

# INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL

NÚMERO 1:  
MADERA ASERRADA DE PINUS ELLIOTTII/TAEDA

LEANDRO DOMENECH, VANESA BAÑO, HUGO O'NEILL Y LAURA MOYA



INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL  
Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL  
Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

L. Domenech, V. Baño, H. O'Neill y L. Moya

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República  
Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)  
Facultad de Arquitectura – Universidad ORT

Montevideo, Uruguay

ISBN: 978-9974-0-1531-9



## Contenido

Prólogo .....	3
1. Introducción .....	3
1.1. Clasificación por resistencia de madera y el sistema de clases resistentes .....	3
1.2. Relación entre calidad visual y clases resistentes .....	3
1.3. Objeto .....	4
2. Materiales y métodos .....	4
3. Clasificación visual .....	4
3.1. Medición de las singularidades .....	4
3.2. Metodología de análisis de los parámetros y asignación a una calidad visual .....	5
3.3. Propuesta de calidades visuales y límites de las singularidades.....	5
4. Determinación de los valores característicos de las propiedades.....	8
5. Conclusiones .....	13
Bibliografía .....	13
Anexo A: Distribuciones de muestras de cada propiedad .....	14

## Prólogo

El presente informe se realizó a partir de los resultados obtenidos en el proyecto “Documentos técnicos base para la normalización de estructuras y construcción con madera” (Fondo Industrial DNI 2013). Tiene como objeto presentar y analizar dos propuestas de clasificación visual estructural de pinos uruguayos y servir como base de la norma “UNIT 1261: Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual - Madera de pino taeda y pino ellioti (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*)”.

## 1. Introducción

### 1.1. Clasificación por resistencia de madera y el sistema de clases resistentes

Para ser usada con fines estructurales en arquitectura e ingeniería civil, la madera debe ser previamente clasificada a partir de valores de resistencia, rigidez y densidad. La clasificación permite controlar la presencia, el tamaño, la ubicación y la frecuencia de distintas singularidades de la madera, y también los defectos generados por procesos de manufactura de una pieza de madera, que inducen una disminución de sus propiedades mecánicas y elásticas.

El objetivo de la clasificación estructural es asegurar que una determinada pieza de madera, que será utilizada como componente estructural, tenga la capacidad para resistir las cargas de diseño. Si bien la clasificación por resistencia puede ser realizada por diversas técnicas, como pueden ser la clasificación mecánica o la visual, que incluso se utilizan en forma combinada, la clasificación visual es la más comúnmente utilizada.

Debido a la alta variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes especies de madera, y de las mismas especies con diferentes procedencias, que complejizan la tarea de clasificación, los países desarrolladores de la tecnología de construcción con madera crearon los denominados sistemas que agrupan especies con propiedades físico-mecánicas similares. En la normativa europea, el sistema adoptado es el de “clases resistentes”. Cada clase resistente cuenta con un conjunto de propiedades estructurales, en la cual se agrupan poblaciones o lotes de madera con propiedades similares.

### 1.2. Relación entre calidad visual y clases resistentes

La pieza de madera es clasificada en una “calidad visual” de acuerdo a unos criterios limitantes de singularidades y defectos visuales, o es rechazada. Cada calidad visual definida en una norma nacional/regional tiene su correspondencia en una clase resistente del sistema de clases resistentes de la norma UNE-EN 338 (2016), la cual presenta los valores característicos de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad.

Por tanto, una norma de clasificación visual permite estimar la calidad visual de una pieza de madera, y a partir de esa calidad asignarle a dicha pieza un conjunto de propiedades mecánicas, elásticas y densidad.

### 1.3. Objeto

Este documento presenta dos propuestas de clasificación visual para la madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda* de procedencia uruguaya, de acuerdo a los lineamientos de la normativa europea, y presenta los valores característicos de sus propiedades físicas y mecánicas.

El presente trabajo focalizó el análisis en la base de datos del proyecto PR-FMV-2009-1-2772 (Fondo María Viñas 2009), la cual fue estudiada de acuerdo a los lineamientos del cuerpo normativo europeo.

## 2. Materiales y métodos

La base de datos analizada corresponde a 261 piezas de madera aserrada de especies mezcladas de pino procedente de dos plantaciones comerciales de Uruguay: la primera situada en el litoral, con árboles de 25 años de edad, y la segunda localizada en el suroeste, con árboles de 15 años. La composición de especies en ambas plantaciones fue similar: aproximadamente 90% de *Pinus elliotti* y 10% de *Pinus taeda*.

En base a los requisitos de la norma EN 384 (2010) se consideraron, para el análisis de datos y cálculo de valores característicos, dos muestras independientes, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de piezas ensayadas por procedencia, tamaño y edad

N° de muestra	Procedencia	Sección media (mm)	Edad	N° probetas
1	Litoral	49x146	25 años	115
2	Suroeste	49x148	15 años	146
<b>Total</b>				<b>261</b>

## 3. Clasificación visual

### 3.1. Medición de las singularidades

La medición de las singularidades se realizó en “estado seco” (CS o DG-Dry Graded), esto es a contenidos de humedad (CH) inferiores o iguales al 20%. La medición de las singularidades se realizó de acuerdo con el informe final del proyecto “Documentos Técnicos Base para la normalización de las estructuras y de la construcción con madera” (Baño et al. 2015), con las siguientes salvedades en relación con la medición de las deformaciones:

#### 3.1.1. Curvatura de cara, combado o arqueadura

La curvatura de cara, combado o arqueadura,  $X_2$ , se evalúa como la deformación máxima (en mm) en la cara de la pieza en un tramo de 2 m de longitud,  $X_2^{max}$ . Si la longitud de la pieza,  $L$  (en m), es inferior a 2 m, se debe medir entre los extremos de la misma,  $X$ , y calcular la curvatura de cara referida a 2 m,  $X_2$ , según la ecuación siguiente:

$$X_2 = \begin{cases} X_2^{max} & \text{si } L \geq 2 \text{ m} \\ X \left(\frac{2}{L}\right)^2 & \text{si } L < 2 \text{ m} \end{cases}$$

