

## Densidad arbórea por etapa de desarrollo en la cuenca “El Carrizal” de Tapalpa, Jalisco

Tree density by development stage in the “El Carrizal” watershed of Tapalpa, Jalisco

Recepción del artículo: 08/08/2024 • Aceptación para publicación: 27/08/2024 • Publicación: 01/09/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi23.357>

**David Arturo Moreno González\***  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1707-4524>  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro.  
Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.  
Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.  
\*Autor para correspondencia:  
[moreno.davidarturo@inifap.gob.mx](mailto:moreno.davidarturo@inifap.gob.mx)

### Resumen

El bosque de Tapalpa presenta abundancia de pinos en la etapa juvenil de regeneración y brinzal, pero esta cuantía disminuye progresivamente en las etapas sucesivas, cuando los árboles muestran mayores dimensiones y ocupan más espacio para crecer. Sin embargo, se desconocía a cuánto ascendió la pérdida y cantidad que logró el tamaño máximo. El objetivo fue cuantificar la arboleda, el espacio individual, la separación entre árboles y su disminución. Las etapas se clasificaron acorde al diámetro normal y los sitios se catalogaron en densidad excesiva, recomendable, suficiente y deficiente. Se calculó la distribución de frecuencias, la pérdida, el espacio y la distancia entre árboles mediante la fórmula de *Hart-Becking*. Durante el ciclo de desarrollo, la merma estuvo cercana al 90 % con una tasa de 0.2 a 3 %, presentando un acumulado de 60 % en las etapas de monte bravo y vardazcal. La clase recomendable inició con 1 300 a 2 700 árboles ha<sup>-1</sup> en la fase juvenil, con su respectivo espaciamiento de 2.07 a 2.98 m, mientras la etapa madura culminó con 150 árboles ha<sup>-1</sup> separados a 8.77 m. La distancia entre árboles se considera una herramienta auxiliar en el ejercicio de las cortas de aclareo.

**Palabras clave:** Bosque de pino, cortas de aclareo, distancia entre árboles, espacio de crecimiento, manejo forestal, pérdida de árboles.

### Abstract

The Tapalpa forest presents an abundance of pine trees in the juvenile stage of regeneration and sapling, but this amount progressively decreases in the successive stages, when the trees show larger dimensions and take up more space to grow. However, it was unknown how much the loss was and how much it reached the maximum size. The objective was to quantify the grove, the individual space, the separation between trees and their decrease. The stages were classified according to the normal diameter and the sites were classified as excessive, recommendable, sufficient and poor density. Frequency distribution, loss, spacing, and distance between trees were calculated using the *Hart-Becking* formula. During the development cycle, the loss was close to 90 % with a rate of 0.2 to 3 %, presenting a cumulative of 60 % in the monte bravo and vardazcal stages. The recommended class began with 1 300 to 2 700 trees ha<sup>-1</sup> in the juvenile phase, with their respective spacing of 2.07 to 2.98 m, while the mature stage culminated with 150 trees ha<sup>-1</sup> separated at 8.77 m. The distance between trees is considered an auxiliary tool in thinning operations.

**Keywords:** Pine forest, thinning felling, distance between trees, growth space, forest management, tree loss.

## Introducción

La densidad arbórea es el principal componente que irrumpe el terreno en el bosque de pino. Su importancia radica en la abundancia de árboles que cubren la totalidad de la superficie forestal. Esta cantidad es sumamente elevada al principio, es decir, en la regeneración o etapa inicial del desarrollo y, debido a las condiciones naturales y la competencia que los pinos ejercen por el espacio para crecer y desarrollarse, va disminuyendo continuamente en las etapas posteriores hasta que los árboles alcanzan su tamaño máximo. Su aglomeración se cataloga de acuerdo con Zeide (2001) como excesiva, completa o deficiente para un respectivo tamaño de árboles. Así, en los primeros meses de existencia, la germinación y emergencia del hipocótilo es sumamente abundante, llegando a contabilizar 160 mil plántulas  $ha^{-1}$  después de ocurrir incendios moderados (Flores *et al.*, 2021). En otro estudio se reportó más de 20 mil plántulas  $ha^{-1}$  como resultado de la corta de regeneración mediante árboles padres (Chacón *et al.*, 1998), aunque los fuertes fríos de invierno y la sequía de primavera fueron los principales factores adversos que ocasionaron mermas considerables (Musalem, 1984; Ramírez *et al.*, 2015).

