



Artículo / Article

Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino

Pine lumber grade recovery as a function of log characteristics

Rolando Orozco Contreras¹, José Ciro Hernández Díaz², Juan Abel Nájera Luna³,
Pedro Antonio Domínguez Calleros⁴, José Rodolfo Goche Telles⁴,
Pablito Marcelo López Serrano² y José Javier Corral Rivas²

Resumen

Los objetivos del estudio fueron determinar el rendimiento volumétrico por clases de madera aserrada de cuatro especies de pino; evaluar diferencias significativas por clase de madera entre especies, así como la factibilidad de utilizar una función discriminante para separar las calidades de la madera aserrada (tablas), a partir de las características de la madera en rollo (trozas). El tamaño de la muestra fue de 80 trozas, 20 por cada especie. *Pinus durangensis* presentó el mayor rendimiento en madera aserrada de la clase dos y mejor con 6.56 %, seguida por *P. teocote* con 4.57 %, mientras que *P. strobiformis* tuvo solo 0.59 % de madera de esa clase. La prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento volumétrico por clase de madera en 14 de los 25 pares de especies consideradas. *P. durangensis* y *P. strobiformis* registraron más diferencias significativas en rendimiento por clase de madera, al ser comparadas con el resto de los taxa. La función lineal discriminante clasificó de manera correcta 27, 15, 53, y 90 % de las tablas dentro de las calidades 2ª y mejor, 3ª, 4ª, y 5ª, respectivamente. Los resultados del estudio indican que la especie tiene un efecto significativo en el rendimiento por clase de madera; también se observó que es factible usar una función lineal discriminante para estimar el rendimiento de madera de pino de clase 5 en función de las características de las trozas.

Palabras clave: Bosque de pino, industria forestal, madera en rollo, productividad, rendimiento volumétrico, tablas.

Abstract

The objectives of the present study were to determine the volume of lumber yield per quality grade of four pine species, evaluate significant differences per lumber grade and assess the feasibility of using a discriminant function to separate the grade qualities of sawn wood (lumber) as a function of the round wood characteristics (logs). The sample size was 80 logs (20 of each species). *Pinus durangensis* gave the best yield of lumber with grade 2 and better, with a 6.56 %, followed by *P. teocote* (4.57), while *P. strobiformis* reached just 0.59 in that quality. The Kruskal-Wallis test encountered significant differences ($P < 0.05$) in the yield volume per quality grade in 14 of the 25 evaluated species pairs. *P. durangensis* and *P. strobiformis* are the two species with more significant differences in yield per quality grade in comparison with the rest. The discriminant linear function correctly classified the 27, 15, 53, and 90 % of the boards in the quality grades 2nd and better, 3rd, 4th and 5th, respectively. The study results indicate that the species has a significant effect in the yield per quality grade of lumber; it was also observed that it is feasible to use a discriminant linear function to estimate the lumber yield of pine of grade 5, as a function of the log's characteristics.

Key words: Pine forest, forest industry, round wood, productivity, volumetric yield, boards.

Fecha de recepción/Reception date: 6 de julio de 2016; Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de agosto de 2016.

¹ Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

² Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Correo- e: jcorral@ujed.mx

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto, México.

⁴ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

Introducción

La calidad de la madera se evalúa de dos formas: por sus características naturales y por la precisión de sus dimensiones (Eleotério *et al.*, 1996). Bryant (1996) menciona que el rendimiento de clases de madera aserrada obtenida de madera en rollo de una especie en particular, no es uniforme en los aserraderos de una región específica, ya que existen muchos factores que pueden influir en la proporción de cada grado o clase producida, algunos de los cuales son: calidad y tamaño de las trozas, características del material aserrado (largo y grueso), y los métodos de aserrado, desorillado y cabeceado.

Steele *et al.* (1994) y Casado (1997) afirman que las características de la troza afectan la calidad y volumen de las tablas, e identifican algunos factores como el diámetro, longitud, conicidad y longitud de la troza, que afectan los rendimientos de madera aserrada. Thomas (2008) señala que conocer con precisión aspectos sobre el tamaño, forma y localización de defectos internos de la troza es información clave para mejorar el valor y la calidad de la madera aserrada. Zhang y Lei (2006) documentan que se pueden predecir los rendimientos de madera aserrada mediante las características de los árboles obtenidas directamente en los sitios forestales, como variables predictoras. Beauregard *et al.* (2002), Liu y Zhang (2005) y Álvarez *et al.* (2010) puntualizan que el diámetro, la longitud y la conicidad de la troza son algunas de las variables que inciden en los rendimientos de madera aserrada.

Conocer el rendimiento por clase de madera aserrada obtenida de las especies comerciales y las características de las trozas que permiten hacer una discriminación de los grados o clases de madera son tareas importantes para predecir la producción de tablas de calidad en una región determinada. Esta información es muy útil en la toma de decisiones, como en la comercialización de la trocería o la estimación de la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar y evaluar diferencias significativas en el rendimiento volumétrico por clase de madera aserrada en cuatro especies de pino, y probar la factibilidad de utilizar una función discriminante para separar las calidades de las tablas en función de las características de las trozas en el noroeste del estado de Durango.

Materiales y Métodos

Datos

El estudio se realizó en la Industria Forestal Tezains, propiedad del ejido San Diego de Tezains, municipio Santiago Papasquiaro, Dgo. La empresa se localiza en la Sierra Madre

Introduction

The quality of wood is evaluated in two ways: by its natural characteristics and by the precision of its dimensions (Eleotério *et al.*, 1996). According to Bryant (1996), the yield of the quality grades of sawn lumber obtained from round wood from a particular species is not uniform in the sawmills of a specific region, as there are many factors that can influence the proportion of each grade or class of lumber produced; some of these are log size and quality, the characteristics of the sawn material (length and thickness), as well as the sawing, edging and lathing methods.

Steele *et al.* (1994) and Casado (1997) state that the characteristics of the log affect the quality and volume of the boards, and they identify certain characteristics like diameter, length, conicity and length of the log, which affect the yield of lumber. Thomas (2008) points out that accurate data of the size, shape and location of internal defects of the log are key information for improving the value and quality of the lumber. According to Zhang and Lei (2006), it is possible to predict the yield of lumber based on the characteristics of the trees, obtained directly in the forest sites, as predictive variables. Authors like Beauregard *et al.* (2002), Liu and Zhang (2005) and Álvarez *et al.* (2010) note that the diameter, length and conicity of the log are some of the variables affecting the yield of lumber.

Calculating the output based on the grade of lumber from commercial species and on the characteristics of the logs allowing discrimination between the grades or classes of wood are important tasks to predict the production of high quality boards in a particular region. This information is very useful during the decision-making processes, as well as for commercializing the logs or estimating the availability of sawn wood of a specific quality.

The objectives of the present work were to determine and evaluate significant differences in the volumetric yield by quality grade of lumber in four pine species, and to prove the feasibility of using a discriminant function to separate the qualities of the boards based on the characteristics of the logs in northwestern Durango.

Materials and Methods

Data

The study was carried out at the company named *Industria Forestal Tezains* (Tezains Forest Industry), property of the *San Diego de Tezains* ejido, in the municipality of *Santiago Papasquiaro*, Durango, whose facilities are located in the *Western Sierra Madre* in northwestern Durango. Its

Occidental, al noroeste del estado de Durango; cuenta con un aserradero con una torre principal y reaserradora (sierra cinta) de fabricación nacional marca HULMAQ®, con longitud de volantes de 59.84 pulgadas, ancho de sierras cinta de 8 pulgadas, calibre 17 (1.47 mm.), accionados por motores de 100 HP, un carro porta trozas de 3 escuadras, marca HULMAQ® con dos motores, uno de 10 HP para accionar el avance con 1 425 rpm, y un motor de 7.5 HP de 1 730 rpm para el retroceso. El equipo se complementa por una desorilladora para dimensionar en ancho (12.70-30.48 cm), un *Trimmer* semiautomático y un péndulo para dimensionar las tablas en longitud. El aserradero tiene una capacidad instalada de 120 000 pies tabla por turno de 8 horas; cuenta con 25 obreros, y el principal producto elaborado es la madera aserrada de 7/8", 5/4", 6/4" y 2".