### 3.1.2. Curvatura de canto, encorvado o encorvadura

La curvatura de canto, encorvado o encorvadura,  $Y_2$ , se evalúa como la deformación máxima (en mm) en la cara de la pieza en un tramo de 2 m de longitud,  $Y_2^{max}$ . Si la longitud de la pieza,  $L$  (en m), es inferior a 2 m, se debe medir entre los extremos de la misma,  $Y$ , y calcular la curvatura de cara referida a 2 m,  $Y_2$ , según la ecuación siguiente:

$$Y_2 = \begin{cases} Y_2^{max} & \text{si } L \geq 2 \text{ m} \\ Y \left(\frac{2}{L}\right)^2 & \text{si } L < 2 \text{ m} \end{cases}$$

### 3.1.3 Torcedura o alabeo

La torcedura o alabeo,  $Z_2$ , se evalúa como la deformación máxima (en mm) en la cara de la pieza en un tramo de 2 m de longitud,  $Z_2^{max}$ . Si la longitud de la pieza,  $L$  (en m), es inferior a 2 m, se debe medir entre los extremos de la misma,  $Z$ , y calcular la curvatura de cara referida a 2 m,  $Z_2$ , según la ecuación siguiente:

$$Z_2 = \begin{cases} Z_2^{max} & \text{si } L \geq 2 \text{ m} \\ Z \left(\frac{2}{L}\right)^2 & \text{si } L < 2 \text{ m} \end{cases}$$

## 3.2. Metodología de análisis de los parámetros y asignación a una calidad visual

Los parámetros visuales fueron analizados estadísticamente mediante la programación de un algoritmo matemático desarrollado en el software MATLAB (Mathworks, 2012), tal y como se define en Baño et al. (2015) y siguiendo los criterios de la norma EN 384 (2010).

Dicho algoritmo determina los valores característicos de las propiedades físico-mecánicas de la población para un subconjunto de combinaciones de límites de aceptación de las singularidades de la madera. Una vez realizado esto, el algoritmo filtra las combinaciones de límites de aceptación de singularidades que mantengan un número mínimo de 40 probetas por procedencia y cuyas propiedades mecánicas correspondan a una clase resistente C14 de acuerdo a la norma UNE-EN 338:2016. Para cada combinación de límites de aceptación de singularidades, el algoritmo el subconjunto de piezas rechazadas en la definición de la primera calidad visual y aplica nuevamente el procedimiento con el fin de definir una segunda calidad visual.

### 3.3. Propuesta de calidades visuales y límites de las singularidades

En el presente informe se presenta el análisis de los datos considerando dos opciones de clasificación visual estructural: i) una propuesta de una única calidad visual (EC7); y ii) otra propuesta de dos calidades visuales (EC1 y EC0). La Tabla 2 presenta la propuesta de especificaciones de las singularidades de la madera si se considera una única calidad visual denominada “EC7” (Moya et al. 2017; Baño et al. 2015) de piezas de sección rectangular de madera de *Pinus elliottii/taeda* de procedencia uruguaya de sección media 49x147 mm, en base a las dos muestras analizadas. La Tabla 3 presenta la propuesta de especificaciones considerando la existencia de dos calidades visuales (EC1 y EC0).

Tabla 2. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular (49x147 mm) de *P.elliottii/taeda* de acuerdo a una única calidad visual EC7

<b>CRITERIOS DE CALIDAD</b>	<b>CALIDAD VISUAL EC7</b>
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 2/5 h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/5 b$
Presencia de médula	Permitida
Dirección de las fibras	Desviación menor que 1:6
Anchura máxima de los anillos de crecimiento	-
Fendas de secado pasantes / Rajaduras	$\leq 1,0 m$ ó $\leq (1/4)L$
Fendas de secado no pasantes / Grietas	$\leq 1,5 m$ ó $\leq (1/2)L$
Fendas/Fisuras de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas
Bolsas de resina y entrecasco	$\leq 2 h$
Madera de reacción: compresión	-
Arista faltante	$\leq (1/5) b$ ; $o \leq (1/5) h$
Alteraciones biológicas:	
- Azulado	Permitido
- Hongos de pudrición	No permitido
- Galerías de insectos	Diámetro de los orificios $< 2 mm$
Deformaciones:	
- Curvatura de cara, combado o arqueadura	$\leq 12 mm$
- Curvatura de canto o encorvadura	$\leq 9 mm$
- Alabeo o torcedura	$\leq 1,5 mm$ por cada 25 mm de h
- Abarquillado o acanaladura	-

Tabla 3. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular (49x147 mm) de *P.elliottii/taeda* de acuerdo a dos calidades visuales EC1 y EC0

CRITERIOS DE CALIDAD	CALIDAD VISUAL EC1	CALIDAD VISUAL EC0
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 1/4 h$	$d \leq 2/3 h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/3 b$	$d \leq 3/4 b$
Presencia de médula	Permitida	
Dirección de las fibras	Desviación $\leq 1:8$	Desviación $\leq 1:6$
Ancho máximo del anillo de crecimiento	Sin limitación	
Fendas de secado pasantes / Rajaduras	$\leq 0,75 m$ o $\leq (1/4)L^a$	
Fendas de secado no pasantes / Grietas	$\leq 1,5 m$ o $\leq (1/2)L$	
Fendas/Fisuras de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas	
Bolsas de resina y entrecasco	$\leq 1,5 h$	
Madera de reacción: compresión	Sin limitación	
Alteraciones biológicas:		
- Azulado	Permitido	
- Hongos de pudrición	No permitido	
- Galerías de insectos	Diámetro de los orificios $< 2 mm$	
Deformaciones:		
- Curvatura de cara, combado o arqueadura	$\leq 8 mm$	$\leq 16 mm$
- Curvatura de canto o encorvadura	$\leq 8 mm$	$\leq 16 mm$
- Alabeo o torcedura	$\leq 1 mm$ por cada 25 mm de h	$\leq 2 mm$ por cada 25 mm de h
- Abarquillado o acanaladura	-	-
Arista faltante	$\leq 1/4 h$	$\leq 1/3 h$

<sup>a</sup> En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces el ancho de la tabla

De acuerdo al criterio de clasificación visual presentado en la Tabla 2, las piezas pertenecientes a las dos muestras estudiadas y para la sección definida, fueron clasificadas como madera estructural de *P.elliottii/taeda* con una calidad visual “EC7”. La Tabla 4 muestra el número de piezas clasificadas y el porcentaje de rechazo para dicha calidad.

