

# UTILIZACIÓN DEL ÍNDICE DE DENSIDAD DE REINEKE EN *Pinus douglasiana* EN ATENQUIQUE, JALISCO.

Valencia Vargas Jorge\*

## RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en la zona conocida como área de corta "El Cucharo", la cual forma parte de la Sección II de Ordenación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique, Jalisco. Presenta una superficie aproximada de 2 000 ha, constituida, predominantemente por la especie *Pinus douglasiana*, en sus diferentes etapas de desarrollo (vardazcal, látizal y fustal). Esta área se encuentra en manejo a través del Método de Desarrollo Silvícola, cuyo propósito es formar bosques regulares (en cuanto a diámetro, altura y edad) con el tratamiento de regeneración de árboles padre y de cortas intermedias durante el turno.

El principio de Reineke fué aplicado con algunas pequeñas variantes, acordes a la condición encontrada en esta área de estudio. La información obtenida se basó en la correlación existente entre el diámetro de la copa y el diámetro normal (D.A.P. a 1.30 m de altura), (Alexander, 1971)<sup>1</sup>.

Se analizaron un total de 178 rodales coetáneos, y se determinó el número máximo de árboles para cada clase diamétrica, cimentándose en un índice de densidad de 1 077 árboles para el diámetro normal de 25 cm (máxima densidad alcanzada para esta clase), lo cual sirvió para generar una tabla de índices de densidad para la especie en cuestión, esto para comparar las diferentes densidades de los rodales en cualquier etapa de desarrollo, y al practicar un aclareo se pueda establecer un número de árboles a dejar en pie en cada una de estas etapas, hasta llegar a rodales maduros que se consideren óptimos en cuanto a producción de incrementos y volúmenes.

---

\* Ingeniero Agrónomo Forestal. Ex-Investigador del INIFAP, SARH.

<sup>1</sup> Alexander, R. R. 1971. Crown competition factor.

Se concluye que el modelo de Reineke  $IDR = e^{(LnN+ALnD+B)}$  es aplicable al tipo de datos de campo encontrados obteniendo una  $r = 0.98$  y con una pendiente similar de -1.5 556 a la de Reineke de -1.605.

Palabras clave: Índice de densidad Reineke IDR, manejo forestal, bosques de coníferas, pinos, *Pinus douglasiana*, Jalisco.

## ABSTRACT

The present study was carried out on the cutting area known as "El Cucharo", part of the second section of Atenquique, Jalisco's Unidad Industrial de Explotación Forestal. It presents a surface approximately of 2 000 ha, conformed by *Pinus douglasiana* as principal specie in its different development stages. This area is managed through the Metodo de Desarrollo Silvícola with the purpose of riching a regular forest (in relation to diameter, age and height) by the regeneration treatment of "parent trees" and through intermediate cuttings during the turn.

The Reineke principle was applied with several variants, according to the condition founded on this study area. The information was obtained settling by the correlationship between crown diameter and diameter at breast height (D.B.H.) (Alexander, 1971).

There were analyzed 178 even-aged stands and was settled the top number of trees for each diameter class with a density index of 1 077 trees for the 25 cm D.B.H. class (the highest density on this class), this was the data to generate a density index table for *Pinus douglasiana*, to compare the different stands densities in any stage of development; and when a thinning is applied it can be settled a tree number to leave on the stand in every stage, till reach mature stands that has been considered optimaze as in production and increase volumes.

It concludes that the Reineke model  $IDR = e^{(LnN+ALnD+B)}$  could be applied to the field data to obtain an  $r = 0.98$  with a similar slope of -1.5 556 like Reineke's -1.605.

Key words: Reineke's density index IDR, forest management, conifer forests, pines, *Pinus douglasiana*, Jalisco.

## INTRODUCCIÓN

El control y el manejo adecuado de la densidad de un rodal es de extrema importancia, toda vez que lleva implícito la mejor utilización para el bienestar de la localidad (agua, luz, nutrientes), que va a reflejar una mayor producción de bienes y servicios que de ella se obtengan. Para el silvicultor la densidad es una variable de la masa arbolada, que está a disponibilidad para ser manipulada y que de manera rápida y fácil afecta el desarrollo de la misma (Cano, 1985)<sup>2</sup>.

El término densidad se puede definir como: "La medida cuantitativa de la población de árboles expresada, ya sea relativamente como coeficiente que toma números normales, área basal o volumen como unidad, o absolutamente, en términos de número de árboles del área basal total o del volumen por unidad de área" (Ford-Robinson, 1971)<sup>3</sup>.

Cuando se trata de determinar la densidad de un rodal, se plantean las siguientes interrogantes a resolver: ¿Qué densidad se tiene? y ¿Qué densidad es la factible a dejar en pie después de la práctica de un aclareo en cada etapa de desarrollo del arbolado?; lo anterior lleva a buscar métodos que de una manera resulten los más adecuados a las condiciones del área de estudio y cuyas características contemplen criterios con mayor fundamento en la determinación de la densidad; el método de índice de densidad de Reineke cumple con dichos propósitos, resultando además fácil y rápida su aplicación y expresa sus resultados en términos de números de árboles por unidad de superficie en cada clase diamétrica, pudiéndose relacionar estos valores, con otros parámetros, como por ejemplo con el incremento en diámetro, altura, volumen y edad, lo que lo califica como una buena medida de densidad (Bickford *et al.* 1957)<sup>4</sup>.