Se analizaron 20 trozas de cada una de las siguientes especies: *Pinus durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. et Cham., *P. teocote* Schltdl. et Cham., y *P. strobiformis* Engelman. Este tamaño de muestra fue estimado con base en la variación del coeficiente de aserrío, considerando 95 % de confiabilidad de la media de una premuestra de 32 trozas (ocho de cada especie), a través de la fórmula utilizada por Barnes (1968):

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Donde:

n = Número de trozas.

t = Valor de t , para un nivel de probabilidad deseado ($n-1$) grados de libertad

CV = Coeficiente de variación (%)

E = Error de muestreo permitido (%)

Las trozas tuvieron una longitud inicial fija de 9.34 metros (30 pies) y fueron seleccionadas al azar de las áreas de corta de la anualidad 2014. Posteriormente, en el patio de almacenamiento, las trozas fueron seccionadas en longitudes de 16, 18 y 20 pies de largo, se intentó tener cierta proporcionalidad en el número de trozas por longitud entre las diferentes especies estudiadas. Posteriormente, cada troza se marcó con pintura para diferenciarlas e identificarlas, y se midieron los diámetros sin corteza en ambos extremos de cada troza.

Con la finalidad de determinar cuáles características de las trozas permiten discriminar las diferentes calidades de las tablas, se midieron, por taxón, las siguientes variables: diámetro promedio, longitud, conicidad, y calidad de la troza. Para la clasificación de la trocería de pino se utilizó la Norma Mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988), mediante la siguiente clasificación: México 1 = primera calidad; México 2 = segunda calidad; México 3 = tercera calidad; México 4 = cuarta calidad; México 5 = quinta calidad. En todos los casos,

infrastructure includes a sawmill with a main tower and a nationally manufactured HULMAQ™ resaw (band saw), with a 59.84 inch long flywheel, 8 inch wide, 17 caliber (1.47 mm) band saws, powered by two 100 HP engines, a HULMAQ™ three-bracket logging carriage with two engines 10 HP one to drive it forward, with 1 425 rpm, and a 7.5 HP one with 1 730 rpm to drive in reverse. This equipment is supplemented with an edger to measure the width (12.70-30.48 cm), a semi-automatic Trimmer and a pendulum to measure the length of the boards. The sawmill has an installed capacity of 120 000 board feet per 8-hour shift; it has 25 workers, and its main product is 7/8", 5/4", 6/4" and 2" lumber.

20 logs of each of the following species were analyzed: *Pinus durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. et Cham., *P. teocote* Schltdl. et Cham. and *P. strobiformis* Engelm. The sample size was estimated based on the variation in the sawing coefficient, with a 95 % confidence interval of the mean of a pre-sample consisting of 32 logs (eight of each species), using the formula utilized by Barnes (1968):

$$n = \frac{t^2 \times VC^2}{E^2}$$

Where:

n = Number of logs.

t = T value for a desired probability level ($n-1$) degrees of freedom

VC = Variation coefficient (%)

E = Permitted sampling error (%)

The logs had a fixed baseline length of 9.34 m (30 feet) and were selected at random from the pruning areas of the year 2014. Subsequently, logs with lengths of 16, 18 and 20 feet were chosen at the storage yard; certain proportionality in the number of logs per length among the various studied species. Each log was marked with paint in order to differentiate between species and identify these; the diameters without the bark were measured at both ends of the logs.

In order to determine the characteristics of the logs that make it possible to discriminate between the different quality grades of the boards, the following variables were considered: species, mean diameter, length, conicity and quality of the log. The Mexican Norm NMX-C-359-1988 (DGN, 1988) was utilized to classify pine logs, according to the following classification: Mexico 1 = first quality grade; Mexico 2 = second quality grade; Mexico 3 = third quality grade; Mexico 4 = fourth quality grade; Mexico 5 = fifth quality grade. In all cases, the logs must have a minimum diameter of length of 25 cm and 2.44 m, respectively. This classification was utilized because it agrees with the criteria used in the region. Table 1 shows the descriptive statistics of the analyzed logs by species.

las trozas deben tener un diámetro y longitud mínimos de 25 cm y de 2.44 m, respectivamente. Se utilizó esta clasificación debido a que coincide con los criterios utilizados en la región. En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos descriptivos por especie de las trozas analizadas.

Afterward, the logs were debarked and sawn in a sawmill with a main band saw tower and a HULMAQ brand resaw with 1.520 m long flywheels, 20.32 cm wide and 17 caliber (1.47 mm) band saws, powered by 100 HP motors. The sawmill has a log carrier car of three squares, HULMAQ brand with two motors,

Cuadro 1. Características descriptivas de las trozas analizadas por especie en el estudio.

Especie	Diámetro (cm)		Longitud (m)		Conicidad		No. de trozas por calidad		
	Media	Std.	Media	Std.	Media	Std.	2º	3º	4º
<i>Pinus leiophylla</i> Schltld. et Cham.	33	6	5.09	0.63	0.23	0.05	5	7	8
<i>Pinus strobiformis</i> Engelman	37	10	4.88	0.84	0.25	0.07	2	8	10
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	44	10	5.00	0.55	0.31	0.07	6	11	3
<i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham.	34	8	4.91	0.61	0.24	0.06	2	11	7

Std = Desviación Estándar

Table 1. Descriptive characteristics of the logs analyzed in the study by species.

Species	Diameter (cm)		Length (m)		Conicity		No. of logs by quality		
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	2 nd	3 rd	4 th
<i>Pinus leiophylla</i> Schltld. et Cham.	33	6	5.09	0.63	0.23	0.05	5	7	8
<i>Pinus strobiformis</i> Engelman	37	10	4.88	0.84	0.25	0.07	2	8	10
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	44	10	5.00	0.55	0.31	0.07	6	11	3
<i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham.	34	8	4.91	0.61	0.24	0.06	2	11	7

Std= Standard Deviation

Después, se procedió con la etapa de descortezado y aserrado de las trozas, que se llevó a cabo en un aserradero con torre principal de sierra cinta y una reaserradora marca HULMAQ, con longitud de volantes de 1.520 m, ancho de las sierras cinta de 20.32 cm y calibre 17 (1.47 mm), accionados por motores de 100 HP. El aserradero cuenta con un carro porta trozas de tres escuadras, marca HULMAQ con dos motores, accionado por un motor para el avance de 10 HP y 1 425 rpm, y para el retroceso utiliza un motor de 7.5 HP y 1 730 rpm. La desorilladora permite dimensionar en ancho (12.70 - 30.48 cm), un Trimmer semiautomático y un péndulo para dimensionar las tablas, en longitud.

Una vez aserrada la madera se clasificó en las clases 2º y mejor, 3º, 4º, 5º, 6º y 7º (cortas dimensiones). Sin embargo, en este trabajo solo se estudiaron las clases 2º y mejor, 3º, 4º, 5º, debido a que fueron las que presentaron un tamaño de muestra aparentemente adecuado para los análisis estadísticos (Cuadro 2). Esta clasificación corresponde a las categorías de la Norma Mexicana NMX-C-224-ONNCCE-2001.