De acuerdo al criterio de clasificación visual presentado en la Tabla 3, las piezas pertenecientes a las dos muestras estudiadas y para la sección definida, fueron clasificadas como madera estructural de *P.elliottii/taeda* con dos calidades visuales “EC1” y “EC0”. La Tabla 5 muestra el número de piezas clasificadas y el porcentaje de rechazo para ambas calidades.



Tabla 4. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo en función de la procedencia y sección para la calidad visual EC7

Muestra	Clasificadas EC7	Rechazadas	% de rechazo
1	58	57	49,6
2	42	104	71,2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>161</b>	<b>61,7</b>

Tabla 5. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo en función de la procedencia y sección para las calidades visuales EC1 y EC0

Muestra	Clasificadas EC1	Clasificadas EC0	% de rechazo EC1	% de rechazo EC0
1	47	41	59,1	64,3
2	41	75	71,9	48,6
<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>116</b>	<b>66,3</b>	<b>55,6</b>

A modo de resumen, se presentan, en la Tabla 6, los porcentajes de rechazo por muestra para la nueva propuesta de dos calidades versus la propuesta inicial de una única calidad.

Tabla 6. Porcentajes de rechazo por muestra y por calidad

MUESTRA	CALIDAD ÚNICA		DOS CALIDADES		
	EC1	EC0	EC1	EC0	EC1+EC0
1	49,6 %	41,0 %	59,1 %	64,3 %	23,5 %
2	71,2 %	67,2 %	71,9 %	48,6 %	20,5 %
<b>Población (1+2)</b>	<b>61,7 %</b>	<b>54,3 %</b>	<b>66,3 %</b>	<b>55,6 %</b>	<b>21,8 %</b>

Se observa que, aunque la nueva propuesta de dos calidades disminuye significativamente el porcentaje de rechazo de la población (21,8% en las dos calidades, frente a 61,7% en la propuesta de una calidad única), el porcentaje de rechazo de la calidad EC1 se ve incrementado, principalmente en la muestra 1 (59,1% frente a 49,6%), siendo ésta la calidad que tendrá mayor versatilidad de usos desde el punto de vista estructural.

#### 4. Determinación de los valores característicos de las propiedades

En la Tabla 7 se presentan los valores característicos de las propiedades de la población de pino taeda y pino elliotti, clasificada visualmente como EC7, y en la Tabla 8 los valores característicos de la madera clasificada como EC1 y EC0, para su uso en el cálculo estructural. Estos valores característicos son válidos para piezas sometidas a cargas perpendiculares a sus cantos.

Tabla 7. Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de pino taeda y pino elliotti clasificada visualmente como EC7

Propiedad	Valor característico
Resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	14,63
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	7,04
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	426
5° percentil de la densidad, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	348

Tabla 8. – Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de pino taeda y pino elliotti clasificada visualmente como EC1 y como EC0

Propiedad	Valor característico	
	EC1	EC0
Resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	15,52	11,01
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	7139	5327
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	421	392
5° percentil de la densidad, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	365	332

En base a los valores característicos de resistencia a flexión, módulo de elasticidad paralelo a la fibra y densidad mostrados en las Tabla 7 y 8, se puede asignar, a las calidades visuales EC7 y EC1, una clase resistente C14, que corresponde a la menor clase resistente establecida en la norma UNE-EN 338:2016. La calidad visual EC0, mostrada en la Tabla 8 no se corresponde con ninguna clase resistente de la citada norma, ya que presenta valores característicos inferiores a los correspondientes a la clase resistente inferior especificada.

Los valores característicos de la población fueron calculados de acuerdo con lo establecido en la Norma EN 384:2010. En las Tablas 9, 10 y 11 se especifican los coeficientes correctores aplicados a cada una de las propiedades de cada muestra para la obtención de los valores característicos de la población para las calidades EC7, EC1 y EC0, respectivamente.

Tabla 9. Valores de ensayo por muestra y valores característicos de la calidad visual EC7

Especie	P. ellioti/P. taeda	
	Litoral	Suroeste
Procedencia	EC7	EC7
Clasificación visual	EC7	EC7
Número de probetas de cada muestra	58	42
Ancho (mm)	146	148
Espesor (mm)	49	49
Contenido de humedad medio de cada muestra H (%)	11,9	11,2
Resistencia a flexión media de la muestra, $f_{mean}$ (N/mm <sup>2</sup> )	46,4	30,0
Coefficiente de variación, COV (%)	37,2	30,7
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	19,4	14,7
Factor de ajuste	1,011	1,012
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión ajustado por el coeficiente de altura, $f_{05,ajustado}$ (N/mm <sup>2</sup> )	19,6	14,9
Valor característico promedio de la resistencia a flexión, $f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	14,63	
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra medio de cada muestra, $\bar{E}$ (kN/mm <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	7,84	5,99
Factor de ajuste	1,001	1,008
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) del módulo de elasticidad medio de la muestra	
Valor característico promedio del módulo de elasticidad de la población, $E_{0,mean}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	7,04	
Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{05}$ (kg/m <sup>3</sup> )	368	321
Factor de ajuste	1,001	1,004
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) de la densidad característica de la muestra	
Valor característico promedio de la densidad de la población, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	348	

a Se determina como el promedio de  $1,2 * f_{05,min} * k_s$  de cada muestra, siendo  $f_{05,min}$  el valor mínimo del quinto percentil de la resistencia a flexión de las dos muestras y  $k_s$  un factor de corrección en función del número de muestras y probetas.

b El módulo de elasticidad de cada probeta (E) se calculó con la ecuación del módulo de elasticidad global propuesto en la norma UNE EN 408:2011[5], considerando  $G=E/16$ . De este modo, se obtuvo el módulo de elasticidad local, por lo que no se aplicó la ecuación de corrección con respecto al módulo de elasticidad de flexión pura propuesta por la norma UNE EN 384:2010[4].