Con el propósito de poder despejar las incógnitas mencionadas en el presente trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- a) Determinar el número de árboles factibles a dejar en pie después de la realización de un aclareo, para cada clase diamétrica.
- b) Obtención de densidades absolutas (cobertura cerrada) para cada clase diamétrica.
- c) Derivación de una tabla de densidades, que facilite la comparación entre los diferentes rodales de distinta edad, densidad y clase diamétrica.

---

<sup>2</sup>Cano C., J. 1985. El sistema de manejo regular en los bosques de México.

<sup>3</sup>Ford-Robinson, F. C. 1971. Terminology of forest science.

<sup>4</sup>Bickford, C. A., F. S., Baker and F. G. Wilson. 1957. Stoking normality and measurement of stand density.

## ANTECEDENTES

Reineke (1933)<sup>5</sup> estableció que cualquier rodal puro y de edad uniforme bien poblado (cobertura cerrada) tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie, que otro rodal puro coetáneo y bien poblado de la misma especie y de diámetro promedio y cuyo valor no es afectado por la edad y la calidad de estación.

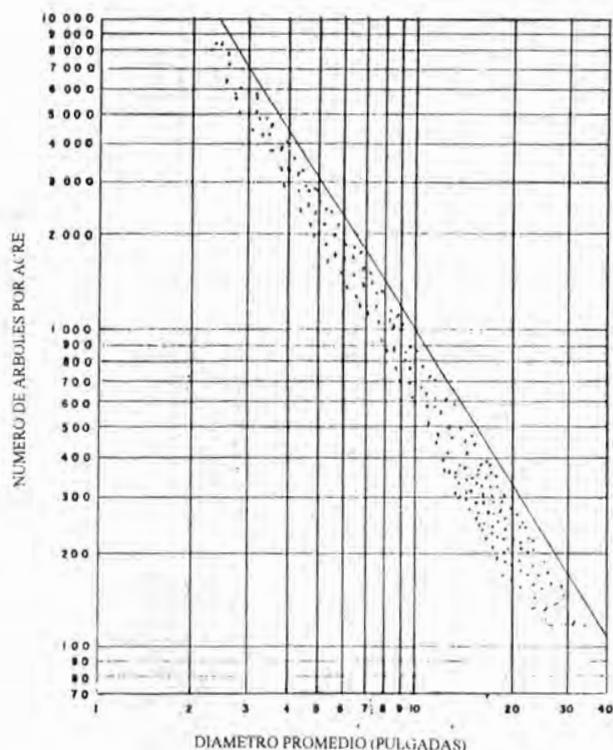
El hecho de mencionar que tanto la calidad de estación como la edad no tiene efectos sobre la cantidad de árboles en el rodal, se debe a que los parámetros que se describen la forma de la curva de la distribución de diámetros de un rodal uniforme (coeficiente de asimetría y Kurtosis) están más estrechamente relacionados con el diámetro promedio (Meyer, 1930)<sup>6</sup>.

Con la finalidad de poder comparar diversas densidades en diferentes clases diamétricas, Reineke hizo lo siguiente; en papel log-log graficó los datos obtenidos en un lote de muestreo de *Abies magnifica* establecido en California, E.U.A. y determinó una curva máxima de número de árboles o de máxima densidad por unidad de superficie para cualquier diámetro promedio, a la cual denominó **Curva de Referencia** (Figura N° 1) la cual no es una curva ajustada por mínimos cuadrados o cualquier otro método. Definió además que otras especies presentaban aproximadamente la misma pendiente (-1.605) de la **Curva de Referencia** y que mediante una serie de curvas paralelas a la curva encontrada se puede transformar el número de árboles por unidad de superficie en cualquier diámetro promedio del rodal a una densidad equivalente a una base, de tal forma que el **Índice de Densidad del Rodal de Reineke (IDR)** es el número de árboles por unidad de superficie a este diámetro base (1 000 árboles por acre), (Figura N° 2).

---

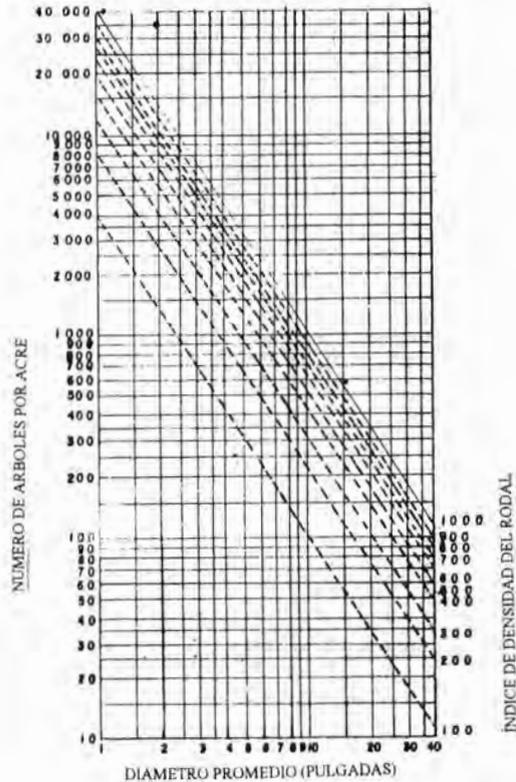
<sup>5</sup>Reineke, L. R. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests.