El grosor de las tablas aserradas fue de: 7/8", 5/4", 6/4" (2.22, 3.18 y 3.81 cm), y los tablonés de 3" x 3" y 4" x 4" (7.62

powered by a one for the advance of 10 HP and 1 425 r.p.m., and for the recoil it uses a 7.5 HP motor and gets 1 730 r.p.m. The trimmer allows to dimension width (12.70 - 30.48 cm), and a semiautomatic Trimmer and a pendulum to do it in the length of the tables.

Once the timber was sawn, it was classified in to the following categories: 2nd and better, 3rd, 4th, 5th, 6th and 7th (short dimensions). However, this work studied only the 2nd and better, 3rd, 4th and 5th quality grades because these had an apparently appropriate sample size for the statistical analyses (Table 2). This classification corresponds with the categories of the Mexican Norm NMX-C-224-ONNCCE-2001.

The sawn boards were 7/8", 5/4" and 6/4" (2.22, 3.18 and 3.81 cm) thick, and broad boards were 3" x 3" and 4" x 4" (7.62 x 7.62 and 10.16 x 10.16 cm) thick. The widths of the timber ranged between 3" and 12" (10.16 a 30.48 cm), and their lengths ranged between 8' and 20' (2.4384 to 6.096 m) plus reinforcements. In order to distinguish the classified lumber yielded by each log, a control method based on marking each log with paint was applied. The information was recorded in a control format designed for this purpose.

x 7.62 y 10.16 x 10.16 cm). Los anchos de la madera variaron de 4 a 12" (10.16 a 30.48 cm), y los largos 8 a 20' (2.4384 a 6.096 m) más refuerzos. Para distinguir la madera aserrada y clasificada resultante por troza, se utilizó un método de control basado en pintura colocada en cada troza. La información se registró en un formato de control diseñado para tal efecto.

Métodos

La determinación del rendimiento de madera aserrada obtenida por clase fue mediante la relación entre el volumen de madera en rollo sin corteza en la rampa, antes del asierre y el volumen de madera aserrada por clase resultante (Aguilera *et al.*, 2005; Quirós *et al.*, 2005; Valério *et al.*, 2007). Esta relación se calculó con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V_{ac}}{V_r} \times 100$$

Donde:

- R = Rendimiento de madera aserrada sin corteza (%)
- V_{ac} = Volumen de las tablas aserradas por clase (m³)
- V_r = Volumen de las trozas (m³ rollo)

Para evaluar diferencias significativas entre especies en el rendimiento por clase de madera, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Kruskal y Wallis, 1952), debido a que los datos no se distribuyeron de manera normal.

Para identificar las características que hacen posible la discriminación entre las diferentes clases o grados de madera aserrada se hizo un análisis discriminante, a través del procedimiento *DISCRIM* del sistema SAS/STAT (SAS, 2009). Dicho análisis permite la separación de conjuntos de datos con criterios excluyentes en dos o más grupos (diámetro, conicidad, calidad de la troza, etcétera.) (Khattree y Naik, 2000). La técnica consiste, esencialmente, en reconocer una regla de clasificación que maximice el cociente de grupos de varianza en relación al total de la varianza. Cuando la distribución dentro de cada grupo se asume que es normal multivariada, se puede aplicar un método paramétrico para desarrollar una función discriminante, misma que también es conocida como criterio de clasificación y que se define por medio de una medida de la distancia cuadrada generalizada (Rao, 1973).

El criterio de clasificación considera las probabilidades de separación para cada grupo, y puede usarse como la covarianza individual entre grupos (produce una función cuadrática), o como una matriz agrupada de covarianzas, con lo que se obtiene una función lineal. Cada observación se coloca en la clase, y considera el menor valor de la distancia cuadrada generalizada (SAS, 2009).

Methods

The yield of lumber obtained per quality grade was determined based on the ratio of the volume of debarked round wood on the ramp before sawing and the resulting volume of sawn wood (Aguilera *et al.*, 2005; Quirós *et al.*, 2005; Valério *et al.*, 2007). The formula used was the following:

$$R = \frac{V_{sc}}{V_r} \times 100$$

Where:

- Y = Yield of debarked lumber (%)
- V_{sc} = Volume of sawn boards by quality grade (m³)
- V_r = Log volume (m³ roll)

The evaluation of significant differences between species in the yield by lumber quality grade was carried out using the Kruskal-Wallis non-parametric test (Kruskal and Wallis, 1952), as the data were not normally distributed.

In order to identify the characteristics that discriminate between the different classes or quality grades of lumber, a discriminant analysis was carried out, using the *DISCRIM* procedure of the SAS/STAT system (SAS, 2009). The discriminant analysis allows the disaggregation of sets of data with excluding characteristics in two or more groups (diameter, conicity, and quality of the log, etc.) (Khattree and Naik, 2000). The technique consists essentially in obtaining a classification rule that will maximize the quotient of variance groups in relation to the total of the variance. When the distribution within each group is assumed to be normal multivariate, a parametric method can be used to develop a discriminant function, also known as classification criterion, and it can be determined by means of a generalized squared distance measure (Rao, 1973).

The classification criterion takes into account the probabilities of separation for each group, and can be used as the individual covariance between groups (producing a root mean square function), or as an aggregated covariance matrix (resulting in a linear function). Each observation is carried out for each class, considering the lowest value of the generalized square distance (SAS, 2009).



El análisis discriminante debe realizarse solo cuando las medias de las poblaciones resulten ser estadísticamente diferentes (Álvarez *et al.*, 2003). La instrucción MANOVA del procedimiento DISCRIM se usó para ejecutar el análisis de igualdad de medias (SAS, 2009).

La prueba de normalidad multivariada se aplicó mediante la prueba de Mardia para el sesgo y la kurtosis (Khattree y Naik, 1999), con la herramienta % MULTNORM macro del sistema SAS (SAS, 2009).

El supuesto de matriz de covarianzas comunes fue comprobado con la prueba de radio de verosimilitud en la que se especifica la instrucción POOL=TEST del procedimiento DISCRIM de SAS/STAT (SAS, 2009).

Dado que la calidad del ajuste no necesariamente refleja la calidad de la predicción, lo más deseable sería hacer una evaluación de la tasa de clasificación de la función discriminante con un conjunto independiente de datos (Myers, 1990; Wang *et al.*, 2003; Kozak y Kozak, 2003). Debido a la escasez de tales datos (una muestra independiente), se adoptó el enfoque de validación cruzada. El procedimiento consiste en dejar una observación hacia fuera y la construcción de una regla discriminante para el resto de los datos; dicha regla se utilizó para clasificar la observación que se dejó fuera; esto se repite para cada observación y se cuenta el número de observaciones erróneamente clasificadas para cada población y se calculan los índices de error individuales como las proporciones respectivas (Khattree y Naik, 2000).

El desempeño de las funciones discriminantes de los datos se evaluó con los índices de error (probabilidad de clasificación errónea) para el ajuste y la validación cruzada con el procedimiento de SAS/STAT (SAS, 2009). Las probabilidades *a priori* utilizadas fueron de 0.09, 0.23, 0.26 y 0.42 para las clases de madera 2, 3, 4 y 5, respectivamente de acuerdo a los registros de producción del aserradero.

Resultados y Discusión

Rendimiento volumétrico

El rendimiento de madera aserrada para las cuatro especies estudiadas se presenta en el Cuadro 2. *P. durangensis* presentó el mayor rendimiento en madera aserrada de la clase 2ª y mejor con 6.56 % (27.81 pies tabla por m³), seguida por *P. teocote*, con 4.57 % (19.35 pies tabla por m³). El promedio observado para los cuatro taxa estudiados fue de 3.45 % (14.61 pies tabla por m³). La producción de tablas de calidad tres en *P. leiophylla*, y *P. durangensis* mostró un rendimiento de 14.12 y 11.71 %, respectivamente. *P. teocote* y *P. strobiformis* tuvieron rendimientos volumétricos similares en madera de calidad cinco con 28.55 y 28.38 %, respectivamente.

