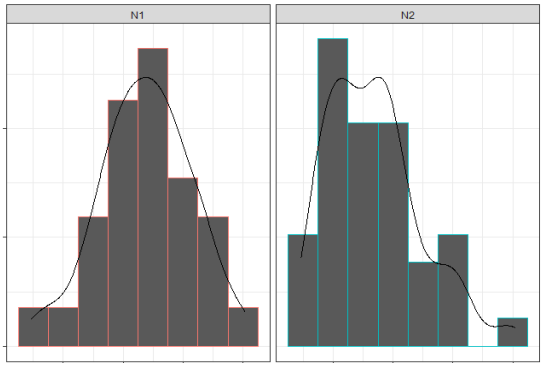
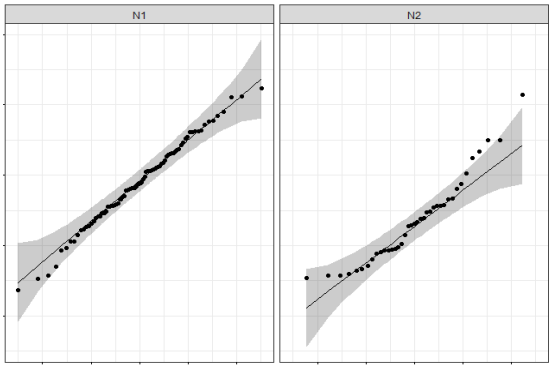
Informe Técnico N° 259

TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE RENOVAL DE TEPA (*Laurelia philippiana* (Phil.) Looser) CON CLASIFICACIÓN VISUAL





INSTITUTO FORESTAL
2023

Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INFOR

CORFO

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen del archivo institucional de INFOR o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

Informe Técnico N° 259

TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE RENOVAL DE TEPA (*Laurelia philippiana* (Phil.) Looser) CON CLASIFICACIÓN VISUAL

Jorge Catalán Linco[1]; Luis Vásquez Valenzuela; Gonzalo Hernández Careaga; Raúl Campos Pous y Pablo Mardones Díaz

Proyecto CORFO: Fortalecimiento de capacidades tecnológicas del Instituto Forestal para el desarrollo de la Industria Secundaria de la Madera, a través de bienes públicos orientados al sector de la construcción

INSTITUTO FORESTAL

Tecnología y Productos de Madera
2023

[1] Investigadores, Instituto Forestal, Sede Biobío. jorge.catalan@infor.cl

INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 56 2 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 252 - 1
Registro de Propiedad Intelectual N° 2023 A 4045

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Catalán, Jorge; Vásquez, Luis; Hernández, Gonzalo; Campos, Raúl y Mardones, Pablo (2023). Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada Estructural de Renoval de Tepa (*Laurelia philippiana* (Phil.) Looser) con Clasificación Visual. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 259. P. 30. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32560

PRÓLOGO

El Instituto Forestal (INFOR), con el apoyo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), está llevando adelante un proyecto que considera como principal objetivo fomentar el uso de la madera y sus productos en la construcción, fortaleciendo a la Industria Secundaria de la Madera a través de la investigación, el desarrollo y la transferencia tecnológica.

El uso adecuado de la madera en la construcción demanda el conocimiento de sus propiedades física y mecánicas y su durabilidad natural, aspectos que se deben incorporar y actualizar de manera periódica en la normativa chilena vigente.

INFOR, desde sus inicios ha caracterizado las propiedades físicas y mecánicas de las maderas nativas y las provenientes de plantaciones que se han adaptado de buena manera a las distintas condiciones de suelo y clima presentes en el país.

En esta oportunidad se informan las tensiones admisibles de la madera aserrada estructural de renoval de tepa, que previamente fue sometida a una clasificación visual para diferenciar sus 2 grados estructurales, información que es relevante al momento de su uso en la construcción y en el desarrollo de productos con valor agregado.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 2
3. MATERIAL Y MÉTODO 2
3.1 Madera Aserrada 2
3.2 Ensayos Mecánicos y Físicos 3
3.2.1 Ensayo a la flexión 3
3.2.2 Ensayo a la tracción paralela a las fibras 3
3.2.3 Ensayo a la compresión paralela a las fibras 4
3.2.4 Ensayo de cizalle paralelo a las fibras 4
3.2.5 Ensayo a la compresión normal a las fibras 5
3.2.6 Densidades 5
3.3 Tensiones Admisibles 5
4. RESULTADOS 5
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 9
5.1 Prueba T-Student 9
5.2 Frecuencias Acumuladas y Distribución de Datos 10
5.3 Valores Característicos 13
5.4 Tensiones Admisibles del Renoval de Tepa y Pino Radiata 15
6. CONCLUSIONES 17
7. REFERENCIAS 17
8. APÉNDICE 19

1. INTRODUCCIÓN

Al año 2020 las plantaciones forestales del país cubrían 2.329.521 ha, destacando pino radiata con 1.293.426 hectáreas, equivalente al 56% del total (Álvarez *et al*., 2022).

La producción nacional de madera aserrada el año 2021 alcanzó 8.683.460 m^3, de los cuales el 98% correspondió a pino radiata (Álvarez *et al*., 2022).

Con el objetivo de identificar alternativas de abastecimiento para la pyme del aserrío con especies del bosque nativo, en particular de renovales, que presentan una importante superficie en el país, y que de acuerdo a los antecedentes tecnológicos de las maderas provenientes de bosques nativos adultos son adecuadas para una importante cantidad de usos, entre ellos el estructural, se ejecuta este proyecto de investigación.

La tepa (*Laurelia philippiana* (Phil.) Looser) es una especie endémica de Chile que pertenece a la familia *Monimiaceae*. En el norte se le encuentra desde la cordillera de Nahuelbuta por la costa y frente a Chillán en la cordillera de Los Andes. Por el sur alcanza aproximadamente hasta el Río Baker. En la parte boreal de su área, la tepa es un árbol típicamente cordillerano, que se presenta en alturas superiores a unos 500 msnm, llegando hasta el límite inferior de los bosques de raulí (*Nothofagus alpina*) o de araucaria (*Araucaria araucana*). Hacia el sur desciende gradualmente y en Puerto Montt, se le encuentra desde el nivel del mar hasta ciertas alturas en las cordilleras. Se encuentra también en las provincias de Cautín y Chiloé (Pérez, 1983).

Es un árbol parecido al laurel (*Laurelia sempervirens*), de diámetros máximos algo menores. El crecimiento puede ser muy rápido. El tronco es habitualmente recto y cilíndrico, la corteza es totalmente lisa de color pardo y no se desprende, las ramas inferiores son generalmente descendentes, la madera y las hojas tienen un olor fuerte y picante y son de borde muy aserrado.

Es una especie de rápido desarrollo que en el transcurso de 40 o 60 años puede alcanzar tamaño explotable. La madera se caracteriza por su hermoso y uniforme color blanco amarillento grisáceo claro. Los anillos de crecimiento son poco visibles. El peso de la madera seca es de unos 500 a 600 kg/m^3, se clasifica como madera de resistencia mecánica baja y se utiliza en la fabricación de terciados, revestimientos interiores y exteriores, pisos, juguetes, muebles, entre otros (Pérez, 1983).

Los estudios tecnológicos que se debe considerar para incorporar la madera aserrada de renoval de tepa como materia prima para la construcción se refieren a las propiedades mecánicas y la durabilidad natural de su madera, información que posteriormente debe ser incorporada en las normas chilenas respectivas, NCh 1198 (INN, 2014) y NCh 789/1 (INN, 1987).

Este trabajo recopila la metodología, resultados y conclusiones de un estudio ejecutado con madera aserrada estructural de renoval de tepa con clasificación visual.

2. OBJETIVOS

Este estudio tiene por objetivo general evaluar las tensiones admisibles de la madera aserrada estructural de renoval de tepa con clasificación visual, en tanto que sus objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar las resistencias asociadas a los grados estructurales visuales N°1 y N°2.
- Determinar los valores característicos de sus propiedades mecánicas, según las metodologías señaladas en NCh 3028/2 (INN, 2017c), AS/NZS 4063 (AS/NZS, 2010a) y EN 338 (AENOR, 2010).
- Comparar las tensiones admisibles de las maderas aserradas estructurales de pino radiata y de renoval de tepa.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Madera Aserrada

La procedencia de la madera corresponde a la comuna de Quellón, Chiloé, región de Los Lagos. La edad al momento de la cosecha se estima en 55 años.

Se seleccionó 757 piezas de madera aserrada para los ensayos mecánicos, con un contenido de humedad inferior al 19%, escuadría 2x4", cepillada (45x90 mm), y que cumplen con los requisitos estructurales visuales asociados a los grados N°1 y N°2, que se indican en la norma NCh 1970/1 (INN, 2017a): Especies latifoliadas. Clasificación visual para uso estructural. Especificación de los grados de calidad.

El Cuadro N°1 registra la cantidad de piezas ensayadas en función del tipo de ensayo mecánico y el grado estructural visual.