<sup>6</sup>Meyer, W. E. 1930. Diameter distribution series in even-aged forest stands



**Figura N° 1.** Curva de referencia. tomada de Reineke (1933).

En algunas partes de América del Norte, Europa y Japón, varios investigadores han hecho referencia y/o comparaciones en la determinación de la densidad, y en ocasiones varios utilizan el principio de Reineke para obtener la densidad, asimismo otros han determinado pendientes similares a la Reineke en especies herbáceas, de los que se puede señalar los siguientes:



**Figura N° 2.** Índice de densidad de Reineke (IDR).

Schnur (1937)<sup>7</sup>, en regiones del Centro de los E.U.A., sobre lotes de encino, determinó una tabla de rendimiento, que permite obtener el límite inferior de la densidad del rodal que es capaz de utilizar el sitio y es de IDR 117, y el límite superior, para la utilización total del sitio, la fijó en IDR de 209, por lo tanto los rodales que se encuentren por encima o por abajo de estos límites se consideran super o subpoblados respectivamente.

<sup>7</sup>Schnur, G. L. 1937. Yield, stand and volume tables for event-aged upland oak forests.

Stahelin (1949)<sup>8</sup>, utilizó el principio de Reineke en la obtención de la densidad en rodales de *Pinus taeda*, y expresó la densidad como un porcentaje del área basal normal de un diámetro promedio determinado; sin embargo, las áreas basales normales de esta especie, en varios diámetros promedio, se acercan mucho al área basal, para un índice de 300 árboles (IDR), de modo que las densidades específicas se puedan expresar mejor por medio de valores de Índices de Densidad del Rodal.

Otros investigadores, entre ellos Schnur (*op. cit.*) y Stochr (1955)<sup>9</sup>, obtuvieron curvas básicas calculadas, mediante el método de mínimos cuadrados y determinaron la pendiente como -1.499 en bosques de encinos para las partes altas de los E.U.A., y de -1.515 para *Populus* sp. que se aproxima a la pendiente obtenida por Reineke (-1.605) y lo cual indicia la buena medición de la curva de referencia, lo que permite ajustar la curva de máxima densidad de las distintas especies.

Briegleb (1952)<sup>10</sup>, realizó un estudio del crecimiento de rodales explotados de *Pseudotsuga taxifolia* en Dinamarca. En la Costa de los E.U.A., diseñó una tabla con la que conformó una escala de valores de diámetro promedio, altura promedio y el número de árboles dentro del cual el crecimiento bruto podría ser constante, resumiendo que cualquier rodal bajo control de esta especie que tenga una densidad entre IDR 187 a 382 árboles, será igualmente productivo.

Yoda *et al.* (1963)<sup>11</sup> descubrieron la existencia de una relación matemática en especies herbáceas; entre el peso medio de la población y el número máximo de individuos vivos de la misma, llamando a dicha relación la Ley del Autoclareo ó Ley de  $-3/2$  (-1.5). Esta pendiente obtenida para poblaciones herbáceas es similar a la obtenida por Reineke.

Bruce (1965)<sup>12</sup> encontró que varios de los datos de los métodos para determinar la densidad son paralelos a la curva de Índices de Densidad del Rodal (IDR) entre los diámetros a la altura del pecho que van desde 10 a 75 cm.

Gingrich (1967)<sup>13</sup>, estableció los límites de densidad (utilizando el índice de Reineke) de una masa de latifoliadas en las partes altas del Centro de los E.U.A., el cual se basó

<sup>8</sup>Stahelin, R. 1949. Thinning event-aged loblolly and slash pine stand to specific densities.

<sup>9</sup>Stochr, H. A. 1955. Stem taper of trembling aspen.

<sup>10</sup>Briegleb, P. A. 1952. An approach to density measurement in douglas fir.

<sup>11</sup>Yoda, K.; T. Kira; H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in over crowded pure stand under cultivated and natural conditions.

<sup>12</sup>Bruce, D. 1985. Comparisons of mensures of stand density.

<sup>13</sup>Gingrich, S. F. 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forest in the Central States.

en la tabla de rendimiento de Schunur *op cit.* y mencionó que dentro de estos límites para cada diámetro se producirán incrementos uniformes del crecimiento sin que importen la edad y la calidad del sitio.

Hett (1971)<sup>14</sup>, consignó que la mortalidad es relativamente independiente de la edad en los primeros años de *Acer saccharum* pero que declina a medida que madura la planta, al mismo tiempo que las plantas se van muriendo los individuos remanentes se tornan más grandes y lógicamente las más pequeñas son continuamente eliminadas de la población; por lo tanto, en localidades de una especie vegetal, existe una estrecha relación entre el tamaño de la planta y la densidad de la localidad un mayor tamaño y peso de la biomasa de los tallos está asociado con una densidad menor de tallos por unidad de área. Esta relación está representada por la fórmula ( $\log w = a + b \log p$ ) donde:

w = peso medio de plantas vivas  
a = constante  
b = pendiente  
p = densidad

La pendiente obtenida en este estudio es similar a la Ley de los -3/2.

Drew y Flewelling (1977)<sup>15</sup> explicaron la pendiente (-1.5) o del comportamiento denominado la Ley de los -3/2 o del poder del autoclareao en especies forestales y mencionaron que ésta relación describe el volumen máximo del arbolado en relación con la densidad de la localidad.

Long (1980)<sup>16</sup> graficó el volumen medio por árbol en relación con la densidad de las especies en localidades puras y mixtas en los bosques del oeste-centro de E.U.A. y obtuvo una pendiente -1.48 semejante a la Reineke, a la Ley de los -3/2 y otros investigadores y determinó una relación similar para todas las especies consideradas.