Después de cinco años de vida, la regeneración establecida tan solo superó los 5 mil renuevos  $ha^{-1}$  (Chacón y Sánchez, 1986; Castelán y Arteaga, 2009) y su presencia se clasificó considerando la distancia entre árboles en las categorías de insuficiente, suficiente, recomendable y excesiva (Moreno *et al.*, 2007). De acuerdo con las investigaciones se aprecia que el número de individuos tiende a reducirse al transcurrir el tiempo conforme los árboles crecen y aumentan su dimensión particular. Sin embargo, se desconoce a cuánto ascienden las pérdidas y la cantidad de arbolado que prolonga su existencia hasta lograr su desarrollo completo. Por tal motivo, se analiza la densidad arbórea de la masa forestal con el objetivo de caracterizar su cuantía por unidad de superficie y los correspondientes rangos de espacio individual y separación entre árboles, así como la pérdida de arbolado para cada una de las etapas de desarrollo, desde la más joven hasta la madura, teniendo como ejemplo la cuenca hidrológica “El Carrizal” de la Sierra de Tapalpa, Jalisco. Los resultados podrán reforzar la toma de decisiones durante la planeación y operación silvícola de las cortas de aclareo y regeneración, procurando el espacio compartido para cada una de las etapas de desarrollo y, de esta manera, contribuir a conservar, aprovechar y mejorar los recursos forestales.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca hidrológica “El Carrizal”

de la Sierra de Tapalpa, ubicada en la parte centro occidental del Eje Neovolcánico Transversal a 137 km al Sur de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco (Moreno, 2022) (Figura 1).



Fuente: Modificación propia, realizada en Flores *et al.*, (2005).  
Figura 1. Ubicación de El Carrizal en la cuenca alta de Tapalpa, Jalisco.

La zona está formada por un sistema montañoso con elevación variable de 2 020 a 2 420 msnm, entre las unidades UTM (Universal Transversal de Mercator) de 2 204 500 a 2 209 000 y 622 000 a 625 750. El clima es templado subhúmedo (García, 1988) con lluvias en verano e invierno. Los suelos de tipo regosol se originaron de roca volcánica, presentan grosor diferente que influye en la calidad de sitio (Gómez-Tagle y Chávez, 1986; Baker *et al.*, 1995) y sustentan una masa arbolada de 912 hectáreas, cubriendo terrenos inclinados desde 5 hasta 65 % de pendiente con amplia variación en la exposición geográfica, donde predominan las especies de *Pinus devoniana* Lindley, *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl., *P. leiophylla* Schl. & Cham. y *P. pseudostrobus* Lindley. Al tratarse de un bosque regido mediante el Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales (SIMANIN) (Manzanilla *et al.*, 1997), a la fecha de la toma de datos en campo, la mayoría de la estructura arbórea estaba desplegada como rodales coetáneos en diferentes etapas de desarrollo (Moreno, 2022). Este sistema de manejo intensivo tiene una programación por superficie a 50 años en cinco ciclos de corta o decenios. Se elaboró con base a la experiencia y los resultados de investigación que comenzaron en 1980 al establecer y remedir sitios permanentes de investigación silvícola (SPIS), la realización del inventario dasométrico y ecológico entre 1985 y 1986, así como otros trabajos de exploración y el estudio dasonómico. Se autorizó y puso en marcha a principios de 1992 y tiene proyectadas tres intervenciones de aclareo comercial, la corta de regeneración mediante árboles padres y la de liberación del renuevo. Precisamente, los aprovechamientos maderables para el primer decenio empezaron con la corta de regeneración en la quinta parte de la superficie total. En éstas mismas áreas, al inicio del tercer decenio se

programó el primer aclareo comercial. El segundo y tercero a los 10 y 20 años después del primero, respectivamente.

**Recolección y procesamiento de los datos**

La información proviene de un muestreo con intensidad del 0.5 %, realizado en el 2003, once años después de haberse puesto en marcha el SIMANIN. Sobre el mapa con la superficie arbolada de la cuenca “El Carrizal”, delimitada por el partaguas, se trazó una cuadrícula de 250 m por lado. Los sitios se ubicaron de forma sistemática, separados a 500 m y triangulando entre las líneas este-oeste. De este modo quedaron equidistantes a 353.55 m por alineamiento diagonal. Este diseño arrojó 71 sitios circulares, 25 de 100 m<sup>2</sup> (radial de 5.64 m) y 46 de 600 m<sup>2</sup> (radial de 13.82 m), respectivos a las áreas de corta de regeneración mediante árboles padres y a las masas de arbolado mayor aún sin intervención silvícola.

En todos los sitios se cuantificó el número de árboles, y en los de arbolado mayor se utilizó la cinta diamétrica Forestry Suppliers Inc. Modelo 283D/5M para medir el diámetro normal ( $d_{1.30}$ ) a tres pinos vigorosos, representativos de la estructura arbórea y los más próximos al centro del sitio, con la finalidad de clasificarlos por etapa de desarrollo. Al respecto, el incremento corriente anual (ICA) de 1 cm en diámetro que alcanza la especie más abundante de la región (*Pinus devoniana*) y la determinación de un turno de aprovechamiento de 50 años para el programa de manejo (Manzanilla *et al.*, 1997), permitieron estipular las categorías diamétricas de 5, 10, 15, 20, 30, 40 y 50 cm. La categoría de 5 cm se fijó en conjunto al arbolado en las etapas de regeneración y brinzal. Las dos categorías siguientes al arbolado joven de pequeñas dimensiones, 10 cm a monte bravo y 15 cm a vardazcal. La primera de éstas representa la incorporación de arbolado al inventario forestal y la segunda el comienzo de una competencia desmedida entre los árboles por el espacio para sus copas y raíces, aunque ambas clases no alcanzan todavía el diámetro vendible. Las categorías de 20, 30 y 40 cm se concedieron a las etapas de bajo latizal, alto latizal y fustal joven, respectivamente, las cuales han alcanzado los diámetros comerciales. Por último, la categoría de 50 cm