Cuadro N° 1
NÚMERO DE ENSAYOS POR PROPIEDAD MECÁNICA

Tipo de ensayo	Grado estructural	
	N°1	N°2
Flexión	90	83
Tracción	84	95
Cizalle	100	100
Compresión paralela	95	80
Compresión normal	30	
Total	757	

3.2 Ensayos Mecánicos y Físicos

Los ensayos mecánicos y físicos se ejecutaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), según indicaciones de las normas chilenas NCh 3028/1 (INN, 2017b): Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural; y NCh176/2 (INN, 2019): Madera. Parte 2: Determinación de la densidad.

3.2.1 Ensayo a la flexión

El ensayo permite determinar los parámetros de resistencia (Rf) y rigidez a la flexión (Ef). Las Figuras N°1 y N°2 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

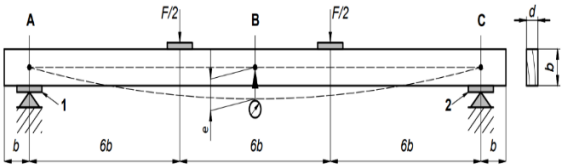


Figura N° 1
ESQUEMA ENSAYO DE FLEXIÓN

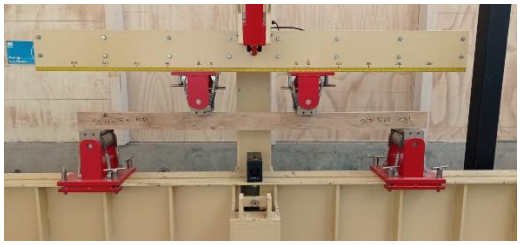


Figura N° 2
IMPLEMENTACIÓN ENSAYO DE FLEXIÓN

3.2.2 Ensayo a la tracción paralela a las fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la tracción paralela (Rtp). Las Figuras N°3 y N°4 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

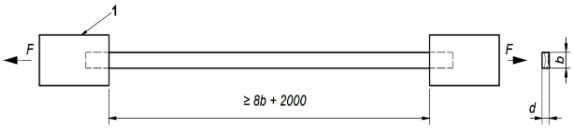


Figura N° 3
ESQUEMA ENSAYO DE TRACCIÓN

Figura N° 4
IMPLEMENTACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

3.2.3 Ensayo a la compresión paralela a las fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la compresión paralela (Rcp). Las Figuras N°5 y N°6 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

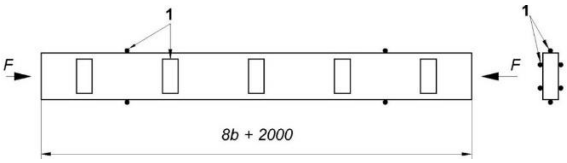


Figura N°5
ESQUEMA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA (NCh 3028/1)

Figura N°6
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN PARALELA

3.2.4 Ensayo de cizalle paralelo a las fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia al cizalle paralelo (Rcz). Las Figuras N°7 y N°8 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

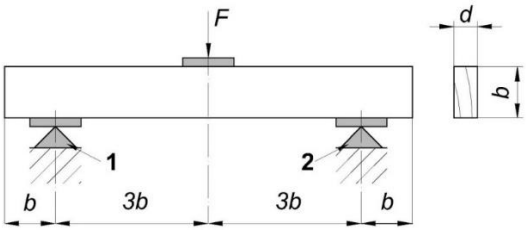


Figura N°7
ESQUEMA DEL ENSAYO AL CIZALLE (NCh 3028/1)

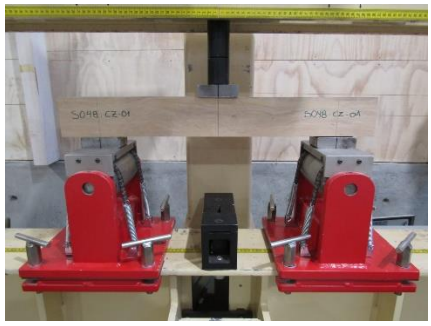


Figura N°8
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO AL CIZALLE

3.2.5 Ensayo a la compresión normal a las fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la compresión normal a las fibras (Rcn). Las Figuras N°9 y N°10 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

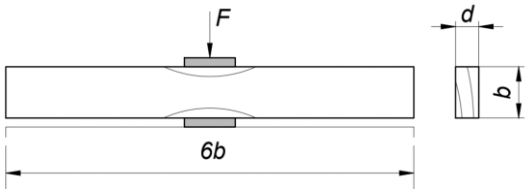


Figura N°9
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL (NCh 3028/1)

Figura N°10
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL

3.2.6 Densidades

A cada pieza de madera aserrada ensayada se le determinó la densidad normal (12%) y la densidad anhidra. Las probetas utilizadas en las determinaciones consideraron la sección transversal completa de la pieza y una longitud mayor o igual a su ancho.

3.3 Tensiones Admisibles

La determinación de las tensiones admisibles a las solicitaciones de flexión (MOEf, Ff), tracción paralela (Ftp), cizalle paralelo (Fcz), compresión paralela (Fcp) y compresión normal (Fcn) se realizó según lo que indica NCh 3028/2 (INN, 2017c): Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural.

4. RESULTADOS

Los Cuadros N°2 a N°7 registran la estadística descriptiva de las resistencias obtenidas con los ensayos a la flexión (Rf, MOEf), la tracción paralela (Rtp), la compresión paralela (Rcp), el cizalle paralelo (Rcz) y la compresión normal (Rcn). En la propiedad de módulo de elasticidad en flexión, no se evidencia diferencias significativas entre las medias asociadas a los grados N°1 y N°2 (análisis t-Student), por lo que se presenta un único valor representativo para la especie. El Cuadro N°8 resume las tensiones admisibles de la madera aserrada de renoval de tepa, considerando sus grados visuales estructurales N°1 y N°2.

Cuadro N°2
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Descripción	Grado N°1 Rf, 12%	Grado N°2 Rf, 12%
Promedio (MPa)	70,8	58,7
Máximo (MPa)	137,3	109,5
Mínimo (MPa)	23,5	18,5
Rango (MPa)	113,9	91,0
Tamaño de muestra	90	83
Desviación estándar (MPa)	18,6	20,2
Coeficiente de variación (%)	26	34
5to percentil	32,2	27,8
Admisible	15,3	13,2

Cuadro N°3
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

Descripción	MOEf 12% Grados N°1 y N°2
Promedio (MPa)	10.303
Máximo (MPa)	15.806
Mínimo (MPa)	5.911
Rango (MPa)	9.895
Tamaño de muestra	173
Desviación estándar (MPa)	1.799
Coeficiente de variación (%)	17

Cuadro N°4
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

Descripción	Grado N°1 Rtp, 12%	Grado N°2 Rtp, 12%
Promedio (MPa)	47,5	32,5
Máximo (MPa)	80,9	78,6
Mínimo (MPa)	9,3	9,4
Rango (MPa)	71,6	69,2
Tamaño de muestra	84	95
Desviación estándar (MPa)	15,2	14,5
Coeficiente de variación (%)	32	45
5to percentil	18,9	13,9
Admisible	9,0	6,6

Cuadro N°5
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

Descripción	Grado N°1 Rcp, 12%	Grado N°2 Rcp, 12%
Promedio (MPa)	34,0	29,1
Máximo (MPa)	45,4	45,5
Mínimo (MPa)	19,1	19,0
Rango (MPa)	26,2	26,5
Tamaño de muestra	95	80
Desviación estándar (MPa)	5,3	5,6
Coeficiente de variación (%)	16	19
5to percentil	24,8	21,4
Admisible	13,1	11,3

Cuadro N°6
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO

Descripción	Grado N°1 Rcz, 12%	Grado N°2 Rcz, 12%
Promedio (MPa)	7,1	6,0
Máximo (MPa)	10,0	10,2
Mínimo (MPa)	3,9	1,5
Rango (MPa)	6,1	8,8
Tamaño de muestra	100	100
Desviación estándar (MPa)	1,4	1,7
Coeficiente de variación (%)	20	28
5to percentil	4,9	2,7
Admisible	1,2	0,7

Cuadro N°7
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL

Descripción	Rcn, 12%
Promedio (MPa)	13,2
Máximo (MPa)	19,0
Mínimo (MPa)	7,6
Rango (MPa)	11,4
Tamaño de muestra	30
Desviación estándar (MPa)	2,7
Coeficiente de variación (%)	20
5to percentil	8,3
Admisible	5,0

Cuadro N°8
TENSIONES ADMISIBLES

Grado estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión paralela	Compresión normal	Módulo de elasticidad en flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
N°1	15,3	9,0	1,2	13,1	5,0	10.303
N°2	13,2	6,6	0,7	11,3		

Las Figuras N°11 a N°15 muestran las fallas características de la madera aserrada a los esfuerzos a flexión, tracción paralela, cizalle paralelo, compresión paralela y compresión normal. La falla por flexión se produce en el borde traccionado de la pieza y se propaga a lo largo de la sección transversal, la falla por tracción paralela se produce en zonas con presencia de nudos, desviaciones de fibras o desgarro por tracción pura. La falla por compresión paralela se produce en zonas con presencia de nudos o desviaciones de fibra, La falla por cizalle se evidencia en la separación de las fibras que constituyen la madera en sentido longitudinal. En tanto, la falla por compresión normal se genera por aplastamiento local en el área solicitada.