The discriminant analysis must be performed only when the means of the populations turn out to be statistically different (Álvarez *et al.*, 2003). The MANOVA instruction of the DISCRIM procedure was utilized to carry out the equality of means analysis (SAS, 2009).

The multivariate normality test was carried out using the Mardia's test for the bias and the kurtosis (Khattree and Naik, 1999), together with the macro %MULTNORM tool of the SAS system (SAS, 2009).

The covariance matrix assumption was proved using the plausibility radius; for this purpose, the POOL=TEST instruction of the DISCRIM procedure of SAS/STAT was specified (SAS, 2009).

Since the quality of the adjustment does not necessarily reflect the quality of the prediction, an evaluation of the classification rate of the discriminant function with an independent set of data would be most desirable (Myers, 1990; Wang *et al.*, 2003; Kozak and Kozak, 2003). Because these data (an independent sample) are scarce, the cross-validation approach was adopted. This procedure consists in leaving out an observation and building a discriminant rule for the rest of the data—a rule utilized to classify the observation that was left out. This is repeated for each observation, and, finally, the number of erroneously classified observation for each population is counted, and the individual error indices are estimated in the same manner as the respective proportions (Khattree and Naik, 2000).

The performance of the discriminant functions of the data was evaluated using error indices (likelihood of erroneous classification) for the adjustment and the cross-validation with the SAS/STAT procedure (SAS, 2009). The priors utilized were 0.09, 0.23, 0.26 and 0.42 for the lumber quality grades 2, 3, 4 and 5, respectively, according to the production records of the sawmill.

Results and Discussion

Volumetric yield

The yield of lumber from the four pine species is shown in Table 2. *Pinus durangensis* had the highest lumber yield of the 2nd and better grade, with 6.56 % (27.81 board feet per m³), followed by *P. teocote*, with 4.57 % (19.35 board feet per m³). The mean for the four species was 3.45 % (14.61 board feet per m³). The yield of quality grade 3 boards of *P. leiophylla* and *P. durangensis* was 14.12 and 11.71 %, respectively. *P. teocote* and *P. strobiformis* had similar volumetric yields in lumber of quality grade 5, with 28.55 and 28.38 %, respectively.

Cuadro 2. Rendimiento volumétrico por clase de madera aserrada en porcentaje y en pies tabla por m³ obtenido en cuatro especies de pino.

Especie	Volumen de trozas (m ³)	Rendimiento	2º y mejor (%)	3º (%)	4º (%)	5º (%)	Total
<i>Pinus leiophylla</i> Schtdl. <i>et</i> Cham.	8.64	%	2.09	14.12	10.34	18.29	44.84
		Pies tabla m ⁻³	8.51	57.50	42.13	74.49	182.63
<i>Pinus strobiformis</i> Engelman	10.81	%	0.59	9.13	11.30	28.38	49.40
		Pies tabla m ⁻³	2.79	43.46	53.76	135.08	235.10
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	15.63	%	6.56	11.71	10.95	13.96	43.18
		Pies tabla m ⁻³	27.81	49.66	46.44	59.20	183.11
<i>Pinus teocote</i> Schtdl. <i>et</i> Cham.	9.23	%	4.57	8.64	10.72	28.55	52.48
		Pies tabla m ⁻³	19.35	36.64	45.45	121.03	222.47
Promedio	11.08	%	3.45	10.90	10.83	22.30	47.47
		Pies tabla m ⁻³	14.61	46.815	46.95	97.45	205.82

Table 2. Volumetric yield by quality grade in percentages and in board feet per m³ of the lumber obtained from four pine species.

Species	Log volume (m ³)	Output	2 nd and better (%)	3 rd (%)	4 th (%)	5 th (%)	Total
<i>Pinus leiophylla</i> Schtdl. <i>et</i> Cham.	8.64	%	2.09	14.12	10.34	18.29	44.84
		Board feet m ⁻³	8.51	57.50	42.13	74.49	182.63
<i>Pinus strobiformis</i> Engelman	10.81	%	0.59	9.13	11.30	28.38	49.40
		Board feet m ⁻³	2.79	43.46	53.76	135.08	235.10
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	15.63	%	6.56	11.71	10.95	13.96	43.18
		Board feet m ⁻³	27.81	49.66	46.44	59.20	183.11
<i>Pinus teocote</i> Schtdl. <i>et</i> Cham.	9.23	%	4.57	8.64	10.72	28.55	52.48
		Board feet m ⁻³	19.35	36.64	45.45	121.03	222.47
Average	11.08	%	3.45	10.90	10.83	22.30	47.47
		Board feet m ⁻³	14.61	46.815	46.95	97.45	205.82

Nájera *et al.* (2011) evaluaron el rendimiento volumétrico y la calidad dimensional de la madera de pino en cinco aserraderos de El Salto, Durango, México, y obtuvieron promedios menores a los del presente estudio, con rendimientos de 1.3 %, para la clase 2º y mejor, así como 20.4 %, para la 5ª clase.

En otro trabajo de aserrío de trocería de pino realizado por Zavala y Hernández (2000), se registró un rendimiento promedio de 12 % para la clase 2º y mejor, 18 % para la 3ª, 12 % para la 4ª y 9 % para la clase 5ª, con un rendimiento acumulado de 51 % de madera aserrada. Estos valores son mayores, lo cual se atribuye a la calidad de trocería que se manejó y a los diámetros de 30 a 55 cm (85.05 %), de 25 a 30 cm (3.44 %) y el restante 11.49 % con categoría diamétrica de 55 a 70 cm.

Nájera *et al.* (2011) assessed the volumetric yield and the dimensional quality of pine wood in five sawmills in *El Salto, Durango, Mexico*, and obtained averages below those of the present work, with yields of 1.3 % for the 2nd and better grade and 20.4 % for the 5th grade.

Another study of pine log sawmills by Zavala and Hernández (2000) shows an average yield of 12 % for the 2nd and better grade, 18 % for the 3rd grade, 12 % for the 4th grade, and 9 % for the 5th grade, with an accumulated yield of 51 % of sawn wood. These yields are higher than those of the present research, a difference that may be ascribed to the quality of the logs that were used and to their diameters, which ranged between 30 and 55 cm (85.05 %), and between 25 and 30 cm (3.44 %), while the remaining 11.49 % had diameters of 55 to 70 cm.

En la presente investigación, el rendimiento volumétrico o coeficiente de aserrío de las especies estudiadas varió de 43.18 a 52.48 %. Estos valores son comparables con los registrados por Zavala (1996) y Zavala (1981), en trabajos de aserrío de pino en Durango (40 a 53 %), y con los observados por el mismo autor años después (1987), en aserraderos de Tlaxcala en especies de pino (51 a 52 %). Sin embargo, resultaron inferiores a los de Nájera *et al.* (2012) en trozas de pino en dos aserraderos privados en la región de El Salto, Durango (61.64 %). Las diferencias pueden atribuirse, entre otros factores, a las dimensiones de las trozas (diámetro), conicidad, variaciones de la calibración, nivelación de los volantes y tensionado de la sierra cinta; así como, a la pericia del operador de la sierra cinta principal, que tiene un efecto directo en la variable mencionada.