---

<sup>14</sup>Hett, J. M. 1971. A dynamic analysis of age in sugar maple seedling.

<sup>15</sup>Drew, T. J. and J. W. Flewelling. 1977. Some recent japonese theories of Yied-density relationships and their application to Monterrey pine plantations.

<sup>16</sup>Long, J. N. 1980. Productivity of westen coniferous forests.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio experimental.

El lugar de donde se obtuvo la información de campo, se le conoce con el nombre de área de corta "El Cucharo", la cual cuenta con una superficie aproximada de 2 000 ha. Forma parte de la Sección II de Ordenación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique (Figura N° 3). Cabe mencionar que fué aquí en donde se aplicó el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), como un plan piloto, con el que se pretendió determinar masas arboladas regulares, con un número de cortas intermedias durante el turno y el tratamiento de árboles padre como corta de regeneración. El área de corta pertenece al Municipio de Mazamitla y se encuentra a 1 940 msnm, entre las coordenadas 19°55' de latitud norte y 103°00' de longitud oeste (DETENAL, 1979)<sup>17</sup>.



**Figura N° 3.** Localización del área experimental.

<sup>17</sup>SPP. DETENAL. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica.

El clima del área de corta "El Cucharo" según Köpen modificado por García (1973)<sup>18</sup>, es C(W2) (W) el cual se presenta en la mayor parte de la Sección II, es un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación en el mes más seco es menor a los 40 mm, siendo el porcentaje de lluvia invernal menor a 5%. La cantidad de lluvia registrada es de 1 000 mm distribuidos en los meses de junio a noviembre. La unidad de suelo es Luvisol Crómico, el cual se caracteriza por encontrarse en zonas templadas, aunque algunos presentan enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, pero son más fértiles y menos ácidos que éstos, con colores rojos o claros (DETENAL, *op. cit.*). Su vegetación es de bosque, se caracteriza por presentar predominantemente en este lugar a la especie *Pinus douglasiana*, seguida de *P. oocarpa*, *P. michoacana*, *Quercus resinosa*, *Q. scytophilla*, *Arbutus glandulosa*, *A. xalapensis* y *Carpinus caroliniana* entre otras. Para el sotobosque se reportan las siguientes especies: *Salvia lavanduloides*, *Simplocos prionophilla*, *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Verbesina serrata*, *Senecio* sp., *Salignus* sp., *Medicago denticulata* y *Rubus* spp.

### **Muestreo.**

El método de muestreo utilizado para obtener la información fue el estratificado selectivo, la estratificación consideró los rodales que presentaron mayores poblaciones arboladas, con el fin de encontrar las condiciones de cobertura cerrada o de densidades absolutas. Cabe mencionar que este tipo de información es poco frecuente, debido a que se trata de un área sujeta a aprovechamiento maderable, por lo que los datos de campo se tuvieron que seleccionar en pequeños manchones que presentaron tal característica, alcanzando un total de 178 sitios de muestreo, los cuales se distribuyeron en los predios (Cuadro N° 1).

La forma de dimensión de los sitios se estableció en función del número de árboles que conformará el rodal completamente cerrado, del estado de desarrollo (vardazcal, latizal y fustal) y de la forma de distribución de los individuos aunque los sitios más usuales fueron de forma rectangular y cuadrada; para la delimitación de ellos se utilizó cinta métrica de 25 metros.

<sup>18</sup>García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen.

Superficie (ha)	Predios	Subrodal	Clasificación(*)	Nº Sitios	Frec/Cat diam. (cm)	(ERxm3rt)
50	58	15, 15A 14C	PQ IV-2	25	8(5cm)7(10cm) 10(20cm)	130
70	48	7C	P IV-3	17	10(25cm)7(45cm)	130
19	72	4	PQ IV-3	6	6(25cm)	146
14	72-A	10.9	PQ IV-3	8	8(30cm)	146
11	-60	14A	PV-3	15	7(35cm),8(45cm)	146
133	13	3A	Pq IV-2	26	5(5cm)5(10cm)10 (15cm)6(20cm)	130
60	20	8I	Pq IV-2	15	5(5cm)5(10cm)5 (15cm)	146
17	27	12K	PV-3	16	8(30cm)8(40cm)	151
466	18	8D	PV-3	12	7(35cm)5(40cm)	151
31	17	AG,4H	Pq-IV-3	14	5(40cm)9(55cm)	111
171	28	4A,1R	Pq-IV-3	15	10(50cm)5(55cm)	111
18	32	5D	Pq-IV-3	9	5(50cm)4(55cm)	134

**Cuadro N° 1.** Distribución de los sitios de muestreo.

(\*) P = Pino dominante o codominante en proporción.

q = Encinar dominado en proporción.

Q = Encino codominante en proporción.

IV y V = Clases de densidad.

2 y 3 = Clases de altura.

Los sitios escogidos para ser medidos y obtener información sobre densidades cerradas fueron seleccionados de acuerdo con las siguientes características:

1. Que los rodales fueran coetáneos (determinados con el taladro de incrementos, tipo Pressler).

2. Que el número de árboles para cada rodal, no fuera menor de ocho individuos, para tener una mayor representatividad al momento de extrapolar los valores a la hectárea.