Cuadro 1. Clasificación diamétrica del desarrollo forestal.

| Etapa de desarrollo    | Clase diamétrica (cm) |
|------------------------|-----------------------|
| Regeneración y brinzal | < 7.6                 |
| Monte bravo            | 7.6–12.5              |
| Vardazcal              | 12.6–17.5             |
| Bajo latizal           | 17.6–27.5             |
| Alto latizal           | 27.6–37.5             |
| Fustal joven           | 37.6–47.5             |
| Fustal maduro          | > 47.5                |

se asignó a la etapa de fustal maduro por representar la mayor cantidad y calidad en productos maderables. Los rangos para cada una de éstas categorías diamétricas se muestran en el cuadro 1.

Los sitios clasificados por etapa de desarrollo se agruparon en rangos de densidad mínima y máxima, se calculó la distribución de frecuencias ( $N$ ) y se tabuló en absolutas ( $ni$ ), relativas ( $fi$ ) y su respectiva acumulación ( $Ni$  y  $Fi$ ) (Gadow *et al.*, 2007). También se obtuvo el promedio ( $M$ ) y se agregó a la tabulación. Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$N = \sum_{i=1}^c Ni \quad (1)$$

$$M = x_1 + \dots + x_n/n \quad (2)$$

donde:

$N$  = Número total de sitios de muestreo

$Ni$  = Número de sitios por etapa de desarrollo

$c$  = Número de etapas de desarrollo

$M$  = Promedio de árboles por etapa de desarrollo

$x$  = Número de árboles por sitio

$n$  = Número de sitios

Enseguida se calcularon las pérdidas de arbolado ocurridas de una etapa de desarrollo a su etapa consecutiva y se determinó el coeficiente de variación ( $CV$ ) aplicando la raíz cuadrada a la varianza ( $\sigma^2 = 1/n \sum(x_i - M)^2$ ) para obtener la desviación estándar ( $\sigma$ ) y esta, a su vez, dividirla entre el promedio ( $M$ ) por etapa de desarrollo expresada en porcentaje (Romahn y Ramírez, 2010):

$$CV = \sigma/\mu \times 100 \quad (3)$$

donde:

$CV$  = Coeficiente de variación

$\sigma$  = Desviación estándar

$\mu$  = Promedio de árboles por etapa de desarrollo

A cada valor obtenido de densidad mínima, media y máxima por etapa de desarrollo, se le calculó el espacio de crecimiento individual ( $E$ ) al dividir la superficie de una hectárea entre el número de árboles:

$$E = 10000/n \quad (4)$$

donde:

$E$  = Espacio de crecimiento individual

$n$  = Número de árboles

Posteriormente se utilizó el estimador del espaciamiento relativo entre árboles con marco de distribución a tresbolillo ( $S_{HB}$ ), el cual fue tomado de la fórmula de *Hart-Becking* (Corral *et al.*, 2015):

$$S_{HB} = \sqrt{10000/N \times 2/\sqrt{3}} \quad (5)$$

donde:

$S_{HB}$  = Espaciamiento relativo de Hart-Becking

$N$  = Número de árboles ha<sup>-1</sup>

Se consideró el diseño a tresbolillo, descrito por triángulos equiláteros, al suponer que se trata de la representación que más se asemeja a la condición natural, por la mayor uniformidad que existe en la repartición espacial del arbolado.

Por último, los valores de densidad obtenidos con relación a sus correspondientes promedios de espaciamento, se catalogaron como excesiva, recomendable, suficiente y deficiente, anotando sus respectivos valores cuantitativos y distancia entre árboles para cada una de las etapas de desarrollo. A este procedimiento también se le realizó un cálculo de distribución de frecuencias.

## Resultados y Discusión

### Densidad arbórea

Con los datos de diámetro normal se construyó la distribución de frecuencias, agrupando los rangos de densidad por etapas de desarrollo en valores absolutos y relativos conforme a lo mencionado por Gadow *et al.* (2007) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Frecuencias de densidad arbórea por etapa de desarrollo.

| Etapas de desarrollo   | Densidad mín-máx (árboles ha <sup>-1</sup> ) | Frecuencias absolutas $n_i$ | Frecuencias relativas $f_i$ | Frecuencias absolutas acumuladas $N_i$ | Frecuencias relativas acumuladas $F_i$ | Promedio $M = x_1 + \dots + x_n/n$ (árboles ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| Regeneración y brinzal | 300-3 800                                    | 25                          | 0.35                        | 25                                     | 0.35                                   | 1 612  |
| Monte bravo            | 0  | 0                           | 0                           | 0                                      | 0                                      | 0  |
| Vardazcal              | 0  | 0                           | 0                           | 0                                      | 0                                      | 0  |
| Bajo latizal           | 283-650                                      | 8                           | 0.11                        | 33                                     | 0.46                                   | 410  |
| Alto latizal           | 150-583                                      | 22                          | 0.31                        | 55                                     | 0.77                                   | 307  |
| Fustal joven           | 67-266                                       | 10                          | 0.14                        | 65                                     | 0.91                                   | 163  |
| Fustal maduro          | 150-300                                      | 6                           | 0.09                        | 71                                     | 1                                      | 216  |
|                        |  | $n = 71$                    | 1                           |  |  |  |