En este estudio se utilizó una sierra cinta de 20.32 cm (8"), calibre 17, mientras que en los aserraderos citados anteriormente se usó una de 18.4 cm de ancho y calibre 16.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se muestran en el Cuadro 3. Se identificaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento volumétrico por clase de madera aserrada en 14 de los 25 pares evaluados de especies. El análisis indica que *P. durangensis* tuvo el mayor rendimiento volumétrico en la calidad 2ª y mejor, en cambio a *P. strobiformis*, le correspondió el más bajo.

Por otra parte, *P. teocote* y *P. strobiformis* son los que más difieren significativamente en términos de rendimiento volumétrico por clase de madera aserrada, con respecto al resto de los pinos evaluados (9 y 8 casos, respectivamente). El bajo rendimiento de *P. strobiformis* en la clase 2ª y mejor (0.59 %) se atribuye a que en el estado de Durango esta madera es castigada, debido al color veteado rojizo característico en su albura, y ese tono es suficiente para clasificarla como 3ª, 4ª y 5ª.

Los resultados coinciden con los de Erikson *et al.* (2000) en bosques maduros del norte de Idaho, donde se verificaron diferencias en la calidad de madera entre *Pinus contorta* Douglas y *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson. En la primera, más de 65 % de madera aserrada fue de clase 2ª y mejor o selecta, mientras que en la segunda especie aproximadamente 50 % de la madera fue clasificada como de 4ª y 5ª. Los porcentajes son consistentes con el trabajo de Nocetti *et al.* (2010), quienes obtuvieron diferencias significativas entre clases de madera aserrada de seis especies maderables en Italia. En México, hasta el momento de desarrollar este trabajo, no se tenía conocimiento de experiencias que hayan evaluado diferencias en la calidad de la madera aserrada entre especies.

The volumetric yield or sawing coefficient of the studied species ranged between 43.18 % and 52.48 %. These sawing coefficients are comparable to those cited by Zavala (1996) and Zavala (1981), in researches on pine log sawmills in Durango (40 to 53 %), and to those observed by Zavala (1987) in sawmills of Tlaxcala for *Pinus* spp. (51 to 52 %). However, the estimated sawing coefficients estimated for the four pine species studied were lower than those calculated by Nájera *et al.* (2012) for pine logs in two private sawmills located in the El Salto region of Durango (61.64 %). These differences may be attributed, among other factors, to differences in log size (diameter), conicity, or variations in the calibration, the leveling of the flywheels, and the tightening of the band saw, as well as to the expertise of the operator of the main band saw, which has a direct effect on the sawing coefficient.

In this work, a of 20.32 cm (8") wide, 17 caliber band saw was utilized, whereas the previously mentioned sawmills used a 18.4 cm wide, 16 caliber band saw.

Table 3 shows the results of the Kruskal-Wallis test. Significant differences ($P < 0.05$) were estimated for the volumetric yield by lumber quality grade between 14 of the 25 evaluated species pairs. The analysis indicates that *P. durangensis* had the highest volumetric yield for the 2nd and better quality grade; in contrast, *P. strobiformis* had the lowest volumetric yield.

On the other hand, *P. teocote* and *P. strobiformis* are the species with the most significant differences in terms of volumetric yield by sawn wood class in regard to the rest of the studied species (9 and 8 cases, respectively). The low yield registered for *P. strobiformis* in the 2nd and better grade (0.59 %) is ascribed to the fact that in the state of Durango this wood is "penalized" due to the reddish graining of its sapwood, which is enough to classify it under the 3rd, 4th, and 5th grade.

The results coincide with those obtained by Erikson *et al.* (2000) in aged forests of northern Idaho, where differences in wood quality were found between *Pinus contorta* Douglas and *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson. More than 65 % of the sawn wood of the former species was rated as 2nd and better grade or as select, while approximately 50 % of the lumber of the latter species was rated 4th and 5th grade. These values are consistent with those obtained by Nocetti *et al.* (2010), who found significant differences between the classes of lumber of six timber-yielding species in Italy. In Mexico, to the date of the present study, no researches assessing the differences in lumber were found between taxa.



Cuadro 3. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de las comparaciones de las cuatros especies evaluadas.

Clase de madera	Comparación (valor entre paréntesis)	H	Pr> H
2º	<i>P. strobiformis</i> (6.50) - <i>P. leiophylla</i> (12.04)	4.42	0.035
2º	<i>P. durangensis</i> (41.86) - <i>P. leiophylla</i> (39.37)	0.11	0.737
2º	<i>P. leiophylla</i> (13.87) - <i>P. teocote</i> (18.07)	1.51	0.218
2º	<i>P. strobiformis</i> (15.57) - <i>P. durangensis</i> (41.34)	8.49	0.003
2º	<i>P. strobiformis</i> (6.42) - <i>P. teocote</i> (16.65)	8.69	0.003
2º	<i>P. durangensis</i> (42.28) - <i>P. teocote</i> (56.75)	4.79	0.026
3º	<i>P. strobiformis</i> (59.81) - <i>P. leiophylla</i> (67.07)	1.25	0.262
3º	<i>P. durangensis</i> (83.26) - <i>P. leiophylla</i> (86.50)	0.17	0.675
3º	<i>P. leiophylla</i> (72.25) - <i>P. teocote</i> (52.10)	9.79	0.002
3º	<i>P. strobiformis</i> (76.02) - <i>P. durangensis</i> (87.95)	2.40	0.120
3º	<i>P. strobiformis</i> (67.97) - <i>P. teocote</i> (54.80)	4.29	0.038
3º	<i>P. durangensis</i> (92.76) - <i>P. teocote</i> (64.70)	13.32	0
4º	<i>P. strobiformis</i> (54.87) - <i>P. leiophylla</i> (54.03)	0.19	0.888
4º	<i>P. durangensis</i> (67.57) - <i>P. leiophylla</i> (55.66)	3.20	0.073
4º	<i>P. leiophylla</i> (63.11) - <i>P. teocote</i> (54.33)	1.96	0.161
4º	<i>P. strobiformis</i> (58.80) - <i>P. durangensis</i> (76.94)	7.11	0.007
4º	<i>P. strobiformis</i> (71.78) - <i>P. teocote</i> (57.02)	5.28	0.021
4º	<i>P. durangensis</i> (88.05) - <i>P. teocote</i> (54.61)	23.39	0.001
5º	<i>P. strobiformis</i> (136.96) - <i>P. leiophylla</i> (125.60)	1.31	0.251
5º	<i>P. durangensis</i> (107.63) - <i>P. leiophylla</i> (80.79)	11.47	0
5º	<i>P. leiophylla</i> (94.25) - <i>P. teocote</i> (121.40)	9.82	0.002
5º	<i>P. strobiformis</i> (123.83) - <i>P. durangensis</i> (155.11)	10.01	0.002
5º	<i>P. strobiformis</i> (138.57) - <i>P. teocote</i> (166.60)	7.61	0.006
5º	<i>P. durangensis</i> (116.94) - <i>P. teocote</i> (108.22)	1.01	0.314

Table 3. Results of the Kruskal-Wallis test comparing the four evaluated species.