Figura N°11
FLEXIÓN FALLA DESDE BORDE EN TRACCIÓN

Figura N°12
TRACCIÓN PARALELA FALLA EN FIBRA DESVIADA

Figura N°13
CIZALLE
FALLA EN SENTIDO LONGITUDINAL

Figura N°14
COMPRESIÓN PARALELA
FALLA EN FIBRA DESVIADA

Figura N°15
COMPRESIÓN NORMAL
FALLA POR APLASTAMIENTO LOCAL

El Cuadro N°9 registra las densidades de la madera, normal (12%) y anhidra.

Cuadro N°9
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS DENSIDADES

Descripción	Normal	Anhidra
Promedio (Kg/m^3)	528	502
Máximo (Kg/m^3)	598	617
Mínimo (Kg/m^3)	409	394
Rango (Kg/m^3)	189	223
Tamaño de muestra	727	100
Desviación estándar (Kg/m^3)	38,6	44,6
Coeficiente de variación (%)	7	9
5to percentil (Kg/m^3)	458	418

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Prueba T-Student

La prueba T-Student permite determinar con sustento estadístico si las medias de dos muestras son significativamente diferentes para distintos tratamientos.

En este caso, se evalúa si la clasificación mecánica en los grados estructurales visuales N°1 y N°2 evidencia diferencias significativas en la media de la propiedad evaluada.

El análisis estadístico considera el cumplimiento de 3 supuestos previos: a) Independencia de datos, b) Distribución normal de datos (prueba de Shapiro-Wilk) y c) Homocedasticidad o varianzas homogéneas (test de Levene).

El análisis de los supuestos previos señala que MOEf y Rcz los cumplen (Apéndice).

El Cuadro N°10 registra los valores P de la prueba T-Student ejecutada que permiten aceptar o rechazar la hipotesis nula H_0.

H_0: Las medias de las resistencias y elasticidades de los grados N°1 y N°2 son iguales

H_1: Las medias de las resistencias y elasticidades de grados N°1 y N°2 son diferentes

Si el valor P calculado es menor al nivel de significancia (α) considerado, entonces se rechaza la hipótesis (H_0) nula en favor de la hipótesis alternativa (H_1).

Para un nivel de significancia α=0,05 (5%), se observa que la resistencia al cizalle paralelo (Rcz), presenta medias con diferencias significativas.

Para un nivel de significancia α=0,05 (5%), se observa que el módulo de elasticidad en flexión (MOE_f) no presenta medias con diferencias significativas entre ambos grados mecánicos, respaldando lo observado en las gráficas de frecuencias acumuladas.

En el caso de las resistencias a la flexión (Rf), compresión paralela (Rcp) y tracción paralela (Rtp), se realizó un análisis descriptivo ya que los datos asociados a cada propiedad mecánica no cumplieron con una distribución normal (Apédice).

Cuadro N° 10
VALORES P OBTENIDO DE LA PRUEBA T-STUDENT

Propiedad mecánica	Valor P calculado	Valor P crítico (α)	Resultado
Resistencia a la Flexión (Rf)	Solo admite análisis descriptivo		
Resistencia a la Tracción paralela (Rtp)	Solo admite análisis descriptivo		
Resistencia a la Compresión paralela (Rcp)	Solo admite análisis descriptivo		
Módulo de elasticidad en flexión (MOE_f)	0,3849	0,05	Se acepta Ho
Resistencia al Cizalle paralelo (Rcz)	2,76E-07	0,05	Se rechaza Ho

5.2 Frecuencias Acumuladas y Distribución de Datos

Las Figuras N°16 a N°20 registran las frecuencias acumuladas de los resultados obtenidos en los distintos ensayos mecánicos, considerando los grados estructurales visuales N°1 y N°2. Se observa que la clasificación visual permite diferenciar los grados estructurales considerados por este estudio.