$n$  = Número total de sitios;  $n_i$  = Número de sitios que presentaron arbolado con diámetro normal clasificado para esa etapa de desarrollo;  $f_i$  = Parte proporcional del total de sitios que pertenecen a esa etapa de desarrollo ( $f_i = n_i/n$ );  $N_i$  = Cantidad acumulada de sitios hasta esa etapa de desarrollo ( $N_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i$ );  $F_i$  = Cantidad acumulada de la proporción de sitios hasta esa etapa de desarrollo ( $F_i = N_i/n$ ).

Una tercera parte (35 %) de la superficie arbolada, hasta la fecha del muestreo, había sido intervenida con la corta de regeneración por medio del método de árboles padres. La cantidad de regeneración y brinzal, que se amplificó año con año durante los primeros once años de operar el Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales, exhibió un rango de densidad entre 300 y 3 800 árboles ha<sup>-1</sup>, con promedio de 1 612 árboles ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo con el muestreo realizado y al tiempo transcurrido de la puesta en marcha del SIMANIN, el bosque de la cuenca El Carrizal no presentó arbolado en

las etapas jóvenes de monte bravo y vardazcal. Por el contrario, en las etapas intermedias de bajo y alto latizal se concentró el 42 %, con 11 y 31 %, en rangos que variaron de 283 a 650 y 150 a 583, con medias de 410 y 307 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los rodales en la etapa de fustal joven abarcaron el 14 % en un rango de 67 a 266, con una media de 163 árboles ha<sup>-1</sup>.

Finalmente, la etapa de fustal maduro representó la menor cobertura con sólo seis sitios (9 %), a pesar de haber sido la más grande antes de aplicar las cortas de regeneración, con un rango de densidad que varió de 150 a 300 árboles ha<sup>-1</sup>, y una media de 216 árboles ha<sup>-1</sup>. Prácticamente, más de la mitad del bosque se encontraba en la etapa de fustal, antes de iniciar la renovación de la masa forestal con la puesta en marcha del SIMANIN.

### Pérdida de arbolado

El desarrollo de la masa forestal estuvo marcado con un descenso paulatino en la densidad y aumento notable en el tamaño. La etapa joven presentó 3 800 árboles pequeños y la madura 300 grandes. Esta disminución ocurrió a razón de 0.2 a 3 % anual, con tendencia mayor en los rodales jóvenes y densos (Cuadro 3). La tasa del 3 % de pérdida anual se tomó de los resultados obtenidos en la Sierra de Tapalpa por Manzanilla *et al.* (1997), aunque en la Sierra de Quila, también en Jalisco, se reportó una tasa más baja de mortalidad anual con el 1.75 % (Trigueros *et al.*, 2014), y en la Sierra de Chihuahua la pérdida de arbolado fue aún menor al alcanzar solamente el 1 % anual (Chacón *et al.*, 1989).

Cuadro 3. Pérdida de arbolado por etapa de desarrollo.

| Etapas de desarrollo   | Densidad máxima (árboles ha <sup>-1</sup> ) | Densidad residual (%) | Pérdidas por etapa (%) | Pérdidas acumuladas (%) | Aclareo natural (%) |
|------------------------|---|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| Regeneración y brinzal | 3 800                                       | 100                   | 0                      | 0                       | -                   |
| Monte bravo            | 2 660*                                      | 70                    | 30                     | 30                      | -                   |
| Vardazcal              | 1 520*                                      | 40                    | 30                     | 60                      | 60**                |
| Bajo latizal           | 650   | 17                    | 23                     | 83                      | 80**                |
| Alto latizal           | 583   | 15                    | 2                      | 85                      | 90**                |
| Fustal                 | 300   | 8                     | 7                      | 92                      | -                   |
| Arboles padres         | 38  | 1                     | 7                      | 99                      | -                   |

\* Cantidad estimada con una pérdida del 3 % anual sobre la densidad base de 3 800 árboles ha<sup>-1</sup>; \*\* Porcentaje aproximado de aclareo natural acumulado.

En síntesis, la etapa de vardazcal acumuló una pérdida del 60 %, la de bajo latizal alcanzó el 80 % y la de alto latizal el 90 %, en promedio. Al final quedó aproximadamente el 10 % de la cantidad inicial, y tan solo alrededor del 1 % funcionará como árboles padres en la corta de regeneración. En este sentido, es factible de prever esta mortalidad natural y planear su utilización favorable mediante la aplicación del programa de aclareos.