Wood class	Comparison (value in parentheses)	H	Pr> H
2 nd	<i>P. strobiformis</i> (6.50) - <i>P. leiophylla</i> (12.04)	4.42	0.035
2 nd	<i>P. durangensis</i> (41.86) - <i>P. leiophylla</i> (39.37)	0.11	0.737
2 nd	<i>P. leiophylla</i> (13.87) - <i>P. teocote</i> (18.07)	1.51	0.218
2 nd	<i>P. strobiformis</i> (15.57) - <i>P. durangensis</i> (41.34)	8.49	0.003
2 nd	<i>P. strobiformis</i> (6.42) - <i>P. teocote</i> (16.65)	8.69	0.003
2 nd	<i>P. durangensis</i> (42.28) - <i>P. teocote</i> (56.75)	4.79	0.026
3 rd	<i>P. strobiformis</i> (59.81) - <i>P. leiophylla</i> (67.07)	1.25	0.262
3 rd	<i>P. durangensis</i> (83.26) - <i>P. leiophylla</i> (86.50)	0.17	0.675
3 rd	<i>P. leiophylla</i> (72.25) - <i>P. teocote</i> (52.10)	9.79	0.002
3 rd	<i>P. strobiformis</i> (76.02) - <i>P. durangensis</i> (87.95)	2.40	0.120

Continue Table 3...

Continue Table 3..

Wood class	Comparison (value in parentheses)	H	Pr> H
3 rd	<i>P. strobiformis</i> (67.97) - <i>P. teocote</i> (54.80)	4.29	0.038
3 rd	<i>P. durangensis</i> (92.76) - <i>P. teocote</i> (64.70)	13.32	0
4 th	<i>P. strobiformis</i> (54.87) - <i>P. leiophylla</i> (54.03)	0.19	0.888
4 th	<i>P. durangensis</i> (67.57) - <i>P. leiophylla</i> (55.66)	3.20	0.073
4 th	<i>P. leiophylla</i> (63.11) - <i>P. teocote</i> (54.33)	1.96	0.161
4 th	<i>P. strobiformis</i> (58.80) - <i>P. durangensis</i> (76.94)	7.11	0.007
4 th	<i>P. strobiformis</i> (71.78) - <i>P. teocote</i> (57.02)	5.28	0.021
4 th	<i>P. durangensis</i> (88.05) - <i>P. teocote</i> (54.61)	23.39	0.001
5 th	<i>P. strobiformis</i> (136.96) - <i>P. leiophylla</i> (125.60)	1.31	0.251
5 th	<i>P. durangensis</i> (107.63) - <i>P. leiophylla</i> (80.79)	11.47	0
5 th	<i>P. leiophylla</i> (94.25) - <i>P. teocote</i> (121.40)	9.82	0.002
5 th	<i>P. strobiformis</i> (123.83) - <i>P. durangensis</i> (155.11)	10.01	0.002
5 th	<i>P. strobiformis</i> (138.57) - <i>P. teocote</i> (166.60)	7.61	0.006
5 th	<i>P. durangensis</i> (116.94) - <i>P. teocote</i> (108.22)	1.01	0.314

Análisis discriminante

El valor exacto del estadístico F de la prueba Lambda de Wilks para probar la hipótesis de igualdad de medias fue de 7.49 (valor de $p < 0.0001$); por lo tanto, se asumió que las medias poblacionales de las calidades de madera son estadísticamente diferentes. Por otro lado, la prueba de Mardia arrojó probabilidades para el sesgo de 0.056, 0.27, 0.032, y 0.13; en cambio, para la kurtosis de 0.67, 0.85, 0.58 y 0.82, en las clases 2^a, 3^a, 4^a, y 5^a, respectivamente; por ello, se considera aceptable la hipótesis de normalidad multivariada.

Dado que el valor de Chi-Cuadrada (25.03) obtenido en la prueba de igualdad de matrices de covarianza fue significativa al nivel de 0.01 (valor de $p < 0.01$), las matrices de covarianza para las cuatro calidades de madera se consideraron diferentes dentro de la función discriminante.

Los resultados de la función lineal discriminante se resumen en el Cuadro 4. De acuerdo con los resultados, de la validación cruzada, la función lineal discriminante clasificó de manera correcta el 27, 15, 53, y 90 % de las observaciones dentro de las calidades 2^a y mejor, 3^a, 4^a, y 5^a, respectivamente, utilizando a la calidad de troza y al diámetro promedio como variables predictivas o independientes. Un comportamiento semejante se observó en los resultados del ajuste, que sugieren que la función discriminante hace posible separar la madera de clase 5^a con una confiabilidad muy aceptable (Figura 1). Para la clasificación del resto de clases de madera, el modelo debe usarse con precaución o evitar su empleo, ya que la precisión de la función lineal discriminante

Discriminant analysis

The exact value of the F statistic of the Wilks Lambda test to prove the mean equality hypothesis was 7.49 (p value < 0.0001); thus, it was assumed that the population means of the wood qualities are statistically different. On the other hand, the Mardia test yielded probabilities for the bias of 0.056, 0.027, 0.032, and 0.13 and for the kurtosis of 0.67, 0.85, 0.58 and 0.82, in the 2nd, 3rd, 4th, and 5th classes, respectively. Therefore, the hypothesis of multivariate normality is considered acceptable.

Because the Chi-Square value (25.03) obtained in the equality of covariance matrices test was significant at the level of 0.01 (p value < 0.01), the covariance matrices for the four wood qualities were considered to be different within the discriminant function.

Table 4 shows the values of the discriminant linear function. According to the cross-validation, the discriminant linear function correctly classified 27, 15, 53, and 90 % of the observations as of 2nd and better, 3rd, 4th and 5th grade, respectively, when the log quality and mean diameter were used as predictive or independent variables. A similar behavior was observed in the results of the adjustment. This suggests that the discriminant function can be utilized to separate the 5th grade lumber with a very acceptable level of reliability (see aggregation of observations for the 5th quality grade in Figure 1). In order to classify the remaining lumber quality grades, the model must be either used with caution or avoided altogether, as the precision of the discriminant linear function turned out not to be sufficiently adequate, especially for separating the 2nd and better grade from the 3rd grade.

resultó no ser suficientemente precisa, en particular para separar las clases 2ª y mejor y 3ª.

Resultados similares fueron identificados por Zavala y Hernández (2000), quienes registraron una relación directa entre la calidad de las trozas y la calidad de la madera aserrada de seis especies de pino en un aserradero de San Pedro El Alto, Zimatlán, Oax. También son consistentes con los de Breinig *et al.* (2015), autores que documentan buenos ajustes para algunas clases de tablas, a través de una función lineal discriminante, mientras que para otras clases se observaron desviaciones considerables.

La baja confiabilidad del modelo para la discriminación de estas clases estaría asociada a los bajos rendimientos de madera aserrada producidos por la muestra evaluada (3 y 10 %, respectivamente), por lo que, el tamaño de muestra utilizado para estas clases pudo ser insuficiente, y por tanto, se recomienda que en futuros trabajos se pruebe el modelo con un tamaño de tablas mayor a estas dos clases. Además, las diferencias significativas observadas en el rendimiento volumétrico por clase de madera aserrada, mediante la prueba de Kruskal-Wallis indicaría la necesidad de emplear una función discriminante de manera separada para cada especie (Craig *et al.*, 2005).

Similar results are documented by Zavala and Hernández (2000), who registered a direct relationship between log quality and the quality of the sawn wood of six pine species in a sawmill in *San Pedro El Alto, Zimatlán, Oaxaca*. These results are also consistent with those of Breinig *et al.* (2015), who obtained good adjustments for the classification of certain board quality grades using a discriminant linear function, while major deviations were observed for other grades.

The low reliability of the model for discrimination between these grades may be associated to the low yield of lumber produced by the assessed sample (3 % and 10 %, respectively): the sample size used for these classes may have been insufficient. Therefore, in future researches it is recommended to try the model with a larger board size for these two lumber quality grades. Also, the significant differences observed in the volumetric yield per grade of lumber in the studied species with the Kruskal-Wallis test would indicate the need to use the discriminant function separately for each species (Craig *et al.*, 2005).



Cuadro 4. Porcentaje de madera clasificada dentro de cada clase a través del uso de la función lineal discriminante.