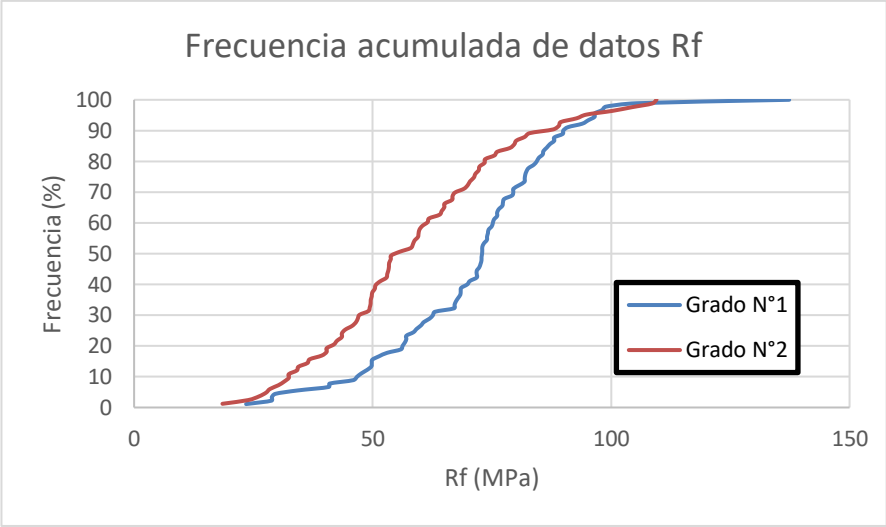


Figura N°16
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

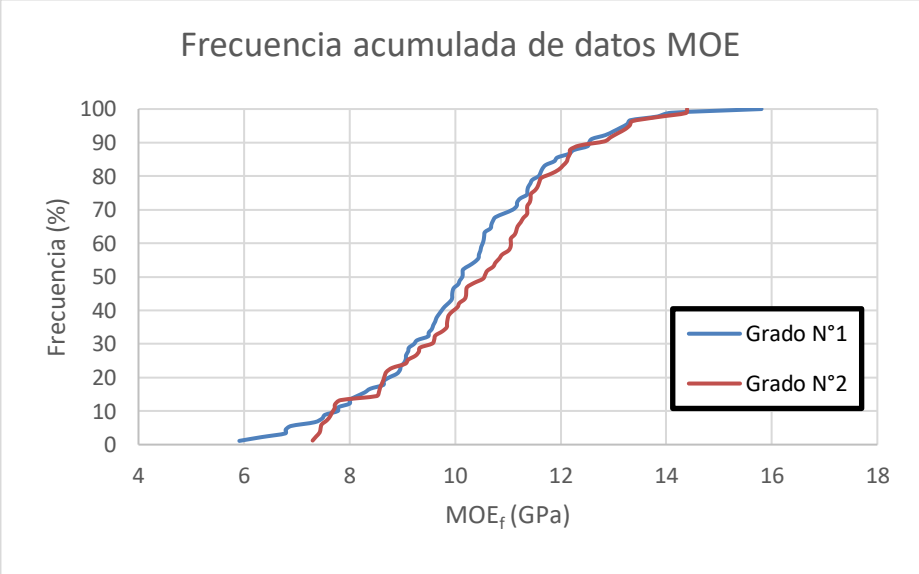


Figura N°17
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

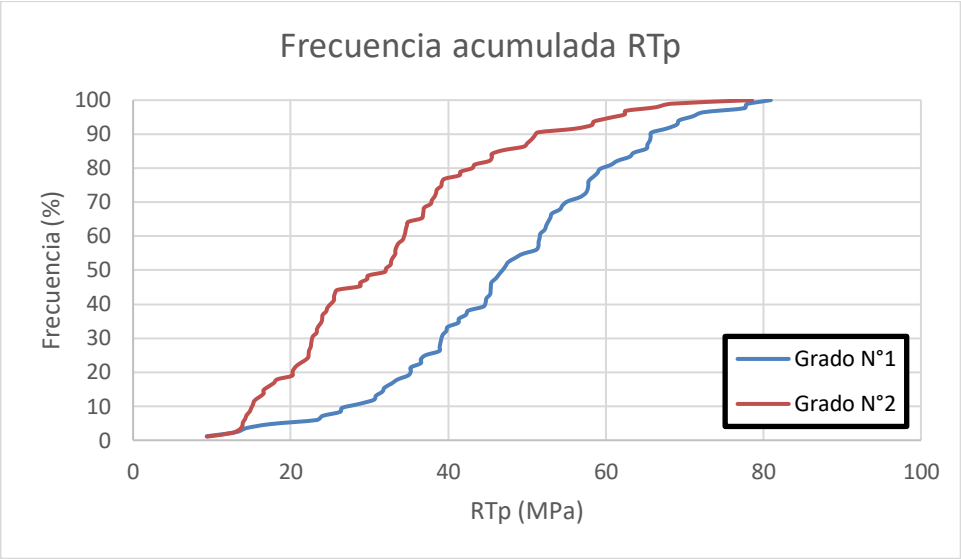


Figura N°18
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

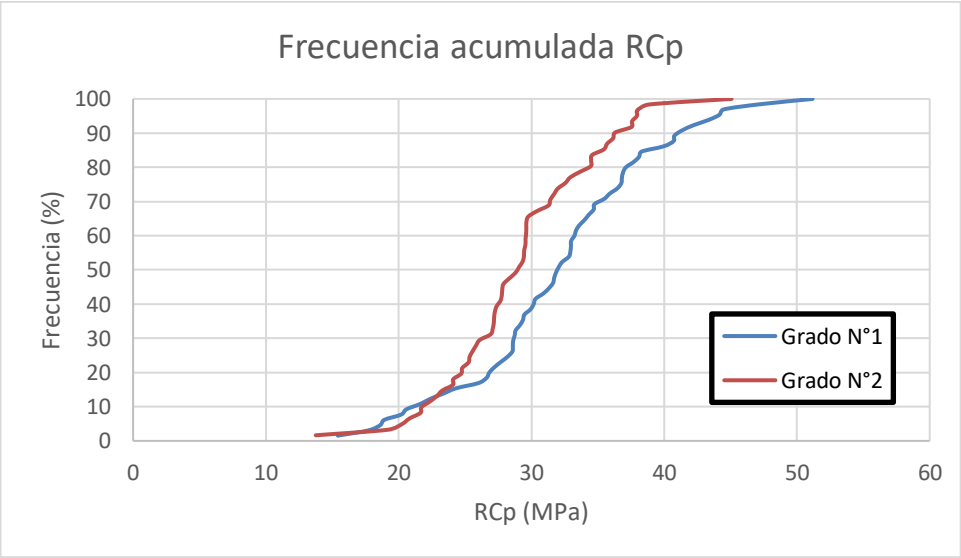


Figura N°19
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

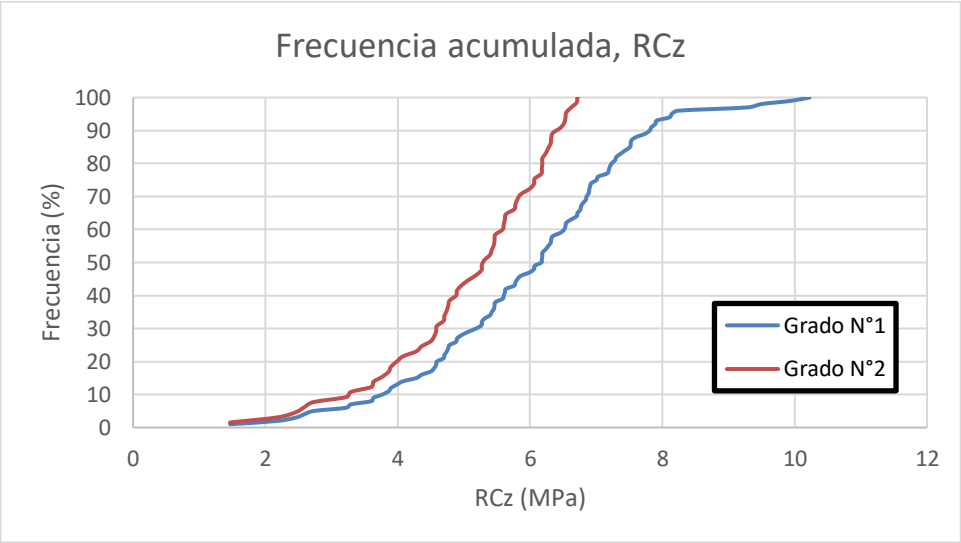


Figura N°20
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA AL CIZALLE

5.3 Valores Característicos

El Cuadro N°11 registra los valores caracteristicos de las resistencias asociadas a los grados estructurales visuales N°1 y N°2 de la madera de renoval de tepa, calculados según las metodologías en NCh3028/2 (INN,2017c), AZ/NSZ 4063-2 (AZ/NSZ, (2010a) y EN 384 (AEONOR, 2016).

Se observa que las magnitudes de los valores característicos determinados con las metodologías en NCh3028/2 y AZ/NSZ 4063-2 son similares.

Los valores característicos determinados con la metodología en EN 384 son más conservadores en todas las propiedades mecánicas evaluadas, excepto en el Módulo de Elasticidad en Flexión, para sus 2 grados visuales.

En los mercados de Australia y Europa la madera aserrada estructural latifoliada se comercializa con los grados F y D, cuyos valores característicos se registran los Cuadro N°12 y N°13, respectivamente.

Cuadro N°11
VALORES CARACTERÍSTICOS, SEGÚN NCh, AS/NZS y EN

Grado estructural		Valores característicos y MOE promedio (MPa)					
		Flexión	Compresión Paralela	Tracción paralela	Cizalle	Compresión normal	Módulo de elasticidad en flexión
		Rf	Rc	Rtp	Rcz	Rcn	Ef
N°1	NCh 3028	32,2	24,8	18,9	4,9	8,3	10.303
	AS/NZS 4063	39,4	26,7	25,0	4,8	9,2	10.349
	EN 386	26,0	19,8	11,4	3,5	6,9	10.945
N°2	NCh 3028	27,8	21,4	13,9	4,9	8,3	10.303
	AS/NZS 4063	30,2	21,0	14,6	3,3	9,2	10.349
	EN 386	22,6	18,0	10,3	1,7	6,9	10.945

Cuadro N°12
VALORES CARACTERÍSTICOS DE LOS GRADOS F (AS/NZS 1720) (AS/NZS, 2010b)

Grado estructural	Propiedad Mecánica (MPa)					Módulo de Elasticidad Promedio Característico (MPa)
	Flexión	Tracción paralela		Cizalle	Compresión paralela	
		Latifoliada	Conífera			
F34	84	51	42	6,1	63	21.500
F27	67	52	34	5,1	51	18.500
F22	55	34	29	4,2	42	16.000
F17	42	25	22	3,6	34	14.000
F14	36	22	19	3,3	27	12.000
F11	31	18	15	2,8	22	10.500
F8	22	13	12	2,2	18	9.100
F7	18	11	8,9	1,9	13	7.900
F5	14	9	7,3	1,6	11	6.900
F4	12	7	5,8	1,3	8,6	6.100

Cuadro N°13
VALORES CARACTERÍSTICOS DE LOS GRADOS D (EN 338)

Ítem	D18	D24	D30	D35	D40	D50
Propiedades de resistencia (MPa)						
Flexión	18	24	30	35	40	50
Tracción paralela a la fibra	11	14	18	21	24	30
Tracción perpendicular a la fibra	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	18	21	23	25	26	29
Compresión perpendicular a la fibra	7,5	7,8	8	8,1	9,3	9,3
Cizalle paralelo a la fibra	3,4	4	4	4	4	4
Propiedades en rigidez (GPa)						
Módulo elasticidad medio paralelo fibra	9,5	10	11	12	13	14
Módulo elasticidad paralelo fibra (5%)	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8
Módulo elasticidad medio perpendicular a fibra	0,63	0,67	0,73	0,8	0,86	0,93
Módulo medio de cortante	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88

Los valores característicos de los grados estructurales visuales N°1 y N°2 de la madera de renoval de tepa, se asocian a los grados D y F que se indican:

- Grado estructural N°1 y N°2 califican en un grado F8
- Grado estructural N°1 califica en un grado D18
- Grado estructural N°2 no califica para un grado D.

La metodología utilizada para identificar los grados D y F que le corresponden a los grados visuales de la madera de renoval de tepa consideró que todos los valores característicos determinados para los grados N°1 y N°2 cumplen con los valores característicos de D y F.

5.4 Tensiones Admisibles del Renoval de Tepa y Pino Radiata

Los Cuadros N°14 y N°15 resumen las tensiones admisibles de los grados estructurales visuales de las maderas de renoval de tepa y de pino radiata, respectivamente.

Al comparar las tensiones admisibles de la madera aserrada de renoval de tepa, grado estructural N°1, con las del pino radiata, grado GS; se observa que la tepa presenta mejores propiedades, excepto para el módulo de elasticidad en flexión (MOEf), donde hay una diferencia de un 2% en favor del pino radiata.

Al comparar el grado N°2 de la tepa con el grado GS del pino radiata, se observa que la tepa presenta mejores propiedades mecánicas, con excepción de la tensión admisible en cizalle (Fcz), donde el pino radiata es un 64% superior. Sus MOEf son prácticamente iguales.

Cuadro N°14
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA DE RENOVAL DE TEPA

Grado estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión paralela	Compresión normal	Módulo de elasticidad en flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
N°1	15,3	9,0	1,2	13,1	5,0	10.303
N°2	13,2	6,6	0,7	11,3		

Cuadro N°15
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA DE PINO RADIATA

Grado estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión paralela	Compresión normal	Módulo de elasticidad en flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
GS	11	6,0	1,1	8,5	2,5	10.500
G1	7,5	5,0	1,1	7,5		10.000
G2	5,4	4,0	1,1	6,5		8.900

El Cuadro N°16 resume las densidades de las maderas de renoval de tepa y pino radiata.

Se observa que las densidades promedio normal y anhidra de la madera de renoval de tepa son inferiores a las que menciona NCh 1198 (INN, 2014) para la misma especie.