Se recurrió al coeficiente de variación para comparar la movilidad de la densidad entre las etapas de desarrollo

forestal, tomando en cuenta la proporción existente entre medias y desviación estándar (Cuadro 4). La mayor fluctuación alrededor de los valores obtenidos se presentó en la etapa joven de regeneración y brinzal, con un coeficiente de variación del 60 % sobre una desviación estándar de 970 árboles ha<sup>-1</sup> que aumentan o disminuyen la media a 1 612 árboles ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, la menor oscilación la alcanzó el fustal maduro con solo el 30 % referente a 64 árboles ha<sup>-1</sup> que agrandan o reducen la media a 216 árboles ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 4. Fluctuación de la densidad por etapa de desarrollo.

| Etapa de desarrollo    | Promedio<br>$M = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$<br>(árboles ha <sup>-1</sup> ) | Varianza<br>$S^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - M)^2$ | Desviación<br>estándar ( $\sigma$ )<br>$\sqrt{S^2}$ | Coefficiente<br>de variación<br>$\frac{\sigma}{M}$<br>(%) |
|------------------------|--|--|---|---|
| Regeneración y brinzal | 1 612  | 941 933  | 970   | 60  |
| Bajo latizal           | 410  | 16 129   | 127   | 31  |
| Alto latizal           | 307  | 17 150   | 131   | 43  |
| Fustal joven           | 163  | 5 566  | 75  | 46  |
| Fustal maduro          | 216  | 4 102  | 64  | 30  |

### Espacio individual y separación entre árboles

El descenso paulatino en la densidad se presta para analizar el proceso con el fin de conocer el cambiante número de árboles, así como el espacio de crecimiento que ocupa cada uno acorde a su tamaño y la separación en la que han quedado conforme al transcurso del tiempo, distancia esencial en la planeación, operación y evaluación del manejo forestal sustentable.

En este caso, se contabilizaron los árboles, anotando los valores extremos de densidad y la media para cada etapa de desarrollo (Cuadro 5). La superficie se dividió entre cada valor de densidad para obtener el espacio de crecimiento por árbol.

Cuadro 5. Densidad, espacio de crecimiento y distancia por etapa de desarrollo.

| Condición de densidad por etapa de desarrollo | Densidad observada ( $D_o$ ) (árboles ha <sup>-1</sup> ) | Espacio de crecimiento $E_c = 10\ 000/D_o$ (m <sup>2</sup> ) | Distancia entre árboles $S_{HB} = \sqrt{E_c \times 2/\sqrt{3}}$ (m) |
|---|--|--|---|
| Regeneración y brinzal                        |  |  |   |
| Mínima  | 300  | 33.33  | 6.20  |
| Media   | 1 612  | 6.2  | 2.67  |
| Máxima  | 3 800  | 2.63   | 1.74  |
| Bajo latizal                                  |  |  |   |
| Mínima  | 283  | 35.33  | 6.39  |
| Media   | 410  | 24.39  | 5.31  |
| Máxima  | 650  | 15.38  | 4.21  |
| Alto latizal                                  |  |  |   |
| Mínima  | 150  | 66.67  | 8.77  |
| Media   | 307  | 32.57  | 6.13  |
| Máxima  | 583  | 17.15  | 4.45  |
| Fustal joven                                  |  |  |   |
| Mínima  | 67   | 149.25   | 13.13   |
| Media   | 163  | 61.35  | 8.42  |
| Máxima  | 266  | 37.59  | 6.59  |
| Fustal maduro                                 |  |  |   |
| Mínima  | 150  | 66.67  | 8.77  |
| Media   | 216  | 46.3   | 7.31  |
| Máxima  | 300  | 33.33  | 6.20  |

Se observa que en la etapa de regeneración y brinzal el espacio de crecimiento varió desde un poco más de 2.5 hasta 33 m<sup>2</sup>.

En las etapas intermedias de latizal la variación fue desde 15 hasta 66 m<sup>2</sup>, mientras que en las etapas maduras de fustal estuvo entre 33 a 149 m<sup>2</sup>.

En el mismo cuadro se aprecia el resultado obtenido con la fórmula de espaciamento relativo, respectiva a la distribución a tresbolillo, mediante la cual se calculó la distancia entre árboles por etapa de desarrollo. La separación entre árboles de la etapa de regeneración y brinzal se presentó en un rango variable de 1.74 a 6.20 m, en la fase de latizal varió de 4.21 a 8.77 m y en la de fustal de 6.20 a 13.13 m.

Sin embargo, la amplia variación obtenida de estos parámetros indica la necesidad de clasificar la densidad en las escalas: excesiva, recomendable, suficiente y deficiente.

### Categorización de la densidad arbórea

A continuación, fueron asignados los valores de referencia, cualitativos y cuantitativos (Cuadro 6), de tal modo que la densidad quedó clasificada en rangos de la cantidad de árboles observados para cada etapa del desarrollo y su correspondiente separación entre árboles, considerando las escalas de excesiva, recomendable, suficiente y deficiente.