3. Que los árboles que conformaban el rodal, se tocarán con sus copas por 4 ó 5 de sus lados, con el objetivo de establecer la cobertura cerrada (100%).
4. Que las mismas condiciones que prevalecieron dentro del sitio (cobertura, estado de desarrollo, coetaneidad, etc.), coincidieran con las que se encuentran fuera, cuando menos en una franja de protección (10m) para eliminar el efecto de orilla.

El número de árboles fue de suma importancia, puesto que de aquí se determinaron las densidades absolutas para cada categoría diámetrica, así como también la tabla de índices de densidad. La manera de obtener este valor fue la siguiente:

A partir del principio biológico de la correlación existente entre el diámetro de copa y su diámetro normal (DN), se delimitaron los sitios conforme a la proyección de copa, para determinar su superficie y contar el número de individuos, una vez obtenido este valor se extrapoló a la hectárea (Figura N° 4).



**Figura N° 4.** Sitio delimitado para definir el número de árboles por ha.

En la figura N° 5 se muestra la distribución aproximada de los rodales o sitios de muestreo.



**Figura N° 5.** Distribución de los sitios de muestreo en las poblaciones de *Pinus douglasiana*, con mayores densidades.

La finalidad de utilizar las áreas de copa referidas a una superficie, fue la de poder considerar los espacios libres que quedan entre las copas (cuando éstas no alcanzaban a tocarse por todos lados), de tal forma que al tomar en cuenta estos espacios, se evitó el cometer el error de sobreestimar el número máximo de árboles que pudieran alcanzar cada categoría diamétrica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los valores obtenidos (número de árboles por hectárea para cada clase diamétrica) (Cuadro N° 2) del área en cuestión y en particular de la especie *Pinus douglasiana*, la curva de referencia (máxima densidad), se determinó de manera distinta, ajustándose en primer lugar los datos con el modelo Reineke, con intención de señalar, si dicho modelo se adecua al tipo de información o al comportamiento de esta especie.

	CLASES DIAMÉTRICAS (CM)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	<b>NÚMERO DE ÁRBOLES POR HECTÁREA</b>										
12019	3537	1479	1048	909	341	393	428	403	245	233	
10200		2699	909	971	454	452	356	303	294	197	
11500	2400	2515	1111	1076	781	379	446	333	280	189	
9500	2221	1714	898	1042	699	560	324	349	289	203	
11900	1714	1569	740	971	606	403	347	299	275	204	
12500	1961	2010	846	1060	535	393	480	375	265	185	
12037	2727	1600	1481	800	625	379	361	399	287	199	
11923	2500	1718	1333	903	795	567	325	385	242	179	
12300	2142	1903	1333	903	519	403	340	400	249	182	
11888	1989	1403	1118	1076	591	379	326	329	270	197	
9500	2976	1679	879	900	626	452	435	300	290	203	
12019	2500	2010	903	1050	702	389	389	301	206	188	
11333	1879	1749	1111	976	513	397	324	310	233	219	
9700	1700	1893	898	908	699	403	347	349	240	199	
10553	2400	1303	745		606	475	479	390	235	187	
		1989	800	903	591		355			196	
10553	1550			1077			392			213	
11373							349				

**Cuadro N° 2.** Valores obtenidos de número de árboles por hectárea para cada clase diamétrica.

Los datos del cuadro N° 2 pueden ser transformados a valores del área basal/hectárea con el propósito de dar una idea más clara de las altas densidades que se obtienen en los sitios de cobertura cerrada (densidades absolutas) (Cuadro N° 3). Sin embargo, el trabajar con valores de área basal para determinar la densidad dificulta la labor en los tratamientos de aclareo, ya que resulta más fácil y práctico el establecer cuántos individuos por hectárea y de qué diámetros son factibles de dejar en pie, y no así el definir un área basal residual, pero ¿en cuantos individuos y de qué diámetro?, lo cual resulta un poco ambiguo (Cano, *op. cit.*).

CLASES DIAMÉTRICAS (CM)										
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ÁREA BASAL POR HA										
23.49	27.77	26.13	32.92	44.62	30.46	37.81	33.78	64.09	48.10	55.35
20.02	9.15	47.69	28.55	47.66	32.09	43.48	44.73	48.19	57.72	46.80
22.58	18.84	39.14	34.90	52.81	55.20	36.46	56.04	52.96	54.97	44.90
18.65	17.99	30.28	28.21	51.14	49.40	53.87	40.71	55.50	56.74	48.22
23.36	13.46	27.62	23.24	47.66	42.83	38.77	43.60	47.55	53.99	48.46
24.54	15.40	35.51	26.57	52.03	37.81	37.81	60.31	59.64	52.03	43.95
	21.41	28.27	46.51	39.26	44.17	36.46	45.36	63.45	56.35	47.27
23.63	19.63	30.35	41.87	44.32	56.19	43.48	40.84	60.91	47.51	42.52
23.41	16.82	33.62	41.87	44.32	36.68	37.42	42.72	63.61	48.89	43.24
24.15	15.62	24.79	35.12	52.81	41.77	38.19	40.96	52.32	53.01	46.80
23.34	23.37	29.67	27.61	44.17	44.24	38.77	54.66	47.71	56.94	48.22
18.65	19.63	35.61	28.36	51.54	49.62	45.70	48.88	47.87	40.44	44.66
23.19	14.75	30.90	34.90	47.90	36.26		40.71	49.30	45.74	52.03
22.25	13.35	33.45	28.21	44.57	49.40		43.60	55.50	47.12	44.42
19.04	18.84	23.02	23.40		42.83		60.19	62.02	46.14	46.56
20.72	14.83		25.13	44.32	41.77		44.61			50.60
20.00	12.17			52.86			49.26			
22.33							43.85			