Tabla 10. Valores de ensayo por muestra y valores característicos de la calidad visual EC1

Especie	P. ellioti/P. taeda	
	Litoral	Suroeste
Procedencia	EC1	EC1
Clasificación visual	EC1	EC1
Número de probetas de cada muestra	47	41
Ancho (mm)	146	148
Espesor (mm)	49	49
Contenido de humedad medio de cada muestra H (%)	11,8	11,4
Resistencia a flexión media de la muestra, $f_{mean}$ (MPa)	48,7	27,8
Coefficiente de variación, COV (%)	36	36
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05}$ (MPa)	21,50	15,42
Factor de ajuste	1,011	1,011
Razón	Factor de ajuste al canto de referencia (kh) y por ajuste del dispositivo de ensayo de flexión a la EN 408 (kl)	
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión ajustado por el coeficiente de altura, $f_{05,ajustado}$ (MPa)	21,75	15,60
Valor característico promedio de la resistencia a flexión, $f_{m,ka}$ (MPa)	15,52	
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra medio de cada muestra, $\bar{E}$ (MPa) <sup>a</sup>	8250	5856
Factor de ajuste	1,002	1,006
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) del módulo de elasticidad medio de la muestra	
Valor característico promedio del módulo de elasticidad de la población, $E_{0,mean}$ (MPa)	7139	
Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{05}$ (kg/m <sup>3</sup> )	402	323
Factor de ajuste	0,999	0,997
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) de la densidad característica de la muestra	
Valor característico promedio de la densidad de la población, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	365	

a Se determina como el promedio de  $1,2 * f_{05,min} * k_s$  de cada muestra, siendo  $f_{05,min}$  el valor mínimo del quinto percentil de la resistencia a flexión de las dos muestras y  $k_s$  un factor de corrección en función del número de muestras y probetas.

b El módulo de elasticidad de cada probeta (E) se calculó con la ecuación del módulo de elasticidad global propuesto en la norma UNE EN 408:2011[5], considerando  $G=E/16$ . De este modo, se obtuvo el módulo de elasticidad local, por lo que no se aplicó la ecuación de corrección con respecto al módulo de elasticidad de flexión pura propuesta por la norma UNE EN 384:2010[4].

Tabla 11. Valores de ensayo por muestra y valores característicos de la calidad visual EC0

Especie	P. ellioti/P. taeda	
	Litoral	Suroeste
Procedencia	EC0	EC0
Clasificación visual	EC0	EC0
Número de probetas de cada muestra	41	75
Ancho (mm)	147	148
Espesor (mm)	50	50
Contenido de humedad medio de cada muestra H (%)	11,9	11,3
Resistencia a flexión media de la muestra, $f_{mean}$ (MPa)	30,2	24,5
Coefficiente de variación, COV (%)	44	34
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05}$ (MPa)	10,95	14,52
Factor de ajuste	1,011	1,011
Razón	Factor de ajuste al canto de referencia ( $k_h$ ) y por ajuste del dispositivo de ensayo de flexión a la EN 408 ( $k_i$ )	
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión ajustado por el coeficiente de altura, $f_{05,ajustado}$ (MPa)	11,07	14,68
Valor característico promedio de la resistencia a flexión, $f_{m,k}^a$ (MPa)	11,01	
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra medio de cada muestra, $\bar{E}$ (MPa) <sup>a</sup>	5789	5034
Factor de ajuste	1,001	1,007
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) del módulo de elasticidad medio de la muestra	
Valor característico promedio del módulo de elasticidad de la población, $E_{0,mean}$ (MPa)	5327	
Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{05}$ (kg/m <sup>3</sup> )	347	326
Factor de ajuste	0,999	0,996
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) de la densidad característica de la muestra	
Valor característico promedio de la densidad de la población, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	332	

a Se determina como el promedio de  $1,2 * f_{05,min} * k_s$  de cada muestra, siendo  $f_{05,min}$  el valor mínimo del quinto percentil de la resistencia a flexión de las dos muestras y  $k_s$  un factor de corrección en función del número de muestras y probetas.

b El módulo de elasticidad de cada probeta (E) se calculó con la ecuación del módulo de elasticidad global propuesto en la norma UNE EN 408:2011[5], considerando  $G=E/16$ . De este modo, se obtuvo el módulo de elasticidad local, por lo que no se aplicó la ecuación de corrección con respecto al módulo de elasticidad de flexión pura propuesta por la norma UNE EN 384:2010[4].

## 5. Conclusiones

- a) La propuesta de dos calidades visuales (EC1 y EC0) supuso una disminución de un 40 % en el rechazo de madera con fines estructurales con respecto a la propuesta de una única calidad (EC7). Sin embargo, la calidad más alta (EC1) sufrió un incremento de un 5 % de rechazo al proponer dos calidades visuales en lugar de una única calidad (EC7).
- b) La asignación de dos calidades visuales, en lugar de una única calidad, implicó modificar los límites de aceptación de las singularidades de las con el fin de conseguir el número mínimo de probetas clasificadas por muestra exigidas por normativa (40).
- c) La madera clasificada visualmente como EC7 o como EC1 se ajusta a las propiedades físico-mecánicas de la clase resistente C14 de la norma europea EN 338. La calidad visual EC0 no se puede asignar a ninguna clase resistente, por presentar valores de sus propiedades inferiores a la mínima reconocida en la EN 338.
- d) Las ecuaciones de la norma EN 384:2010 para la estimación de todas las propiedades físico-mecánicas a partir de los valores característicos de resistencia a flexión, módulo de elasticidad y densidad obtenidos de ensayo, no aplican a los valores obtenidos para la calidad visual EC0, por corresponderse con valores muy inferiores a los de la clase resistente C14.