Además, se observa que las densidades promedio normal y anhidra de la madera de renoval de tepa son superiores a las que NCh 1198 menciona para el pino radiata

Cuadro N°16
DENSIDADES NORMAL Y ANHIDRA DE LA TEPA Y P. RADIATA

Densidad	INFOR 2022 Tepa		NCh 1198 Tepa		NCh 1198 Pino Radiata	
	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra
Promedio (Kg/m^3)	528	502	552	520	476	450
Característico (Kg/m^3)	458	418	469	442	391	370

6. CONCLUSIONES

La norma NCh 1970/1 (INN, 2017a) permite clasificar de manera efectiva los grados estructurales visuales de la madera de renoval de tepa, situación que se manifiesta en los gráficos de frecuencia acumulada y el análisis estadístico. En el caso del módulo de elasticidad no se observan diferencias entre las calidades visuales estructurales.

El análisis estadístico de diferencia de medias señala que hay diferencias significativas en la resistencia al cizalle. En el caso de la resistencia a la tracción, flexión y compresión, ellas no cumplieron los supuestos previos y solo se informa el análisis descriptivo. En el caso del módulo de elasticidad en flexión, el análisis estadístico señala que no existen diferencian significativas en la media de los datos obtenidos.

Al comparar las tensiones admisibles de los 2 grados estructurales visuales de la madera de renoval de tepa y el GS del pino radiata, en general los grados N°1 y N°2 son mayores. El grado visual N°1 presenta 4 tensiones admisibles mayores al GS (flexión, tracción, compresión paralela, compresión normal y cizalle) y una de igual magnitud (cizalle). El grado visual N°2 también registra 4 tensiones mayores al GS (flexión, tracción, compresión paralela y compresión normal) y una de menor magnitud (cizalle). Respecto del módulo de elasticidad, la del GS es mayor a la que presentan los grados N°1 y N°2.

Los grados estructurales visuales N°1 y N°2 de la madera de renoval de tepa se pueden asimilar con los grados estructurales F8 que se comercializan en Australia.

El grado estructural N°1 de la madera de renoval de tepa se puede asimilar a un grado D18 europeo. En tanto el grado estructural N°2 no tiene contraparte con un grado D.

7. REFERENCIAS

AENOR (2010). EN 338: Madera estructural. Clases resistentes. Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2016). EN 384: Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Álvarez Gonzalez, V., Poblete Hernández, P., Soto Aguirre, D., Gysling Caselli, J., Kahler González, C. *et al*. (2022). Anuario forestal 2022. INFOR. Boletín Estadístico N° 187.

AS/NZS (2010a). AS/NZS 4063.2: Characterization of structural timber. Part 2: Determination of Characteristic values. Council of Standards Australia and New Zealand.

AS/NZS (2010b). AS/NZS 1720.1: Timber Structures Design Method. Council of Standards Australia and New Zealand.

INN (1987). NCh 789/1. Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2014). NCh 1198. Madera. Construcciones en madera. Cálculo. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2017a). NCh 1970/1. Maderas. Parte 1: Especies latifoliadas. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2017b). NCh 3028/1. Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2017c). NCh 3028/2. Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2019). NCh 176/2. Determinación de la humedad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Pérez Galaz, V. (1983). Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile: Proyecto CONAF/PNUD/FAO.

8. APÉNDICE

8.1 Gráficas Boxplot

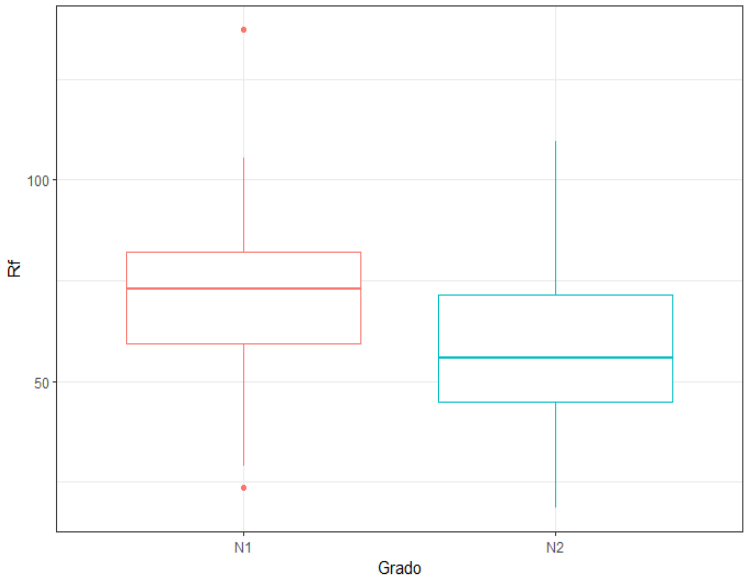


Figura A1
BOXPLOT RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

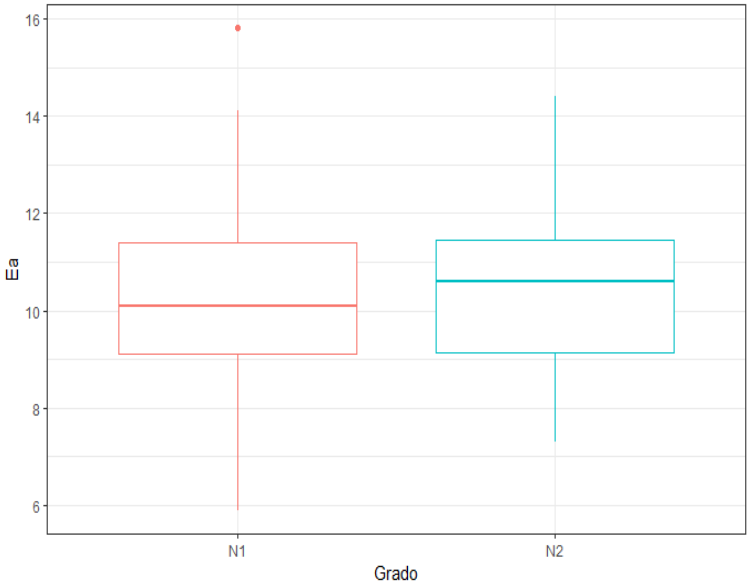


Figura A2
BOXPLOT MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (MOEf)

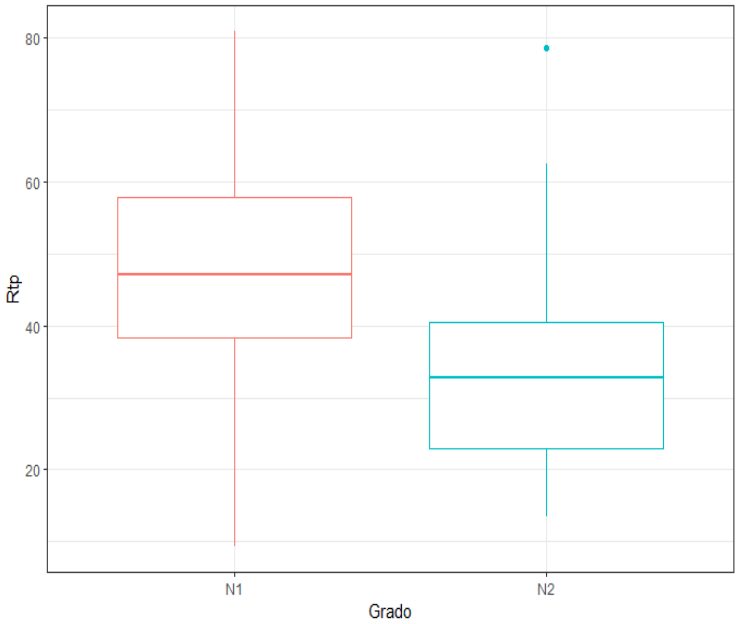


Figura A3
BOXPLOT RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA (Rtp)