**Cuadro N° 3.** Valores del área basal por hectárea.

La transformación se realizó utilizando la ecuación

$$AB = 0.7854 D^2 N$$

en donde:

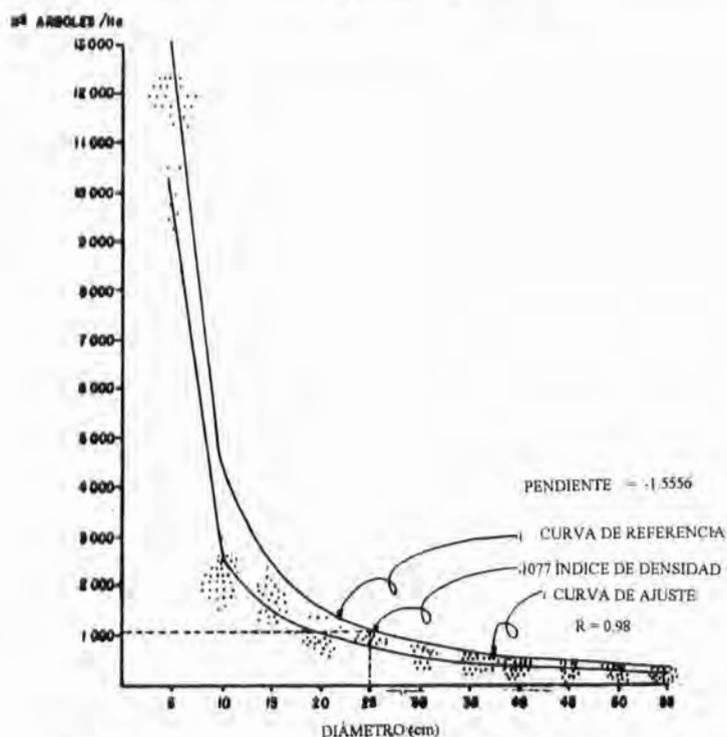
0.7854 = constante

$D^2$  = diámetro al cuadrado

N = número de árboles

AB = área basal

Una vez que los valores del número de árboles por hectárea fueron ajustados, se procedió a obtener la curva de referencia, mediante curvas paralelas a la de ajuste, hasta lograr que dicha curva pasara por el valor más alto para un diámetro base de 25 cm el cual resultó de 1 077 árboles por ha (Figura N° 6).



**Figura N° 6.** Determinación de la **Curva de Referencia** mediante curvas paralelas.

### Curvas paralelas.

El hecho de obtener la curva de referencia (densidades absolutas) es el de establecer un punto de referencia o de comparación y definir la densidad que se tiene un momento dado (densidad relativa) y la que puede alcanzar una determinada especie *Pinus douglasiana*, lo que indicó si se trata de un rodal bastante o poco denso.

El procedimiento de cálculo se realizó de la siguiente manera:

a) Modelo de Reineke (modelo logarítmico):

$$\text{IDR} = e^{(\text{Ln}N + A \text{ Ln } D + B)}$$

en donde:

IDR = índice de densidad

N = número de árboles

A = pendiente

B = intercepto

Ln = logaritmo natural

b) Modelo aplicado:

Una vez hecho el análisis estadístico se determinaron los valores consignados en el cuadro N° 4.

CLASE DIAMÉTRICA	ÁRBOLES/HA
5	9348
10	3178
15	1691
20	1081
25	764
30	576
35	453
40	368
45	307
50	260
55	224

**Cuadro N° 4.** Valores promedio de densidad.

Por lo que el modelo toma la siguiente expresión\*:

$$\text{IDR} = e^{\text{LnN} + (-1.5556 \text{ LnD} - 11.6459)}$$

en donde:

-1.5556 = es la pendiente de la curva

11.6459 = intercepto

Los datos del cuadro anterior se derivan de la siguiente manera:

Despejando N se tiene:

Clase diamétrica de 5 cm:

$$\begin{aligned}\text{LnN} &= e^{11.6459 + (-1.5556 \text{ Ln } 5 \text{ cm})} \\ &= e^{(11.649 - 2.5029)} = 9.14 \\ &= e^{9.14} \\ &= 9348\end{aligned}$$

Para la clase diamétrica de 10 cm:

$$\begin{aligned}\text{LnN} &= e^{11.6459 + (-1.5556 \text{ Ln } 10)} \\ &= e^{11.6459 - 3.5819} = 8.063 \\ &= 3178\end{aligned}$$

Para las demás clases diamétricas se utilizó el mismo procedimiento. Los valores obtenidos sólo significan los datos de la curva de ajuste o valores intermedios de densidad. Por lo tanto, para definir la curva de referencia solo se tiene que variar el intercepto al origen conservándose la misma pendiente, así que el modelo toma la siguiente expresión:

---

\* Se utilizan logaritmos naturales o neperianos.

Modelo:

$$\text{IDR} = e^{\text{Ln}(1077) + (-1.5556 \text{ LnD} + \text{B})}$$

en donde se despeja

b= (intercambio)

y se tiene:

1077 = significa el valor por el cual pasa la curva de referencia o sea

$$N = 1077$$

$$B = \text{Ln}(1077) - 1.5556 \text{ Ln}(25)$$

$$B = -11.989$$

Luego entonces el modelo de la curva de referencia es:

$$\text{IDR} = 1077 e^{\text{Ln}N + (-1.5556 \text{ LnD} - 11.989)}$$

Los valores de máxima densidad se determinaron de manera similar que los datos anteriores, los cuales se concentran en el (Cuadro N° 5).

