch, F., F. Zöherer and K. E. Haller. 1973. Forest inventory. (Traducción del alemán). Vol. II., BLV Verlagsesellschaft. München, Deutschland. pp. 373-379.
- Manzanilla B., H., L. Vázquez G., D. A. Moreno G., E. Talavera Z., J. Espinoza A., J. G. Flores G., A. Rueda S., J. de D. Benavides S., J. Villa C. M. Martínez D., J. A. Eguiarte V., Y. Chávez H., C. Orduña T., J. T. Saens R., L. Madrigal H. y A. Gómez Tagle R. 1997. Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales (SIMANIN). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP. México. 266 p.

- Mas P., J. 1983. El sitio experimental "La Nieve" catorce años después de su tratamiento silvícola. Boletín Técnico Núm. 95. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Subsecretaría Forestal. SARH. México. 60 p.
- Mas P., J. y P. A. González. 1990. El SPES "La Nieve" a 27 años de su establecimiento. CIFAP. INIFAP. SARH. Michoacán. pp. 22-23.
- Mastache M., A. 1988. Tratamientos complementarios al suelo en áreas de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región Chignahuapan – Zacatlán, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 45 p.
- Méndez H., J. 1998. Evaluación de patrones de regeneración de *Pinus patula* Schl et Cham. en la región de Zacualtipan, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 65 p.
- Monroy R., C. 1999. Cómo producir un nuevo bosque; practique la corta de regeneración (árboles padres) de *Pinus patula* en Veracruz. In: 500 Tecnologías llave en mano. INIFAP. SAGAR. México. pp. 26 – 27
- Mora F., F. E. y C. Rodríguez F. 1988. Evaluación de regeneración natural en *Pinus montezumae*, con tratamiento de árboles padres en Tulancingo, Hgo. Programa Forestal. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. s/p.
- Moreno G., D. A., H. Manzanilla B. y E. Talavera Z. 1993. Método "tocón a tocón" para cortas de aclareo y regeneración. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP. CIPAC. SARH. Guadalajara, Jal. México. 16 p.
- Moreno G., D. A., H. Manzanilla B. y E. Talavera Z. 1996. Diseminación de la semilla de los árboles padres de *Pinus michoacana* en Tapalpa, Jalisco. In: VIII Reunión Científica y Técnica Forestal y Agropecuaria. Memoria Científica Núm 1. CIRPAC. INIFAP. SAGARPA. México. pp. 205-207.
- Musálem S., M. A. 1984. Effect of environmental factors on regeneration of *Pinus montezumae* Lamb., in a temperate forest of México. Ph.D. Dissertation Yale University. New Haven, CT. USA. 262 p.
- Negreros C., P. y L. Snook. 1984. Análisis del efecto de la intensidad de corta sobre la regeneración natural de pinos en un bosque de pino – encino. Rev. Cien. For. Vol. 9(47): 48-61.
- Ortega P., N. 1990. Evaluación de áreas de regeneración de pino en la región Chignahuapan–Zacatlán, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México, México 56 p.
- Pollard, J. H. 1971. On distance estimators of density in randomly distributed forests. Biometrics. Vol. 27(4): 991-1002.
- Rodríguez S., B. y X. García C. 1989. Evaluación de la estructura y desarrollo de la regeneración de *Pinus douglasiana* Mtz. en Concepción de Buenos Aires, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 71 p.

- Ruiz G., A., J. R. Barrios E. y J. J. González C. 1990. Observaciones sobre algunos factores que limitan el establecimiento de la regeneración natural en bosques de pino en Calpulalpan, Tlax. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 150 p.
- Sachtler, M. 1975. Evaluación de la regeneración arbórea. Actas del Curso FAO/México-Finlandia de Entrenamiento en Inventario Forestal. Mérida, Venezuela. Roma, Italia. pp. 355-365.
- Toral I., M. A. 1999. Árboles padre con plantación inmediata (Propuesta). In: XV Encuentro del Grupo de Silvicultura y Manejo. Fideicomiso para la administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco (FIPRODEFO). Guadalajara, Jalisco. México. s/p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa. México. 472 p.
- Upton, G. J. G. and B. Fingleton. 1985. Spatial data analysis by example. Vol. I: Point pattern and quantitative data. Wiley series in probability and statistics. John Wiley & Sons. New York, NY:USA. 410 p.
- Valdez L., J. R. 1992. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl., en Zoquiapan, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 80 p.
- Valencia V., J. 1992. Análisis de la regeneración después del tratamiento de árboles padre en Atenquique, Jalisco. Rev. Cien. For. en Méx. Vol.17 (71): 63-85.
- Velázquez M., A. 1984. Estudio de algunos factores que influyen en la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de Méx., México. 123 p.
- Wratten, S. D. and G. L. A Fry. 1980. Field and laboratory exercises in Ecology. Edward Arnold Publishers Ltd. London, UK. 227 p.