## Bibliografía

Baño V., Moya L., O'Neill H., Cardoso A., Cagno M., Cetrangolo G. y Domenech L. (2015). INFORME FINAL PROYECTO: Documentos técnicos base para la normalización de estructuras y construcción con madera. Fondo Industrial N. 3823/013-Dirección Nacional de Industrias. ISBN: 978-9974-0-1344-5.

Fondo Industrial DNI (2013). Documentos Técnicos Base para la normalización y construcción con madera. PROYECTO N°: 3823/013. DNI-MIEM. Dirección Nacional de Industrias. Ministerio de Industria, Energía y Minería. Uruguay.

Fondo María Viñas (2009). Caracterización estructural de madera aserrada de pinos (*P. elliottii* y *P. taeda*) asociada a grados estructurales. Agencia Nacional de Investigación e Innovación. Proyecto PR-FMV-2009-1-2772. ANII-Agencia Nacional de Investigación e Innovación. Uruguay.

Moya L., Domenech L., Cardoso A., O'Neill H., y Baño V. (2017) Proposal of visual strength grading rules for Uruguayan pine timber. *European Journal of Wood and Wood Products* 75(6), pp. 1017-1019.

UNE-EN 338 (2016). Madera estructural. Clases resistentes.

UNE-EN 384 (2010). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.

## Anexo A: Distribuciones de muestras de cada propiedad

Se presentan a continuación los gráficos de los histogramas de las propiedades físico-mecánicas de las calidades visuales EC1 y EC0 para cada muestra y para la población. En color rojo se muestra la frecuencia de valores menores al quinto percentil y en color azul la frecuencia de valores mayores al quinto percentil. Los histogramas correspondientes a la calidad EC7 pueden obtenerse en el informe de Baño et al. (2015).

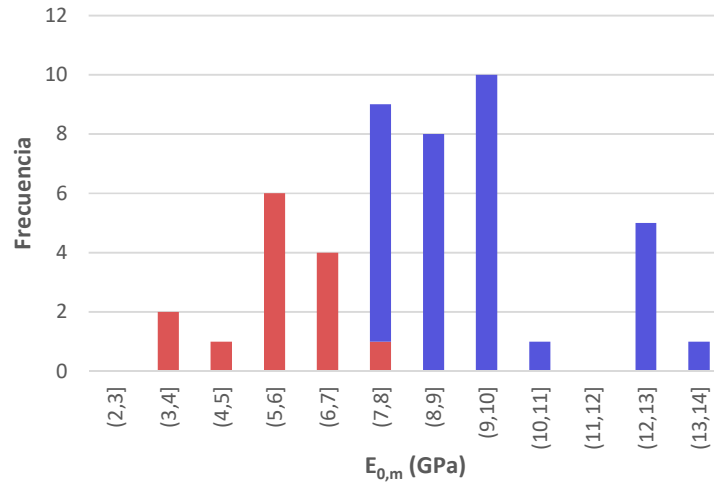


Gráfico A1. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la muestra 1 de la calidad visual EC1

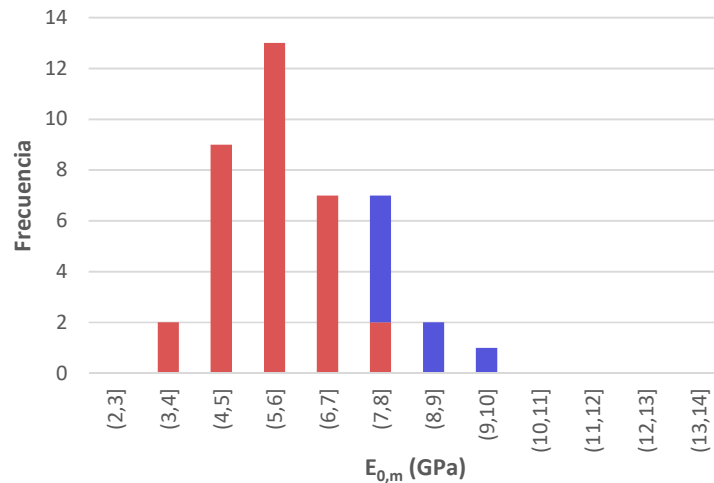


Gráfico A2. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la muestra 2 de la calidad visual EC1

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

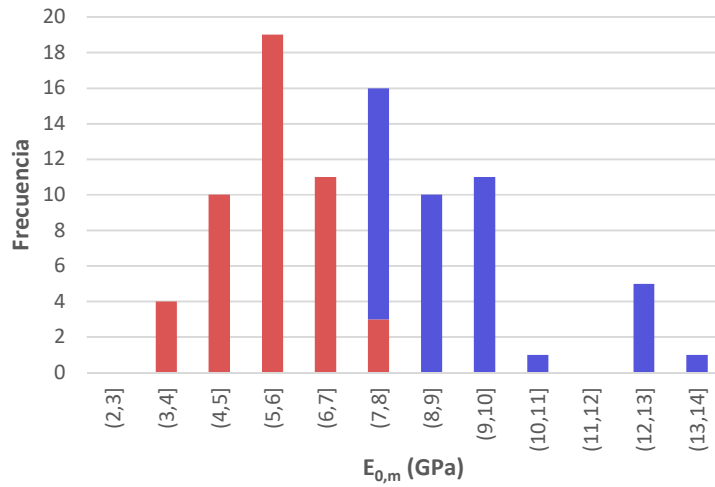


Gráfico A3. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la población de la calidad visual EC1

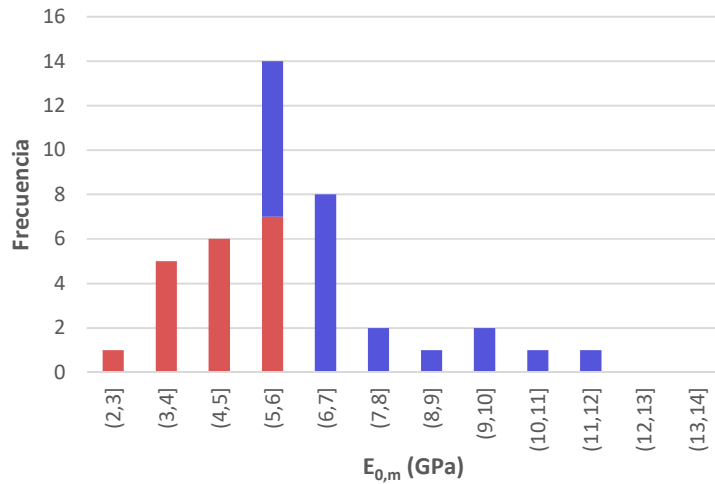


Gráfico A4. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la muestra 1 de la calidad visual EC0