En el Cuadro 6 se aprecia que predominaron las categorías de densidad excesiva (34 %) y recomendable (38 %), enseguida la suficiente (20 %) y en menor grado la deficiente (8%). La densidad deficiente de la primera etapa del desarrollo se atribuye a la aplicación de la corta de regeneración en fecha relativamente reciente, cuando los árboles padres aún continúan aportando la simiente necesaria para la germinación y establecimiento del renuevo, periodo que se extiende hasta cinco años o más en algunos sitios.

La distancia entre árboles, correspondiente a la ocupación del terreno por la regeneración y brinzal, coincidió con la propuesta para el SIMANIN por Moreno (2004), la cual cae dentro del rango de 2 a 3 m considerada como recomendable para esta particular etapa de desarrollo en el bosque natural. Además, por tratarse de un rango adecuado para el crecimiento inicial de los pinos, se recomendó en un escrito referido a las plantaciones forestales comerciales en México (Velázquez *et al.*, 2013).

En general, considerando la clasificación completa, la separación entre árboles varió de 1.74 a 13.13 m desde la etapa joven hasta la madura. En el caso particular de la categoría recomendable, la variación encontrada estuvo entre 2.07 y 9.32 m. En esta misma clase, la distancia entre árboles en la etapa de regeneración y brinzal fue de 2.07 a 2.98 m. Las fases de monte bravo y vardazcal fueron estimadas en 3 a 4 y 4 a 5 m, en ese orden. La etapa de bajo latizal resultó entre 5.16 a 5.89 m y la de alto latizal de 6.03 a 7.94 m. Por último, el fustal joven y maduro mostraron una separación entre árboles de 8.77 a 9.32 m.

Cuadro 6. Frecuencia de las clases de densidad y espaciamiento por etapa de desarrollo.

| Características por etapa de desarrollo        | Categorías de densidad |               |             |               |
|--|------------------------|---------------|-------------|---------------|
|  | Excesiva               | Recomendable  | Suficiente  | Deficiente    |
| <b>Regeneración y Brinzal</b>                  |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | 3 000 a 3 800          | 1 300 a 2 700 | 800 a 1 200 | 300 a 700     |
| Rango de espaciamiento (m)                     | 1.74 a 1.96            | 2.07 a 2.98   | 3.10 a 3.80 | 4.06 a 6.20   |
| Cantidad de sitios                             | 3                      | 11            | 7           | 4             |
| <b>Monte Bravo*</b>                            |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | >1 283                 | 722 a 1 283   | 462 a 721   | <462          |
| Rango de espaciamiento (m)                     | <3                     | 3 a 4         | 4 a 5       | >5            |
| Cantidad de sitios                             | 0                      | 0             | 0           | 0             |
| <b>Vardazcal*</b>                              |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | >722                   | 462 a 722     | 321 a 461   | <321          |
| Rango de espaciamiento (m)                     | <4                     | 4 a 5         | 5 a 6       | >6            |
| Cantidad de sitios                             | 0                      | 0             | 0           | 0             |
| <b>Bajo latizal</b>                            |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | 533 a 650              | 333 a 433     | 283         | -             |
| Rango de espaciamiento (m)                     | 4.21 a 4.66            | 5.16 a 5.89   | 6.39        | -             |
| Cantidad de sitios                             | 2                      | 4             | 2           | -             |
| <b>Alto latizal</b>                            |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | 333 a 583              | 183 a 317     | 150 a 167   | -             |
| Rango de espaciamiento (m)                     | 4.45 a 5.89            | 6.03 a 7.94   | 8.31 a 8.77 | -             |
| Cantidad de sitios                             | 10                     | 8             | 4           | -             |
| <b>Fustal joven</b>                            |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | 183 a 267              | 133 a 150     | 83          | 67            |
| Rango de espaciamiento (m)                     | 6.57 a 7.94            | 8.77 a 9.32   | 11.79       | 13.13         |
| Cantidad de sitios                             | 5                      | 2             | 1           | 2             |
| <b>Fustal maduro</b>                           |                        |               |             |               |
| Rango de densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )  | 200 a 300              | 150           | -           | -             |
| Rango de espaciamiento (m)                     | 6.20 a 7.60            | 8.77          | -           | -             |
| Cantidad de sitios                             | 4                      | 2             | -           | -             |
| Frecuencias absolutas ( <i>ni</i> )            | 24                     | 27            | 14          | 6             |
| Frecuencias relativas ( <i>fi</i> )            | 0.34                   | 0.38          | 0.20        | 0.08          |
| Frecuencias absolutas acumuladas ( <i>Ni</i> ) | 24                     | 51            | 65          | <i>n</i> = 71 |
| Frecuencias relativas acumuladas ( <i>Fi</i> ) | 0.34                   | 0.72          | 0.92        | 1             |

*ni* = Número total de sitios por categoría de densidad; *fi* = Parte proporcional del total de sitios que pertenecen a cada categoría de densidad ( $fi = ni/n$ ); *Ni* = Cantidad acumulada de sitios hasta esa categoría de densidad ( $Ni = n1 + n2 + \dots + ni$ ); *Fi* = Proporción acumulada de los sitios hasta esa categoría de densidad ( $Fi = Ni/n$ ); \* Para esta etapa del desarrollo los valores fueron estimados.