Clase de madera	Porcentaje de predicción por clase obtenida en el ajuste				Porcentaje de predicción por clase obtenida en la validación cruzada			
	2ª y mejor	3ª	4ª	5ª	2ª y mejor	3ª	4ª	5ª
2ª y mejor	33.3	13.3	33.3	20.0	26.7	13.3	33.3	26.7
3ª	10.0	20.0	30.0	40.0	15.0	15.0	30.0	40.0
4ª	50.3	10.5	57.9	26.3	5.3	15.8	52.6	26.3
5ª	0	0	10	90	0	0	10.0	90.0

Table 4. Percentage of classified lumber within each grade using the discriminant linear function.

Lumber quality grade	Percentage of prediction by grade obtained in the adjustment				Percentage of prediction by grade obtained in the cross-validation			
	2 nd and better	3 rd	4 th	5 th	2 nd and better	3 rd	4 th	5 th
2 nd and better	33.3	13.3	33.3	20.0	26.7	13.3	33.3	26.7
3 th	10.0	20.0	30.0	40.0	15.0	15.0	30.0	40.0
4 th	5.3	10.5	57.9	26.3	5.3	15.8	52.6	26.3
5 th	0	0	10.0	90.0	0	0	10.0	90.0



El Cuadro 5 muestra la estimación de los parámetros de la función lineal discriminante para las cuatro clases de madera aserrada.

Cuadro 5. Estimación de los parámetros de las funciones lineales discriminantes.

Clase de madera aserrada	Inicio	CT	DP
2ª y mejor	-39.405	13.973	0.886
3ª	-39.509	15.438	0.823
4ª	-38.145	15.708	0.766
5ª	-47.999	18.389	0.821

CT = Calidad de la troza; DP = Diámetro promedio.

El uso de la función discriminante para la clasificación de una tabla dentro de alguna de las clases estudiadas se basa en la siguiente ecuación, resuelta por clase de madera aserrada:

$$D_i = b_{i0} + b_{i1}X_1 + b_{i2}X_2$$

Donde:

- D_i = Porcentaje de discriminación calculada para la clase de madera de la tabla
- i, X_1 y X_2 = Variables predictivas (calidad de troza y diámetro promedio, respectivamente)
- $b_{i0}..b_i$ = Valores estimados de los parámetros de la función lineal discriminante para la clase de madera i (Cuadro 4). Cada observación se asigna al grupo con el valor máximo de D_i

La Figura 1 ilustra una expresión gráfica de la función discriminante y muestra que los valores medios de las variables calidad y diámetro promedio de la troza pueden usarse para clasificar una nueva tabla dentro de una de las cuatro clases de madera estudiadas, principalmente, la función discriminante funciona bien para la madera de clase 5ª.

Table 5 shows the estimated parameters of the discriminant linear function for the four lumber quality grades.

Table 5. Estimation of the parameters of the discriminant linear functions.

Lumber quality grade	Start	LQ	MD
2 nd and better	-39.405	13.973	0.886
3 rd	-39.509	15.438	0.823
4 th	-38.145	15.708	0.766
5 th	-47.999	18.389	0.821

LQ = Log quality; MD = Mean diameter.

The use of the discriminant function for the classification of a board of one of the studied grades is based on the following equation, solved by lumber quality grade:

$$D_i = b_{i0} + b_{i1}X_1 + b_{i2}X_2$$

Where:

- D_i = Discrimination percentage estimated for the lumber quality grade of the board
- i, X_1 and X_2 = Predictive variables (log quality and mean diameter, respectively)
- $b_{i0}..b_i$ = Estimated values of the parameters of the discriminant linear function for the lumber quality grade i (Table 4). Each observation is assigned to the group with the maximum D_i value

Figure 1 illustrates a graphic expression of the discriminant function and shows that the average values of the log quality and mean diameter variables can be utilized to classify a new board within one of the four studied lumber quality grades; the discriminant function works well mainly for the 5th lumber grade.



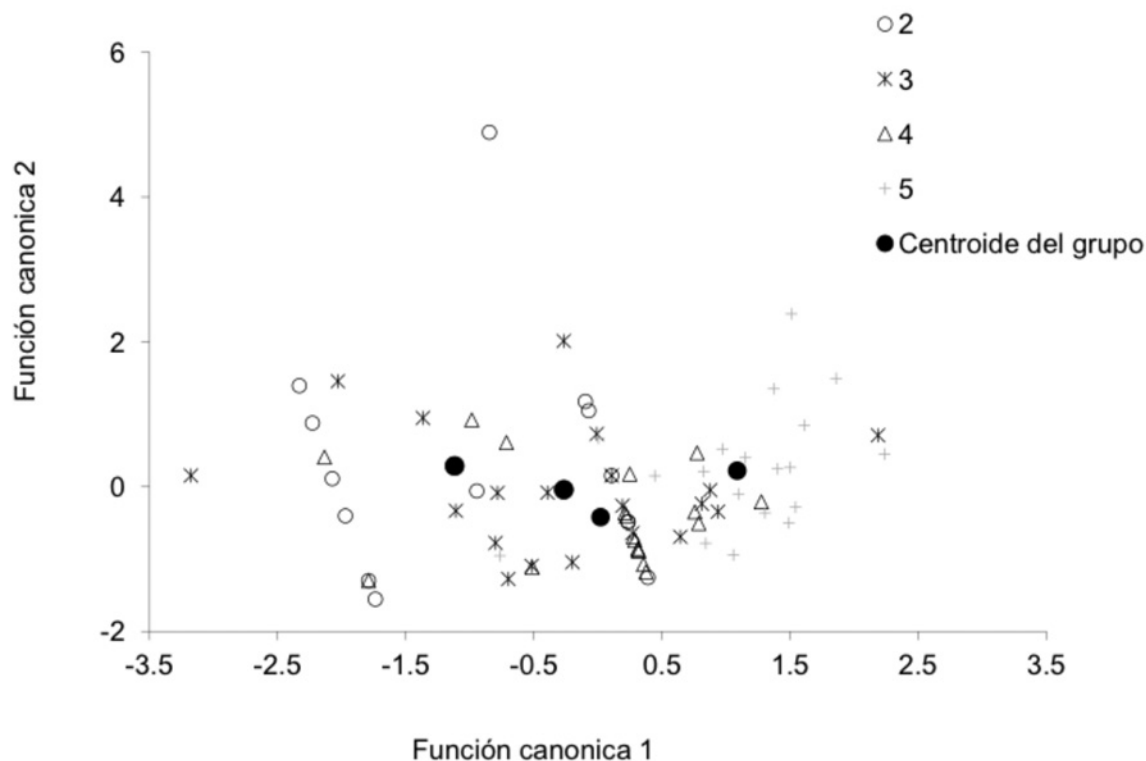


Figura 1. Clasificación gráfica de tablas de pino mediante la función lineal discriminante.

Figure 1. Graphic classification of the pine boards using the discriminant function.