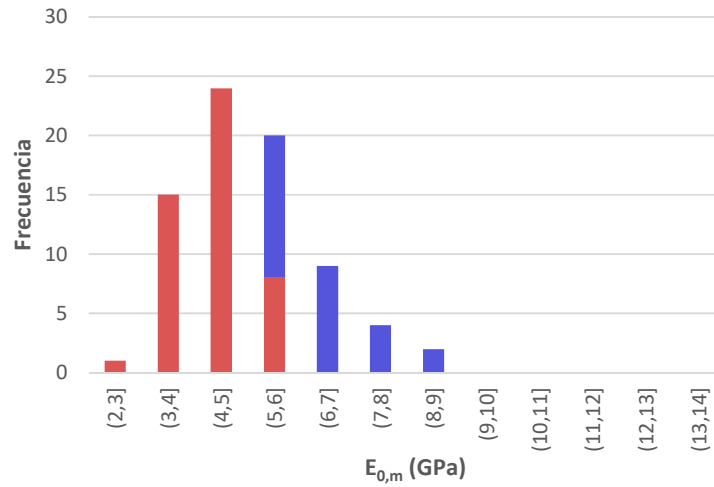


Gráfico A5. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la muestra 2 de la calidad visual EC0

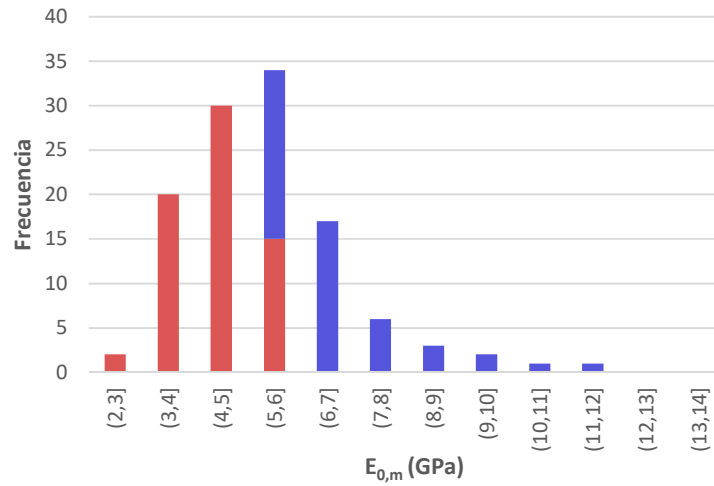


Gráfico A6. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la población de la calidad visual EC0

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

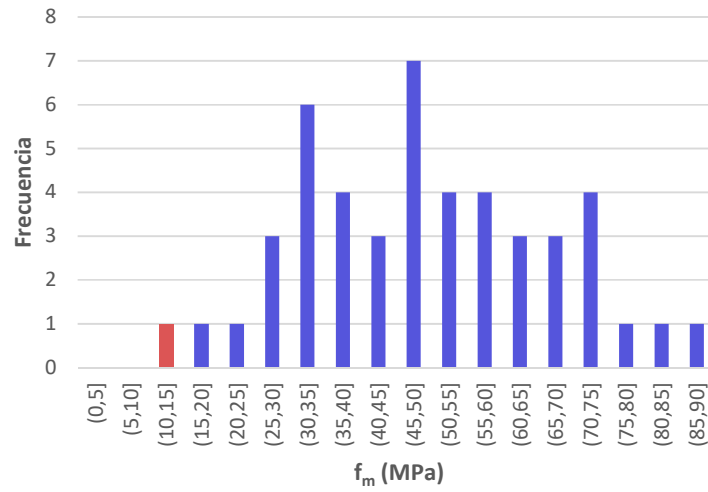


Gráfico A7. Histograma de resistencia a flexión de la muestra 1 de la calidad visual EC1

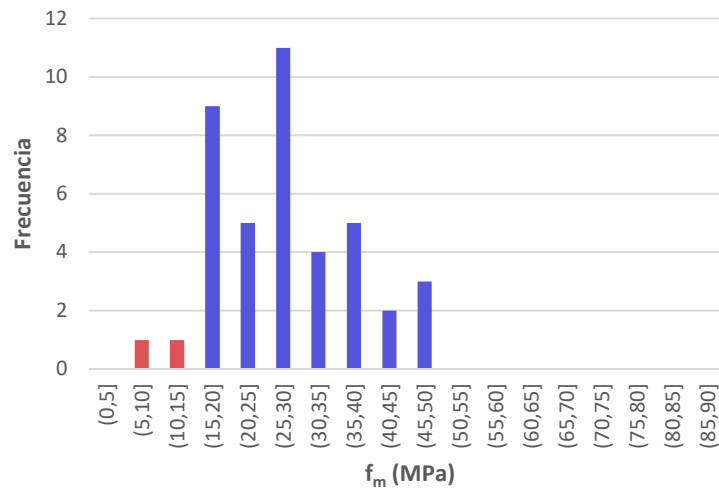


Gráfico A8. Histograma de resistencia a flexión de la muestra 2 de la calidad visual EC1