La distancia entre árboles representa una medida con mucha probabilidad de utilizarse en el manejo forestal bajo las condiciones de los bosques naturales. En este sentido, Martínez y Quiñones (2015) generaron diagramas para el manejo silvícola de la densidad arbórea en los bosques de Guachochi, Chihuahua y, en el procedimiento para el uso de esta guía, recomiendan la realización de varias mediciones de la distancia entre los árboles vigorosos para promediarla y utilizarla como referencia al verificar el espaciamiento entre los árboles residuales del rodal durante la aplicación de los aclareos.

Por lo anterior, los rangos de distancia entre árboles podrían funcionar como un complemento auxiliar en el manejo silvícola. Sin embargo, a pesar de que se tienen algunas guías y diagramas para el manejo de la densidad de varias especies y regiones del país, su empleo todavía no impacta en la mayoría de los programas de aprovechamiento de madera y cultivo del bosque (Ramírez, 2017). La aceptación de las guías y diagramas

para el manejo de la densidad es limitada porque su uso es percibido como complejo. Por tal motivo, se propuso realizarlas a nivel informático e interactivo, con la finalidad de facilitar su aplicación práctica por los usuarios en el diagnóstico y prescripción de las cortas de aclareo en los bosques regulares (Tamarit *et al.*, 2022).

En cualquier caso, es conveniente considerar la distancia entre árboles como un complemento de las guías y diagramas para el manejo de la densidad.

### Conclusiones

La variación en densidad exhibe una relación de rangos sobre los espacios de crecimiento y la separación entre árboles según la clase diamétrica, representada por la etapa del desarrollo de un bosque natural que acumula una pérdida de arbolado aproximada de 90 %. La etapa joven de regeneración y brinzal inicia con un máximo de 3 800 renuevos ha<sup>-1</sup>, a cada uno le corresponde un espacio

de 2.63 m<sup>2</sup> distanciados a 1.74 m. Mientras que la etapa de fustal maduro culmina con la densidad reducida a 300 árboles ha<sup>-1</sup> con aumento en el espacio de crecimiento a 33.33 m<sup>2</sup> y en la distancia entre árboles a 6.20 m.

Los rangos de distancia entre árboles están relacionados con sus respectivas categorías de cantidad y espacio de crecimiento. De tal manera, un rodal con cierto número de árboles puede ubicarse en la condición de densidad excesiva, recomendable, suficiente y deficiente, según el caso. Esto con la intención de satisfacer la necesidad de aclareos y corta de regeneración, facilitando el espaciado adecuado para obtener los productos y servicios esperados del bosque.

La condición de densidad recomendable inicia en la etapa de regeneración y brinzal con una cantidad variable de 1 300 a 2 700 arbolitos ha<sup>-1</sup>, relacionada a un rango de distancia entre arbolitos de 2.07 a 2.98 m, y finaliza en la etapa de fustal maduro únicamente con 150 árboles ha<sup>-1</sup>, con un rango de separación entre árboles de 8.77 m.

La distancia entre árboles de cada etapa de desarrollo tiene alta factibilidad de funcionar como una herramienta auxiliar para reforzar la toma de decisiones durante la planeación, operación y evaluación de las cortas de aclareo y regeneración en los bosques naturales, asegurando el manejo forestal sustentable.

El conocimiento y aplicación de la distancia entre árboles para cada una de las prácticas silvícolas representa ventajas para la silvicultura, ya que se tiene la posibilidad de aumentar en gran medida la cantidad y calidad de los productos maderables. Sin embargo, las limitaciones recaen en la industria forestal establecida, principalmente sobre la capacidad de recibir, procesar y comercializar tanto los árboles grandes como los de pequeñas dimensiones.

### **Agradecimientos**

A los dirigentes de Industrias Forestales de Tapalpa, productores forestales de la región y trabajadores de la empresa, por las facilidades otorgadas para la toma de datos en campo.