CLASE DIAMÉTRICA	ÁRBOLES/HA
5	13165
10	4479
15	2383
20	1523
25	1077
30	811
35	638
40	518
45	432
50	366
55	316

**Cuadro N° 5.** Valores de la **Curva de Referencia** o de máxima densidad que puede alcanzar la especie *Pinus douglasiana*.

Con el propósito de verificar la significancia del análisis de regresión de la relación diámetro medio/árboles por ha para la especie de *Pinus douglasiana*, fue necesario utilizar un análisis de varianza de la regresión (Cuadro N° 6), con lo que se encontró que existe una correlación entre las variables ajustadas con el Modelo Reineke de:  $r = 0.98$ , y comparando el valor de F calculada (4385.3), con el valor de F tabulada (3.89) con un nivel de confiabilidad de 0.05 y con 176 grados de libertad, el primero resultó mayor, por lo que se deduce que dicha relación es altamente significativa, lo cual denota la positiva aplicación del modelo.

FV	GGL	SC	CM	F. CALC.	F. TAB.	
					5%	1%
Regresión	1	228.41	228.41	4385.3	3.89	6.75
Residual	176	9.1	0.052	F. Calc. = $\frac{\text{CM regresión}}{\text{CM residual}}$		
Total	177	237.58				

**Cuadro N° 6.** Análisis de varianza de la regresión.

Por otro lado se observa que *Pinus douglasiana* presenta pendiente similar de -1.5556 que otras especies utilizadas para estudios de densidad como: *Abies magnifica* empleada por Reineke y cuya pendiente fue de -1605. Para una variedad de especies en localidades puras y mixtas en los bosques de clima templado de la parte norte del oeste de Estados Unidos en donde el volumen medio del árbol fue graficado en función de la densidad y la pendiente de la regresión resultó de -1.48, donde surgió una relación similar para todas las especies consideradas Long, (1980). Así mismo el comportamiento de *Pinus douglasiana*, o su pendiente, es parecida a la descubierta por investigadores japoneses en especies herbáceas, cuya relación han denominado la Ley de los -3/2 o del Poder del Autoclaro, el cual describe el tamaño máximo vegetal en función de la densidad, sin considerar la edad; posteriormente esta ley o pendiente es

aplicada por Drew y Flewelling (*op. cit.*), para especies forestales en donde se describe la relación volumen máximo de las especies y la densidad de la localidad.

### **Tabla de densidades.**

El propósito de elaborar una tabla para *Pinus douglasiana*, es el de poder comparar las densidades de distintos rodales, para lograr ésto, sólo basta con transformar los diferentes valores de densidad a una densidad equivalente a un diámetro promedio base de 25 cm, lo que significa que al conocer una densidad en número de árboles por hectárea de un rodal maduro que se considera el ideal en cuanto a su producción maderable (Vol/ha), se puede ir estableciendo mediante cortas una densidad equivalente en rodales de etapas de desarrollo inmaduras, para que éstos al llegar a su madurez alcancen la misma densidad del rodal que se considera ideal. Por ejemplo, si se tiene una masa arbolada con un diámetro promedio de 50 cm, y se presenta una población de 162 árboles por ha y que además se considera óptima en cuanto a densidad y producción, esta tendría su equivalencia o índice de densidad de 437\* arb/ha, de tal forma que si el rodal se encontrará en un estado de desarrollo de vardascal con un diámetro de 10 cm, debería tener una densidad de 1820 arb/ha, y conforme avanza en su crecimiento hasta alcanzar un diámetro 20 cm, debería tener una población de 619 arb/ha, a los 30 cm, tendría 329 arb/ha, a los 40 cm, 221 arb/ha, continuando así hasta llegar a la categoría ideal con 162 arb/ha, manteniendo de tal manera las densidades equivalentes y adecuadas en cada etapa del rodal.

La tabla de densidades se origina a partir de la ecuación generada para la **Curva de Referencia** de la siguiente manera:

$$\text{Modelo: } IDR = 1077e^{-n/20} + (-1.5556n + 5\text{ cm} - 11.989)$$

A manera de ilustración se toma como ejemplo el valor de 20 árboles por ha, (columna) para la categoría de 5 cm, (hilera) la cual tiene su equivalencia o índice de densidad de:

$$\text{Modelo: } IDR = 1077e^{-n/20} + (-1.5556n + 5\text{ cm} - 11.989)$$

$$IDR = 2$$

\* Este valor se obtiene; primeramente al encontrar en la columna No. árboles por Ha, el valor de 162 mediante interpolación el cual se relaciona con la hilera en donde coincide con el diámetro de 50 cm, posteriormente el índice encontrado 437 se va relacionando con la columna No. árboles por Ha, para cada una de las categorías diamétricas.

Para 40 árboles de la misma categoría:

$$\text{IDR} = 1077 e n 40 + (1.5556 n 5 - 11.989)$$

$$\text{IDR} = 3$$

Lo mismo se hace para los demás valores hasta lograr la tabla de densidades (Cuadro N°. 7)

## CONCLUSIONES

Para no subestimar las densidades absolutas de *Pinus douglasiana*, es necesario utilizar franjas de protección de 10 m de ancho.