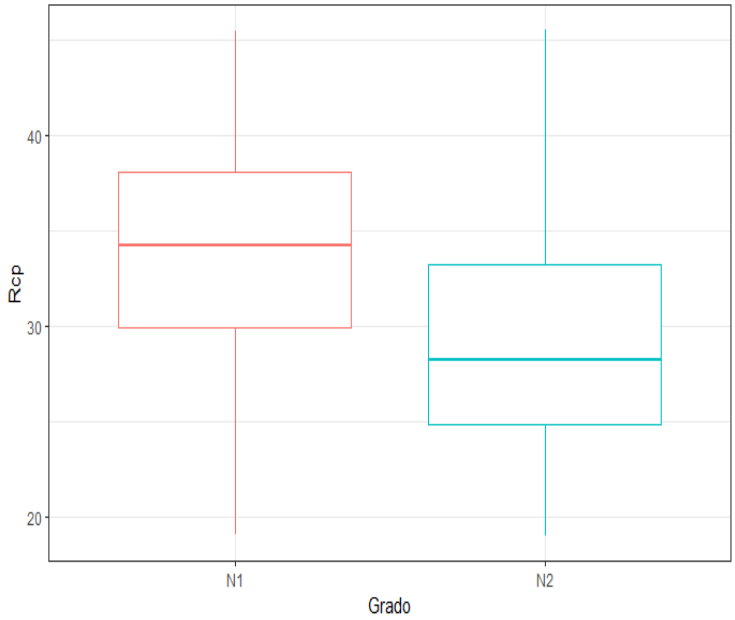


Figura A4
BOXPLOT RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

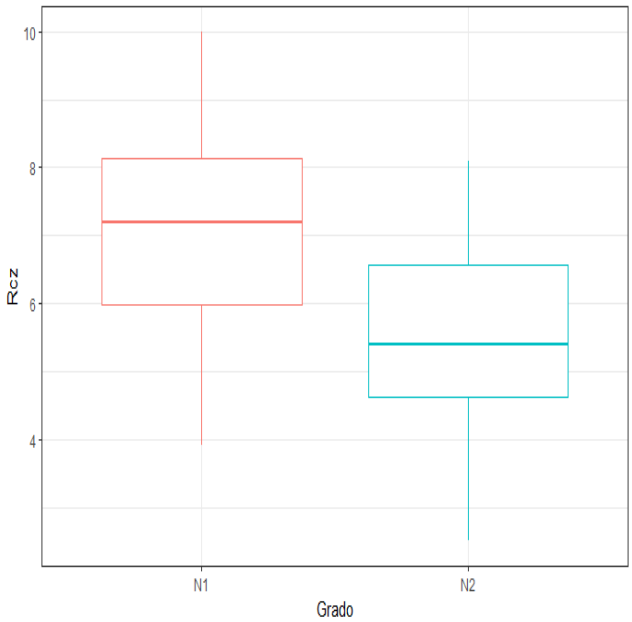


Figura A5
BOXPLOT RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

8.2 Histogramas de Frecuencia

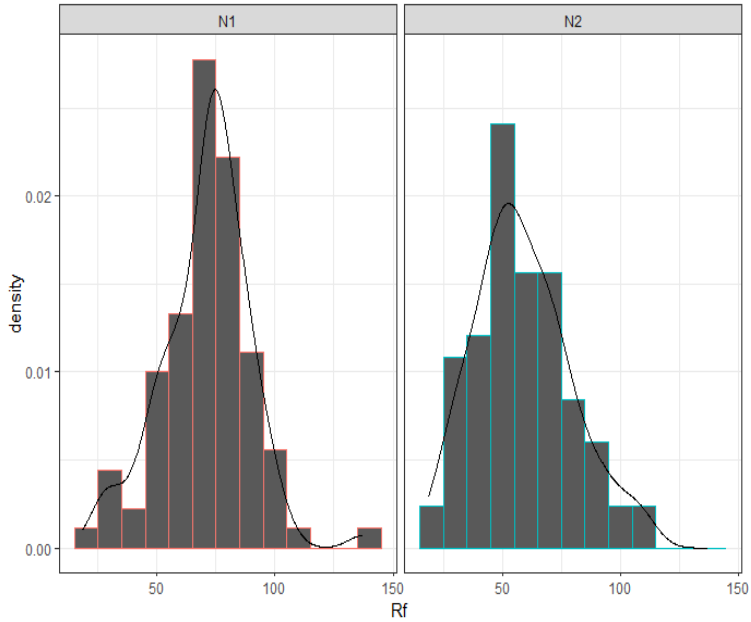


Figura A6
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

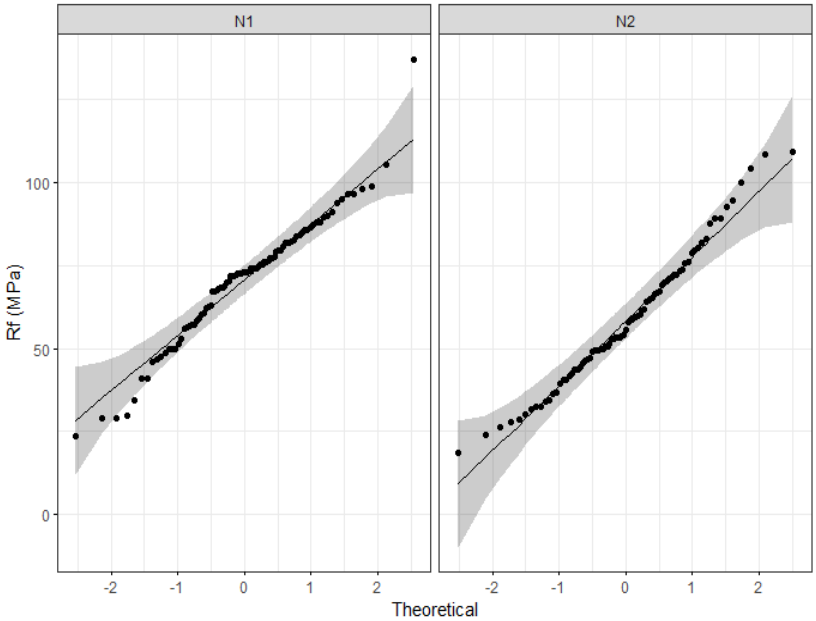


Figura A7
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

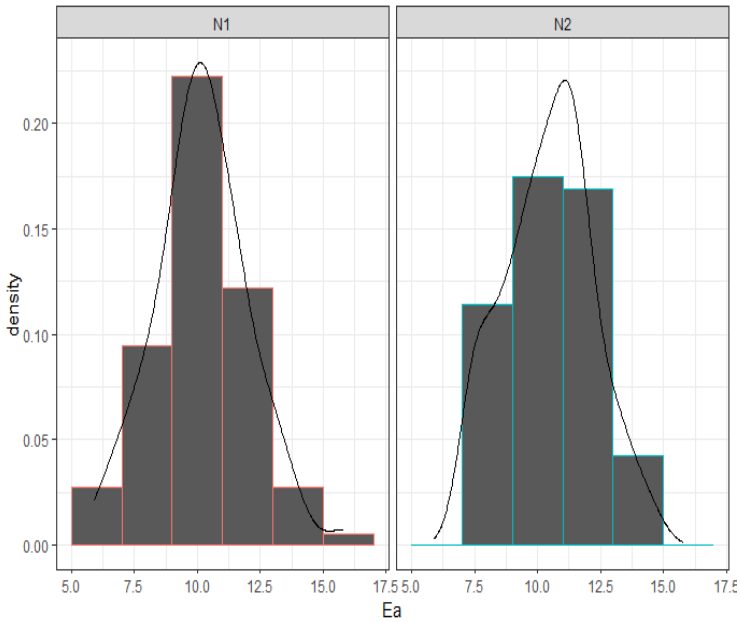


Figura A8
HISTOGRAMA MÓDULO ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (Ef)

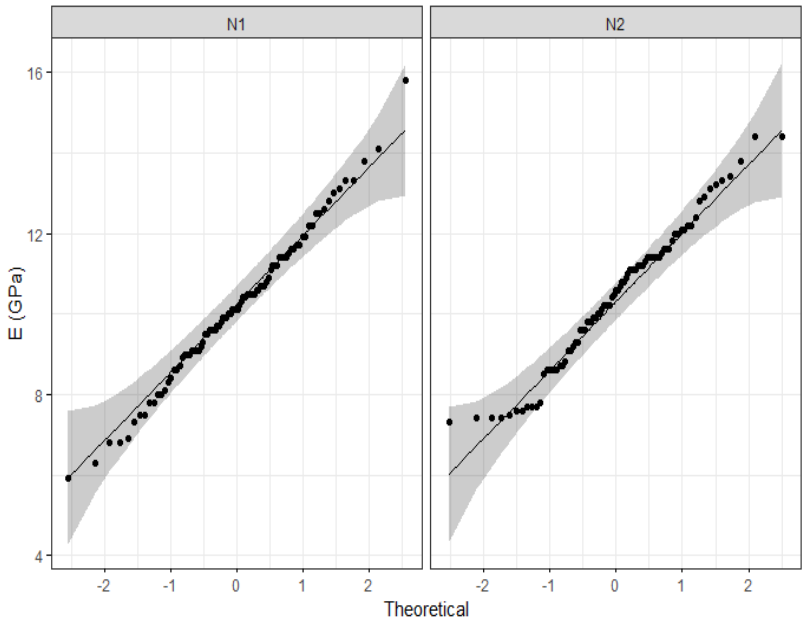


Figura A9
Q-Q PLOT MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (Ef)

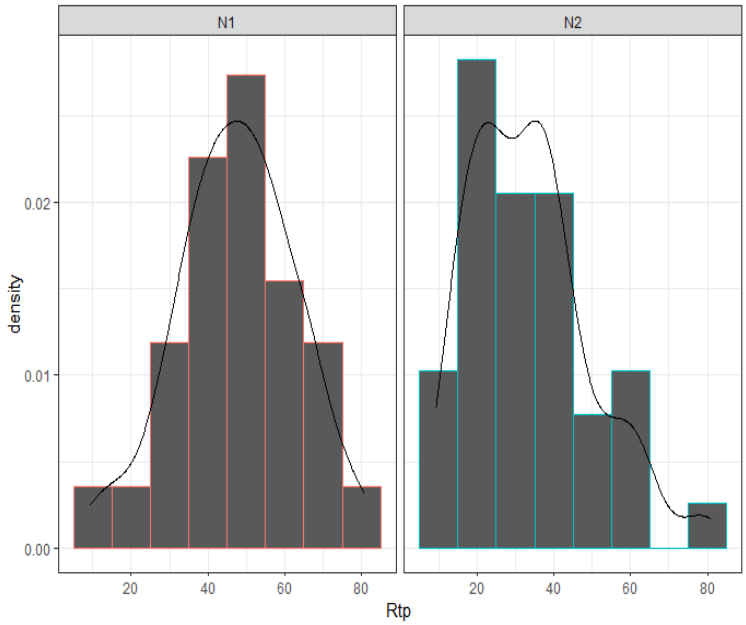


Figura A10
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Rtp)