Conclusiones

Pinus durangensis registró el mayor rendimiento de madera aserrada de clase 2ª y mejor, mientras que *Pinus strobiformis* obtuvo el más bajo. La especie tuvo un efecto significativo en el rendimiento por clase de madera. Las variables calidad y diámetro promedio de trozas de pino resultaron buenos predictores de tablas de calidad 5ª, dentro de una función lineal discriminante. La baja confiabilidad del modelo discriminante para separar las clases 2ª y mejor y 3ª, podría estar asociada con la poca abundancia de tablas de estas dos calidades.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Conacyt por el apoyo financiero (105524) proporcionado para estudiar en el programa Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales (DICAF). Las observaciones de un revisor anónimo contribuyeron a mejorar significativamente la versión final de este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Conclusions

Pinus durangensis showed the highest yield of lumber of the 2nd and better lumber quality grade, while *P. strobiformis* had the lowest yield. The pine species had a significant effect on the yield by lumber grade. The log quality and mean diameter variables turned out to be good predictors for boards of the 5th grade, within a discriminant linear function. It is advisable to study the effect of the sample size by lumber grade, as the low reliability of the discriminant model obtained for separating the 2nd and better grade from the 3rd grade may be associated to the scarce abundance of boards of these two quality grades.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to Conacyt for the financial support (105524) provided for studying the *Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales* (DICAF). The observations by an anonymous reviewer contributed to significantly improve the final version of this paper.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



Contribución por autor

Rolando Orozco Contreras: conceptualizó el diseño de la investigación y la selección del sitio, recolección de los datos de campo, así como su procesamiento y análisis, elaboración del manuscrito; José Ciro Hernández Díaz: diseño de la investigación y escritura del documento; Juan Abel Nájera Luna: discusión de los resultados; Pedro Antonio Domínguez Calleros: diseño de la investigación y escritura del documento; José Rodolfo Goche Telles: diseño de la investigación y colaboración en la escritura del manuscrito; Pablito Marcelo López Serrano: análisis estadístico y escritura del manuscrito; José Javier Corral Rivas: asistencia para el diseño de la investigación, análisis estadístico y escritura del documento.

Referencias

Aguilera, A., L. Inzunza, R. Alzamora y L. Tapia. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque* 26(2):107-114.

Álvarez, D., F. A. Egas, I. Estévez, P. Chávez y J. M. García. 2003. Análisis matemático para elevar la eficiencia en los aserraderos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1):89-94.

Álvarez, D., I. Estévez, A. Domínguez, O. García, J. Alaejos and J. C. Rodríguez. 2010. Improvement of the lumber recovery factory with low environmental impact in Pinar del Río, Cuba. *The International Forestry Review* 12(5): 303.

Barnes, R. 1968. *Motion and time study: design and measurement of work*. John Wiley & Sons. New York, NY, USA. 799 p.

Beauregard, R. L., R. Gazo, and R. D. Ball. 2002. Grade Recovery, Value, and Return-to-Log for the Production of NZ Visual Grades (Cuttings and Framing) and Australian Machine Stress Grades. *Wood and Fiber Science* 34(4): 455-502.

Breinig, L., R. Leonhart, O. Broman, A. Manuel, F. Brüchert and G. Becker. 2015. Classification of wood surfaces according to visual appearance by multivariate analysis of wood feature data. *Journal of Wood Science*. 61(2): 89-112. Doi:10.1007/s10086-014-1410-6.

Bryant, R. C. 1996. *Lumber, its manufacture and distribution*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA 535 p.

Casado, M. M. 1997. *Tecnología de las industrias forestales. Tomo I. Serie Forestal 26*. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Valladolid, España. 191 p.

Craig, T. B., P. H. Steele and V. O. Harding. 2005. Accelerated statistical prediction of lumber grades and part yields. *Forest Products Journal* 55(7-8):28-34.

Dirección General de Normas (DGN). 1988. Norma Mexicana NMX-C-359 - 1988. *Industria Maderera - Trocería de Pino - Clasificación*. DGN. SECOFI. México, D. F., México. 23 p.

Eleotério, J., R. L. Storck y S. J. Lopes. 1996. Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. *Ciencia Florestal* 6(1):89-99.

Erikson, R. G., T. M. Gorman, D. W. Green and D. Graham. 2000. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine, and grand fir trees from northern Idaho. *Forest Products Journal* 50(7-8): 59-65.

Kozak, A. and R. Kozak. 2003. Does cross-validation provide additional information in the evaluation of the regression models? *Canadian Journal of Forest Research* 33: 976-987.

Khattree, R. and D. N. Naik. 1999. *Applied multivariate statistics with SAS software*. SAS Institute. Cary, NC and J. Wiley & Sons. New York, NY, USA. 338 p.

Khattree, R. and D. N. Naik. 2000. *Multivariate data reduction and discrimination with SAS® Software*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 558 p.

Kruskal W. H. and W. Wallis A. 1952. Source: *Journal of the American Statistical Association* 47(260): 583- 621.

Liu, C. and S. Y. Zhang. 2005. Models for predicting product recovery using selected tree characteristics of black spruce. *Canadian Journal Forest Resources* 35: 930-937.

Contribution by author

Rolando Orozco Contreras: design of the research and site location, field data collection, their processing and analysis, writing of the manuscript; José Ciro Hernández Díaz: design of the research and writing of the manuscript; Juan Abel Nájera Luna: discussion of results; Pedro Antonio Domínguez Calleros: design of the research and writing of the manuscript; José Rodolfo Goche Telles: design of the research and support in writing of the manuscript; Pablito Marcelo López Serrano: statistical analysis and writing of the manuscript; José Corral Rivas: help in the design of the research, statistical analysis and writing of the manuscript.

End of the English version

Myers, R. H. 1990. *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press. Belmont, CA, USA. 488 p.

Nájera L., J. A., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G., J. Jiménez P., E. Jurado Y., J. J. Corral R. y B. Vargas L. 2011. Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4): 75-89.

Nájera L., J. A., G. H. Adame V., J. Méndez G., B. Vargas L., F. Cruz C., F. J. Hernández C. y G. Aguirre C. 2012. Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* (55): 11-23.

Nocetti, M., M. Bacher, M. Brunetti, A. Crivellaroand and J. W. G. van de Kuilen. 2010. Machine grading of Italian structural timber: preliminary results on different wood species. *Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree. Sesto Fiorentino, FI, Italy*. 8 p.

Quirós, R., O. Chinchilla y M. Gómez. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense* 29(2): 7-15.

Rao, C. R. 1973. *Linear statistical inference and its applications*. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA. 656 p.

Statistical Analysis System (SAS). 2009. *SAS/STAT® 9.2 Users Guide. 2nd edition*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 7869 p.

Steele, P. H., T. E. G. Harless, F. G. Wagner, L. Kumar and F. W. Taylor. 1994. Increased lumber value from optimum orientation of internal defects with respect to sawing pattern in hardwood sawlogs. *Forest Products Journal* 44(3): 69-72.

Thomas, E. 2008. Predicting internal Yellow-Poplar log defect features using surface indicators. *Wood and Fiber Science* 40(1): 14 - 22.

Valério, Á. F., L. F. Watzlawick, R. T. Dos Santos, C. Brandeleroand e H. Koehler. 2007. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. *Floresta* 37(3):387-397.

Wang, S. Y., Ch. J. Linand Ch. and M. Chiu. 2003. Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of Taiwania (*Taiwania cryptomerioides*) planted in the Lu-Kuei area. *Journal of Wood Science* 49:444-449.

Zavala Z., D. 1981. *Analysis of the sawmilling practices in the State of Durango, México*. Thesis of Master of Science. The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada. 91 p.

Zavala Z., D. 1987. Análisis del coeficiente de aprovechamiento en dos aserraderos del Estado de Tlaxcala. *Reunión de Investigación Forestal y Agropecuaria de Tlaxcala. Inifap. CIFAPTILAX. Tlaxcala, Tlax., México*. pp. 52-62.

Zavala, D. 1996. Coeficiente de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Revista Ciencia Forestal en México* 21(79):165-181.

Zavala Z., D. y C. R. Hernández. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6(2):41-55.

Zhang, S. Y. and Y. Lei. 2006. Modelling the relationship of tree- level product value with tree characteristics in Black Spruce. *Forest Chronicle* 82(5): 690-699.