Resulta más fácil y práctico determinar la densidad absoluta y expresarla en base al número de árboles residuales por categoría diamétrica dentro de los tratamientos de aclareos o cortas intermedias, que el emplear áreas basales, cuyos resultados se consideran ambiguos si no se relacionan con otros parámetros (número de árboles y diámetro).

El hecho de utilizar rodales coetáneos para determinar información sobre coberturas cerradas y no de superficies mayores (1/3 aproximadamente de ha utilizados por Reineke) resultaron difíciles de localizar por ser de un área de aprovechamiento forestal, permitió facilitar la toma de datos de campo y obtener valores significativos en el análisis de regresión con el modelo de Reineke.

La utilización del modelo resultó positiva, puesto que se aplica a la relación de número de árboles/ha y diámetro del *Pinus douglasiana*, lo cual resulta evidente en el análisis de varianza de la regresión de  $r = 0.98$  y comparando el valor de F calculada de 4385 valor de F de tablas de 3.89 con el nivel de 0.05 con 176 grados de libertad el primero resulta mayor por lo que se concluye que la regresión es significativa.

Árb/Ha	CLASE				DIAMÉTRICA							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
20	2	5	9	14	20	27	34	41	50	54	68	78
40	3	10	18	28	40	53	67	82	100	108	136	156
60	5	14	27	42	60	80	101	124	149	162	207	234
80	7	19	36	57	80	106	135	165	199	216	272	313
100	8	24	45	71	100	133	169	206	249	270	340	391
200	16	48	90	141	200	265	337	412	498	539	679	781
300	25	72	135	212	300	398	506	618	747	809	1019	1172
400	33	96	180	282	400	531	675	824	997	1079		
500	41	120	225	351	500	664	843	1030	1245			
600	49	144	270	424	600	796	1012					
700	57	168	315	494	700	929						
800	65	192	360	565	800	1061						
900	74	216	405	636	900							
1000	82	240	451	707	1000							
1077	88	259	485	761	1077							
1200	98	288	541	848								
1300	106	312	586	919								
1400	115	336	631	989								
1500	123	369	676	1060								
2000	164	480	901									
3000	245	720	1351									
4000	327	960										
5000	409	1200										
6000	490											
7000	573											
8000	654											
9000	736											
10000	818											
12000	981											
14000	1145											

Ecuación  
 $IDR = 10^{77e} \text{Ln}N + (-1.555e \text{Ln}d) - 11.989$   
 En donde  
 IDR = Índice de densidad de Reineke  
 1077 = Índice de densidad de la categoría de 25 (cobertura cerrada)  
 N = Número de árboles.  
 -1.555e = Pendiente  
 -11.989 = Intercepto  
 Ln = Logaritmos naturales o neperianos.

**Cuadro N° 7.** Tabla de densidades para *Pinus douglasiana*, que tiene como índice de densidad 1 077 árboles a un diámetro de 25 cm.

Por otra parte, se observó que esta especie presenta similar comportamiento que otras especies de clima templado para estudios de densidades, como la utilizada por Reineke en *Abies magnifica* y las obtenidas por Drew y Flewelling.

Se observa además que *Pinus douglasiana* presenta pendiente similar a las obtenidas por: Reineke, Schnur, Stochr y Long.

El contar con una tabla de densidades para *Pinus douglasiana*, significa facilitar las labores de aclareo en los métodos de ordenación, puesto que se puede considerar que las cortas se aplican con mayor fundamento, con base en el comportamiento de la especie estudiada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, R. R. 1971. Crown competition factor. (CCF) for Englemann spruce in the Central Rocky Mountains. USDA Forest Service Res. U.S.A.
- Bickford, C. A.; F. S. Baker and F. G. Wilson. 1957. Stoking normality and measurement of stand density. J. For. U.S.A.
- Briegleb, P. A. 1952. An approach to density measurement in douglas fir. J. For. U.S.A.
- Bruce, D. 1985. Comparisons of mensures of stand density. Lodgepole pine management work Conference, Bend, Or. E.U.A.
- Cano C., J. 1985. El sistema de manejo regular en los bosques de México. Apuntes DTF de Atenquique, Jal. México.
- Drew, T. J. and J. W. Flewelling. 1977. Some recent japonese theories of Yied-density relationships and their application to Monterrey pine plantations. For Sci. U.S.A.
- Ford-Robinson, F. C. 1971. Terminology of forest science. Technology practice and Products. Soc. Am. foresters, Washington, D.C. U.S.A.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. UNAM. México.
- Gingrich, S. F. 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forest in the Central States. For Sci. U.S.A.
- Hett, J. M. 1971. A dynamic analysis of age in sugar maple seedling. Ecology 52. U.S.A.
- Long, J. N. 1980. Productivity of western coniferous forests. In: R.L. Edmonds, U.S.A.
- Meyer, W. E. 1930. Diameter distribution series in even-aged forest stands. Yale Univ. School For. Bull. 28. U.S.A.
- Reineke, L. R. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests. J. Agric. Res. S.U. U.S.A.
- Schnur, G. L. 1937. Yield, stand and volume tables for event-aged upland oak forests. USDA tech. U.S.A.
- Stochr, H. A. 1955. Stem taper of trembling aspen. For. Science. U.S.A.
- SPP, DETENAL. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. DETENAL. México.
- Stahelin, R. 1949. Thinning event-aged loblolly and slash pine stand to specific densities. J. For. 47 U.S.A.
- Yoda, K., T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in over crowded pure stand under cultivated and natural conditions. J. Biól. Osaka City Univ.