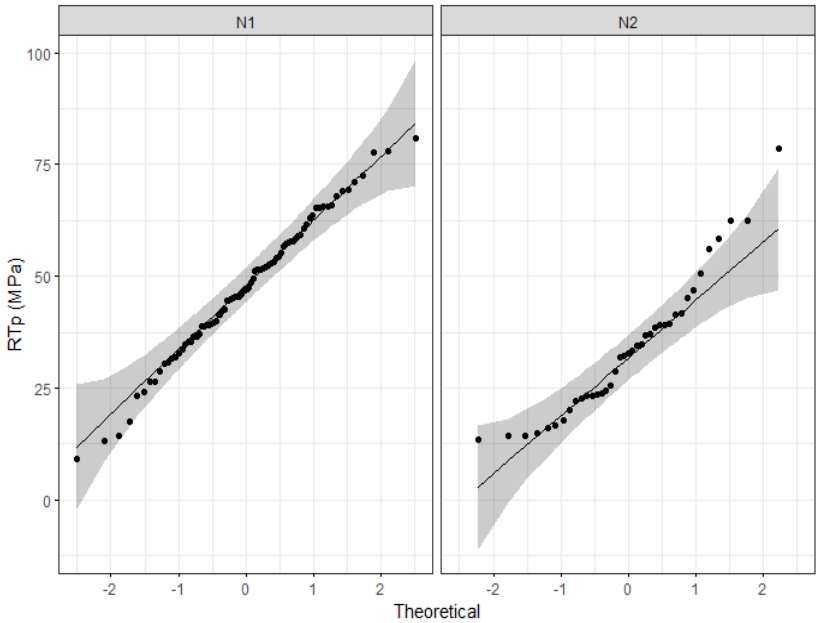


Figura A11
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Rtp)

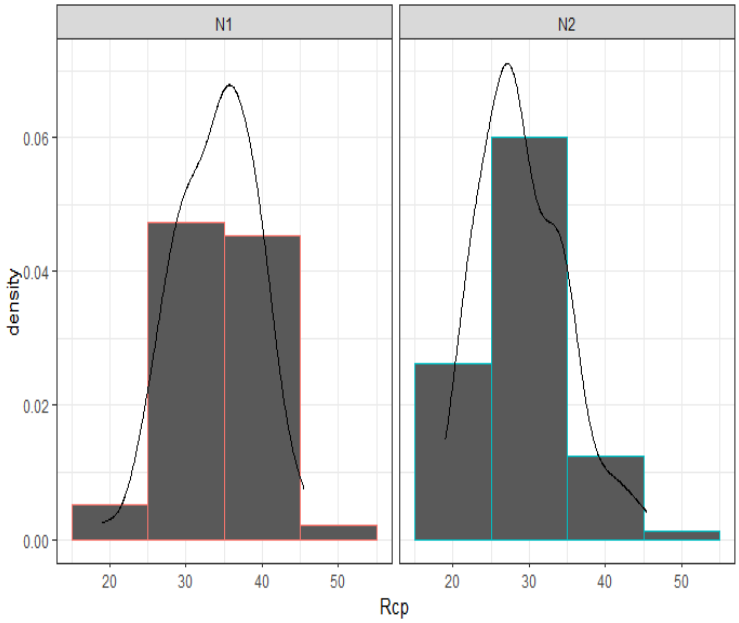


Figura A12
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

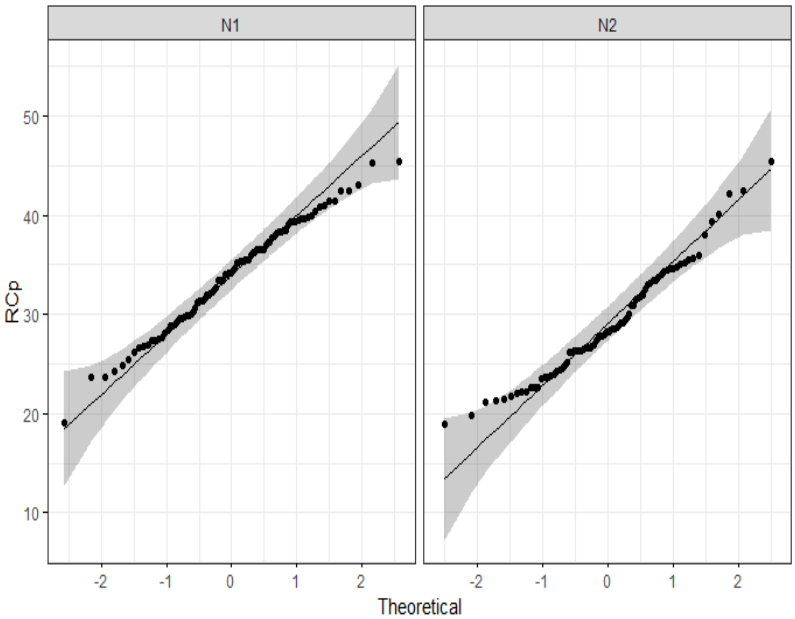


Figura A13
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

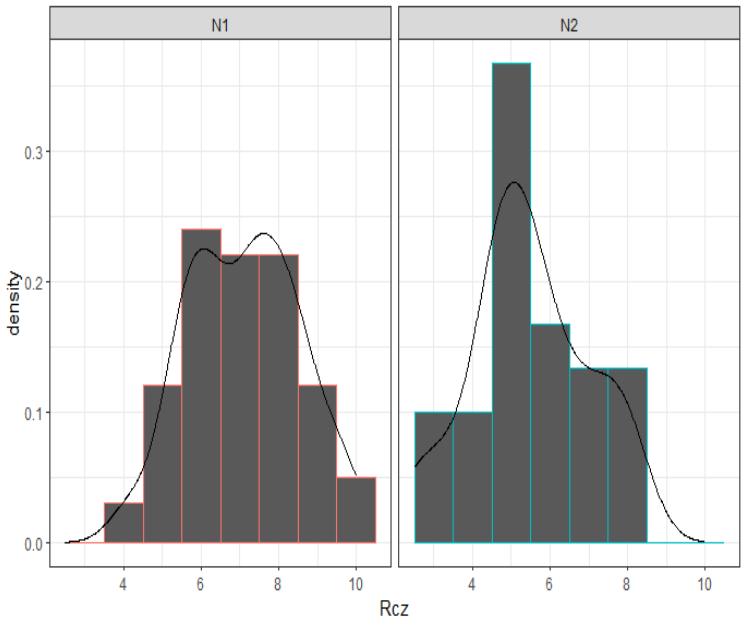


Figura A14
HISTOGRAMA RESISTENCIA AL CIZALLE PARELELO (Rcz)

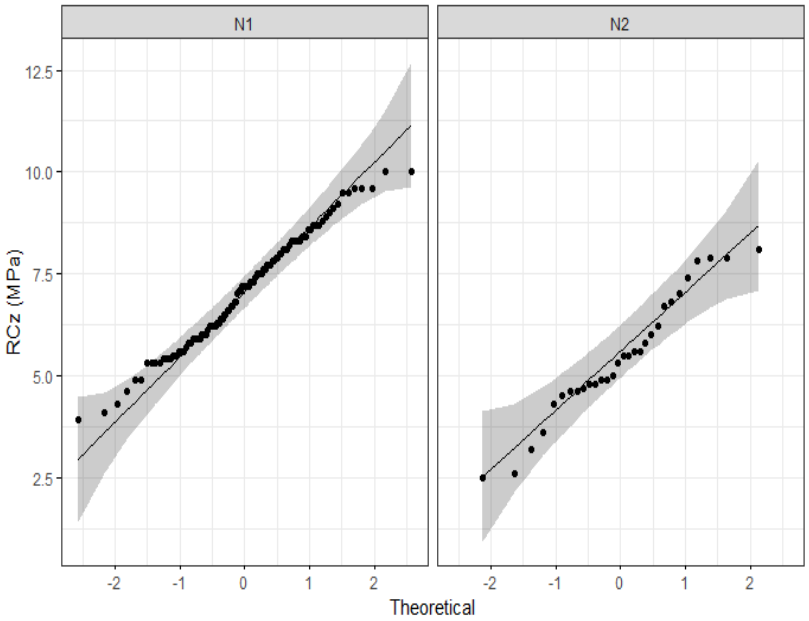


Figura A15
Q-Q PLOT RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

8.3 Independencia de Datos

Se verifica independencia de datos si no existe tendencia en los gráficos de dispersión.