Literatura citada

- Baker, M., Chávez, Y. H., Medina, A. L. y Dudley, S. (1995). Aplicación de sistemas de información geográfica en la evaluación de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México. En Aguirre B., C., Eskew, L., González V., C. E., & Villa S., A. B. (Eds.). *Cooperación social para el manejo sostenible de los ecosistemas forestales* (pp. 131–141). Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (Quinto Simposium Bienal México-Estados Unidos de América, celebrado del 27 al 30 de octubre de 1994 en Guadalajara, Jalisco, México).
- Castelán, L. y Arteaga, M. (2009). Establecimiento de regeneración de *Pinus patula Schl. et Cham.*, en cortas bajo el método de árboles padres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 49–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62916073005> (Consultado el 14 de agosto de 2023).
- Corral, R., Álvarez, G., Corral, R., Wehenkel, C. y López, S. (2015). Diagramas para el manejo de la densidad en bosques mixtos e irregulares de Durango, México. *Bosque*, 36(3), 409–421. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000300008>
- Chacón, S. y Sánchez, J. (1986). Dinámica de establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica Engelm.*, en Madera, Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal en México*, 59(11), 15–42. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1207/2678>.
- Chacón, S., Manzanilla, H. y Cano, V. (1989). El bosque virgen; un caso en el estado de Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal en México*, 14(66), 1–14. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1129/2477>.
- Chacón, J., Velázquez, A. y Musalem, M. A. (1998). Comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica Engelm.*, bajo diferentes coberturas. *Madera y Bosques*, 4(2), 39–44. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.421358>
- Flores, J., Benavides, S. y Moreno, G. (2005). Clasificación espectral de coberturas de suelo como soporte en la evaluación del potencial de servicios ambientales. . En Benavides S., J. de D., F. Becerra L., T. Hernández T., C. González S. y J. G. Flores G. (Eds.). *Contribución al estudio de los servicios ambientales* (pp. 55-74). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA.
- Flores, A. G., Flores, J. G., González, D. R., Gallegos, A., Zarazúa, P., Mena, S., Lomelí, M. E. y Ruiz, E. (2021). Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 3–25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>
- Gadow, K., Sánchez, S. y Álvarez, G. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*. Universidad Santiago de Compostela.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen*. Ed. Larios, S. A. México, Distrito Federal.
- Gómez-Tagle, R. y Chávez, Y. (1986). Aplicación de los criterios de agrología forestal al estudio de los suelos de bosque en la zona oeste de Tapalpa, Jalisco. *Revista Ciencia Forestal en México*, 11(59), 65–89. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1209/2680>
- Manzanilla, H., Vázquez G., L., Moreno G., D. A., Talavera Z., E., Espinoza A., J., Flores G., J. G., Rueda S., A., Benavides S., J. de D., Villa C., J., Martínez D., M., Eguiarte V., J. A., Chávez H., Y., Orduña T., C., Sáenz R., J. T., Madrigal H., L., & Gómez Tagle R., A. (1997). *Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales (SIMANIN)* (Libro técnico Núm. 1). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Martínez, M. y Quiñonez, G. (2015). *Diagramas de manejo de la densidad con modelación de regresión frontera estocástica para mezcla de especies de la UMAFOR 0807 Guachochi, Chihuahua*. Folleto Técnico. Gobierno del Estado de Chihuahua. <https://www.researchgate.net/publication/321533644>
- Moreno, D. A. (2004). *Uso de matrices para evaluar la regeneración en pino* (Publicación técnica Núm. 1). INIFAP-Centro de Investigación Regional Pacífico Centro.
- Moreno, D. A. (2022). Dispersión espacial del arbolado en una cuenca forestal de Tapalpa, Jalisco. *e-CUCBA*, 9(18), 47–56. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi18.240>
- Moreno, D. A., Flores, J. G. y Benavides, J. (2007). Evaluación de la regeneración en bosque de pino mediante el método “parcela cero”. *Revista Ciencia Forestal en México*, 32(102), 79–102. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/751>
- Musalem, M. A. (1984). *Effect of environmental factors on regeneration of Pinus montezumae Lamb. in a temperate forest of México* (Tesis de doctorado, Yale University). Faculty of the Graduate School. Yale University.

- Ramírez, H. (2017). *Manual para la elaboración de programas de manejo forestal maderable en clima templado frío*. Comisión Nacional Forestal. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314226/Manual para la Elaboracion de PMFM](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314226/Manual_para_la_Elaboracion_de_PMFM) (Consultado el 17 de agosto de 2022).
- Ramírez, R., Ángeles, G., Clark, R., Cetina, V., Plascencia, O. y Hernández, P. (2015). Efectos del manejo forestal en la repoblación de *Pinus* spp., en la sierra norte de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 49–62. <https://doi.org/10.29298/rmcf/v6i32.98>
- Romahn, C. y Ramírez, H. (2010). *Dendrometría*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. <https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometria> (Consultado el 8 de agosto de 2023).
- Tamarit, J., Rodríguez, M. y Lerma, I. (2022). SIIMADER: Sistema informático INIFAP para manejar la densidad de rodales. *e-CUCBA*, 9(17), 147–155. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.223>
- Trigueros, A., Villavicencio, R. y Santiago, A. (2014). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque templado de pino–encino en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 160–183. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/327/366> (Consultado el 16 de agosto de 2023).
- Velázquez, A., Fierros, A., Aldrete, A., Gómez, A., Fernández, S., de los Santos, H., Llanderal, T., González, M. J., López, J. y Ramírez, C. (2013). *Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México*. Comisión Nacional Forestal. Colegio de Postgraduados. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001937> (Consultado el 22 de noviembre de 2023).
- Zeide, B. (2001). Analysis of a concept: stand density. *Journal of Sustainable Forestry*, 14(4), 51–62. [https://doi.org/10.1300/J091v14n04\\_05](https://doi.org/10.1300/J091v14n04_05)