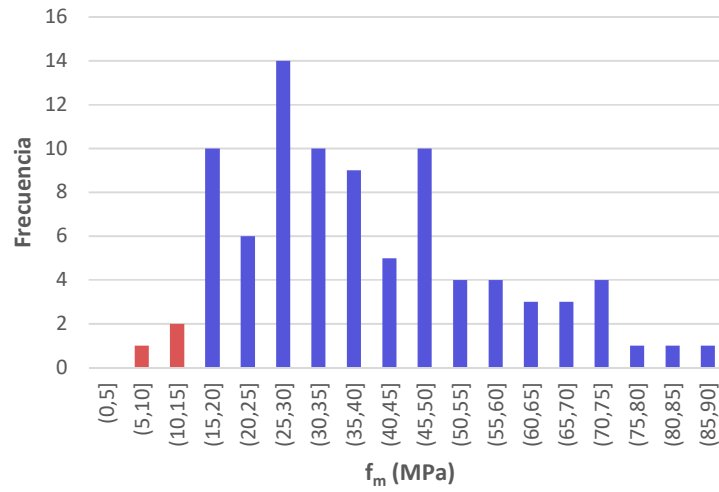


Gráfico A9. Histograma de resistencia a flexión de la población de la calidad visual EC1

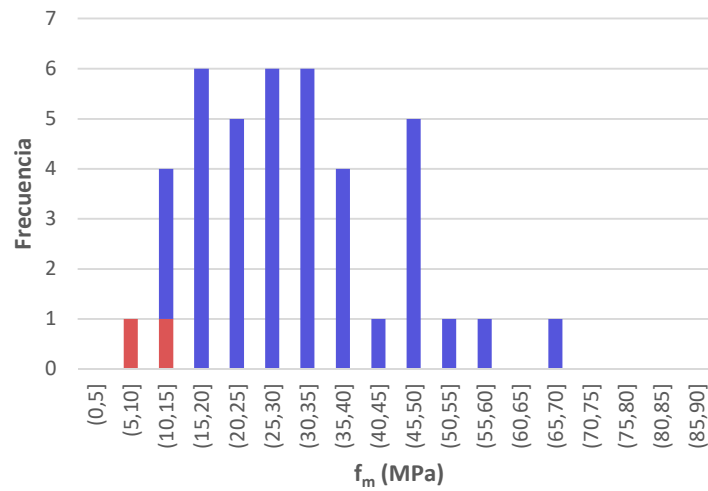


Gráfico A10. Histograma de resistencia a flexión de la muestra 1 de la calidad visual EC0

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

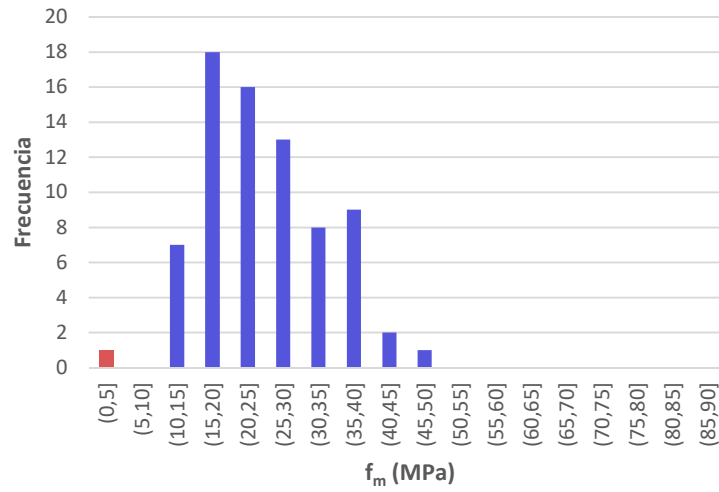


Gráfico A11. Histograma de resistencia a flexión de la muestra 2 de la calidad visual EC0

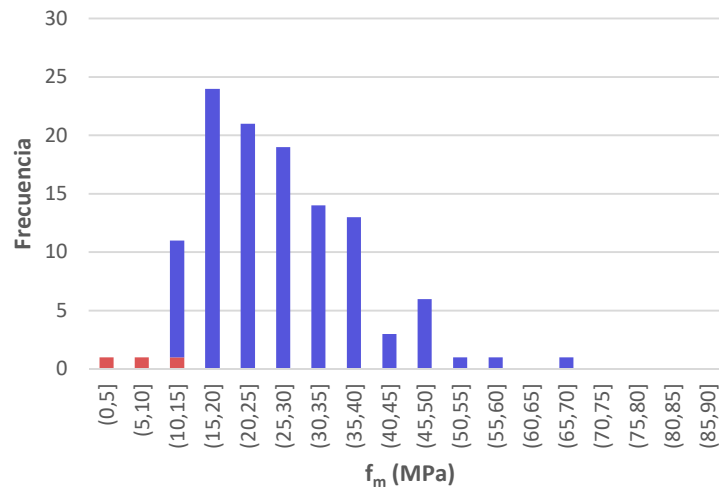


Gráfico A12. Histograma de resistencia a flexión de la población de la calidad visual EC0