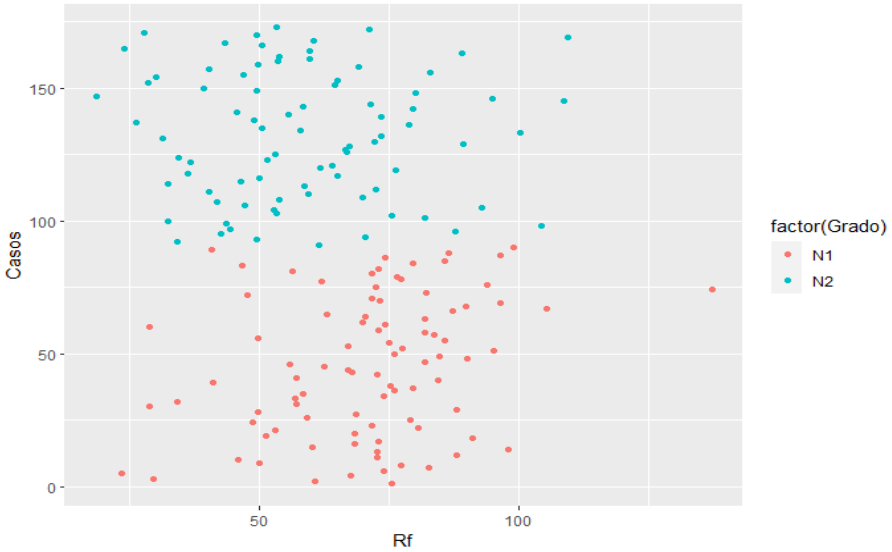


Figura A16
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

Figura A17
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN

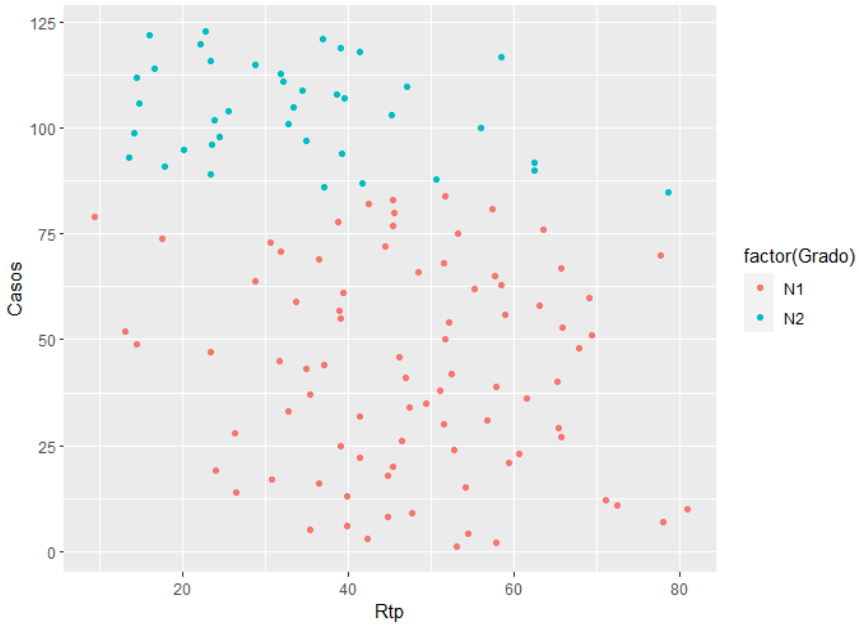


Figura A18
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA (Rtp)

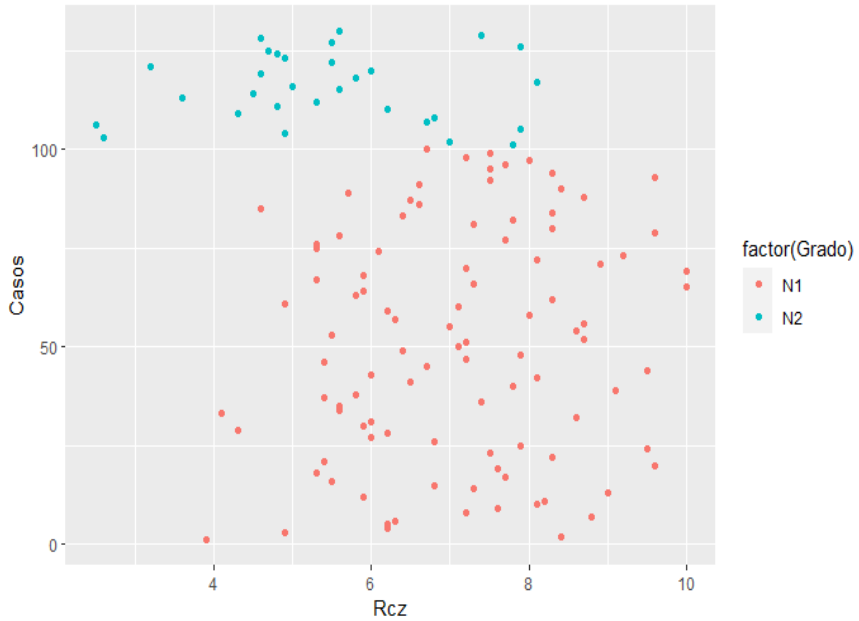


Figura A19
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

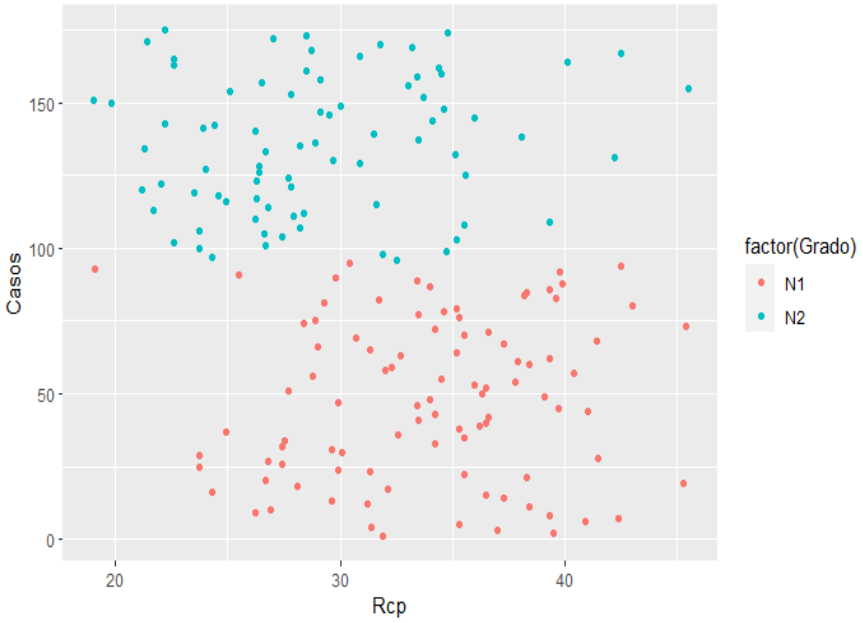


Figura A20
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

8.4 Normalidad de la Muestra: Prueba de Shapiro-Wilk

El test de Shapiro-Wilk permite determinar el ajuste de los datos a una distribución de probabilidad. Se debe obtener el valor P que corresponde al máximo error del modelo *versus* la probabilidad real de ocurrencia de un evento a partir de los datos de la muestra.

El Cuadro A1 registra los valores P-obtenido y P-crítico asociados al test de Shapiro-Wilk. Si el valor P-obtenido es mayor al valor de P-crítico se acepta la hipótesis nula, en caso contrario se rechaza.

H_0: Los datos siguen una distribución normal
H_1: Los datos no siguen una distribución normal

Cuadro A1
RESULTADOS TEST DE SHAPIRO-WILK

Esfuerzo y grado	Valor P obtenido	Valor P Crítico	Distribución
Rf, grado N°1	0,0221	0,05	No normal
Rf, grado N°2	0,21	0,05	Normal
MOEf, grado N°1	0,933	0,05	Normal
MOEf, grado N°2	0,117	0,05	Normal
Rtp, grado N°1	0,921	0,05	Normal
Rtp, grado N°2	0,0231	0,05	No normal
Rcz, grado N°1	0,310	0,05	Normal
Rcz, grado N°2	0,339	0,05	Normal
Rcp, grado N°1	0,733	0,05	Normal
Rcp, grado N°2	0,032	0,05	No normal

8.4 Homocedasticidad: Prueba de Levene

El test de Levene permite determinar si las medias son homogéneas. En este caso si el valor-P obtenido es mayor que el valor-P crítico se acepta la hipótesis nula, en caso contrario ella se rechaza.

Las hipótesis asociadas al test de Levene son las que se indican:

H_0: Las varianzas son homogéneas
H_1: Las varianzas no son homogéneas

El cuadro A2 presenta los resultados obtenidos.

Cuadro A2
RESULTADOS TEST DE LEVENE

Origen de las variaciones entre grupos	Valor-P obtenido	Valor-P crítico	Prueba de varianzas
Resistencia a la flexión (Rf)	0,203	0,05	Homogénea
Módulo de elasticidad flexión (Ef)	0,93	0,05	Homogénea
Resistencia al cizalle (Rcz)	0,8825	0,05	Homogénea
Resistencia a la tracción (Rtp)	0,863	0,05	Homogénea
Resistencia en compresión paralela (Rcp)	0,9144	0,05	Homogénea

INFOR

WWW.INFOR.CL