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

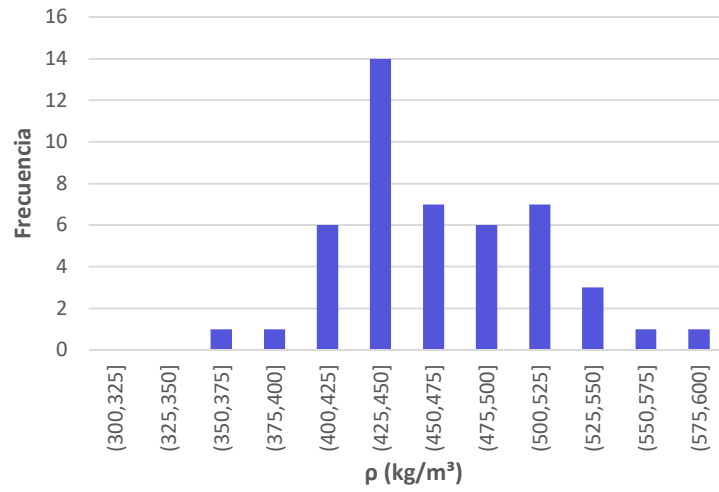


Gráfico A13. Histograma de densidad de la muestra 1 de la calidad visual EC1

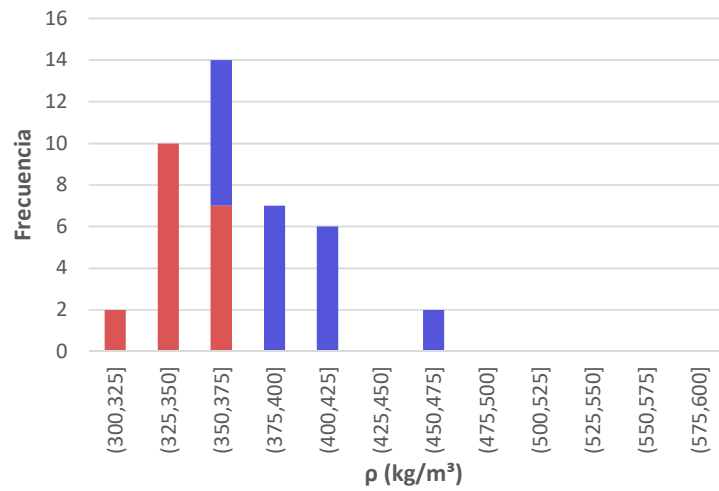


Gráfico A14. Histograma de densidad de la muestra 2 de la calidad visual EC1

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

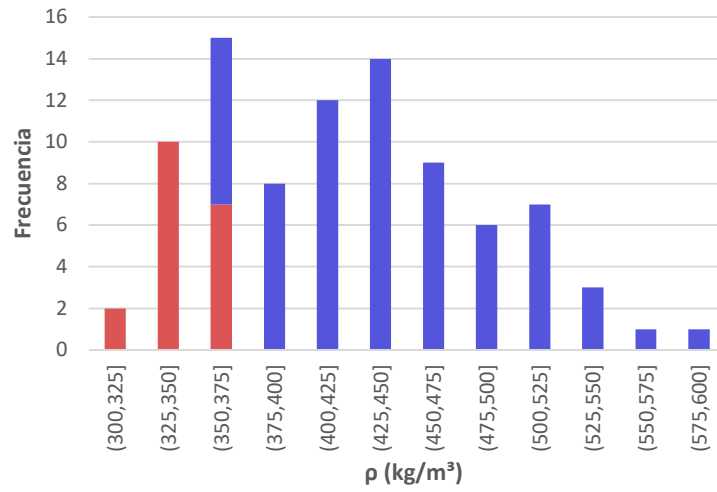


Gráfico A15. Histograma de densidad de la población de la calidad visual EC1

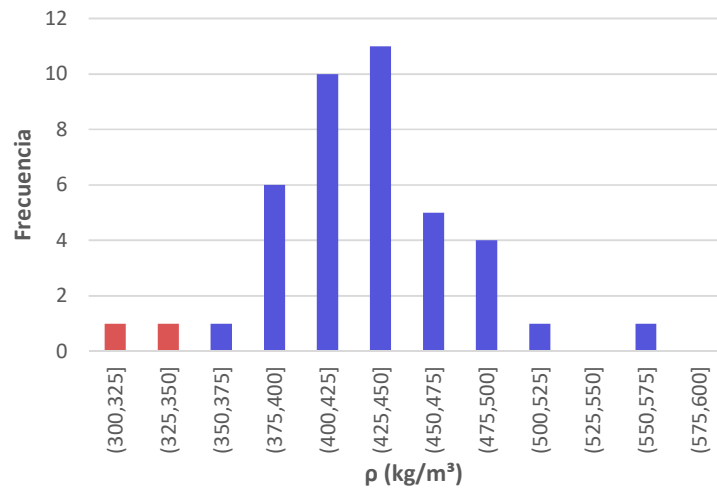


Gráfico A16. Histograma de densidad de la muestra 1 de la calidad visual EC0

Número 1: Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

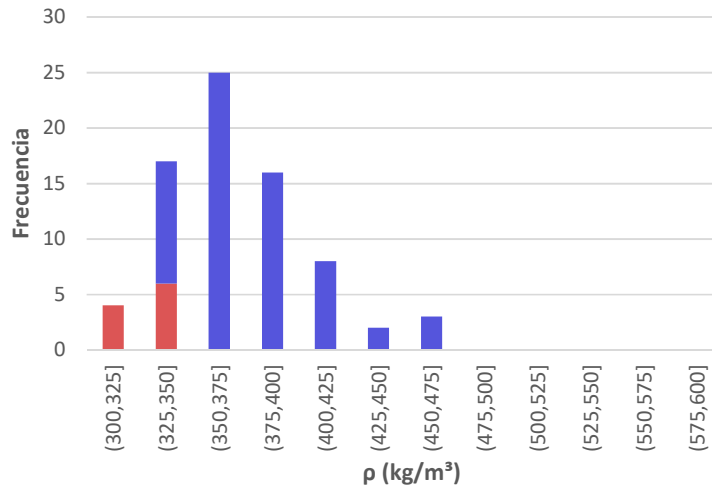


Gráfico A17. Histograma de densidad de la muestra 2 de la calidad visual EC0

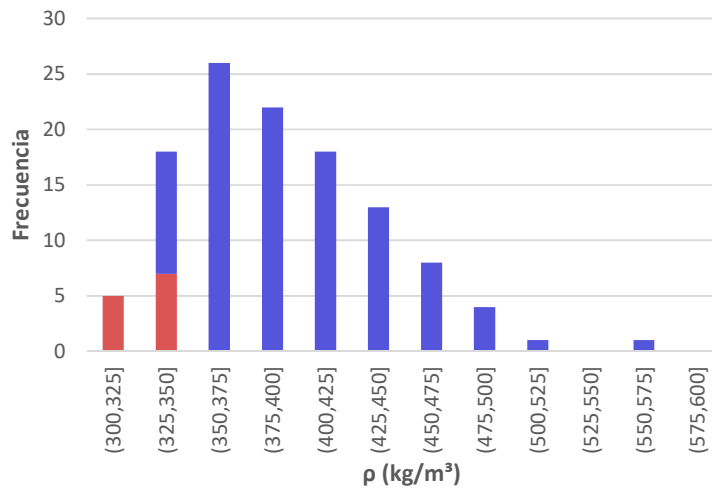


Gráfico A18. Histograma de densidad de la población de la calidad visual EC0