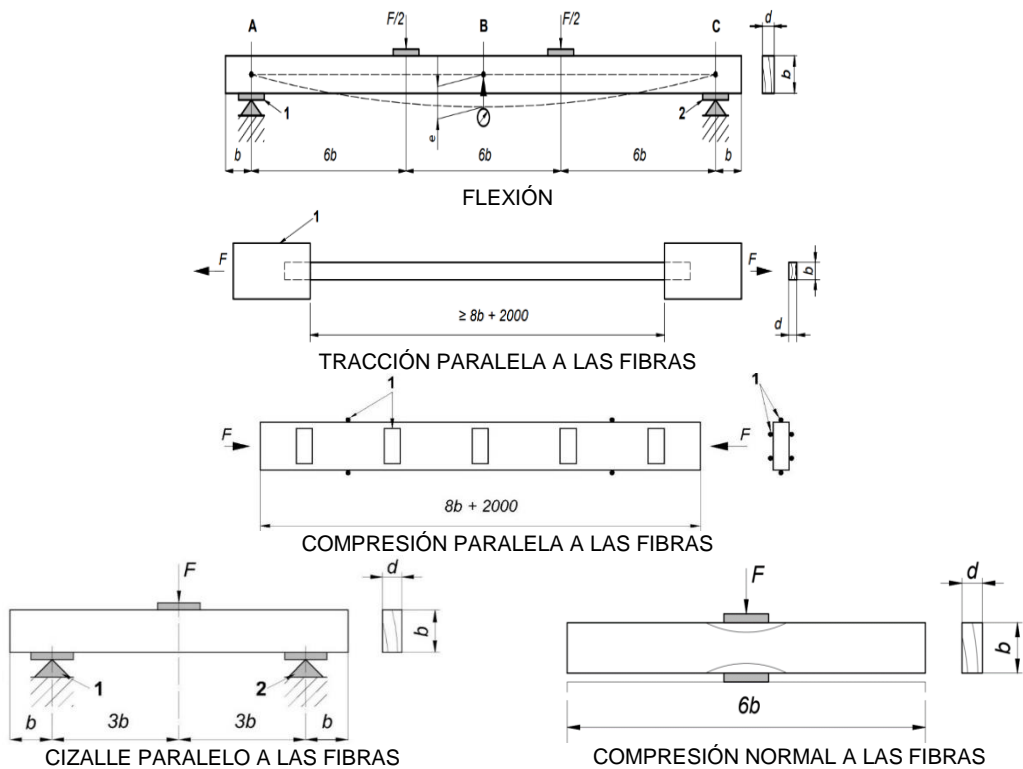


TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE RENOVAL DE LAUREL CON CLASIFICACIÓN VISUAL



**INSTITUTO FORESTAL
2022**



**TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA
ESTRUCTURAL DE RENOVAL DE LAUREL CON
CLASIFICACIÓN VISUAL**

Jorge Catalán Linco¹; 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
2022**

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



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 246 - 0

Registro de Propiedad Intelectual N° 2023 A 268

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 (2022). Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada Estructural de Renoval de Laurel con Clasificación Visual. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N°254. P. 40.

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 laurel, 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	1
3.	MATERIAL Y MÉTODO	2
3.1	Madera Aserrada	2
3.2	Ensayos Mecánicos y Físicos	2
3.2.1	Ensayo a la flexión	2
3.2.2	Ensayo a la tracción paralela a las fibras	3
3.2.3	Ensayo a la compresión paralela a las fibras	3
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	10
5.1	Prueba T-Student	10
5.2	Frecuencias Acumuladas y Distribución de Datos	11
5,3	Valores Característicos	13
5.4	Tensiones Admisibles del Renoval de Laurel y de Pino Radiata	15
6.	CONCLUSIONES	17
7.	REFERENCIAS	18
8.	ANEXO	19

1. INTRODUCCIÓN

El año 2020 las plantaciones forestales del país cubrieron 2.329.521 ha, destacando el pino radiata con 1.293.426 hectáreas, equivalente al 56% (Soto *et al.*, 2021).

La producción nacional de madera aserrada el año 2021 alcanzó 8.683.460 m³, de los cuales el 98% correspondió a pino radiata (Soto *et al.*, 2021).

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.

El laurel (*Laurelia sempervirens*) es una especie endémica de Chile que pertenece a la familia *Monimiaceae*. Se le encuentra entre Colchagua y Puerto Montt, creciendo solo en la cordillera de Los Andes hacia al norte de Concepción. El clima que habita es templado, de intensas lluvias en invierno y con algunos meses de calor y sequía durante el verano. Crece en suelos más o menos profundos y medianamente húmedos. Hacia el norte solo se desarrolla en quebradas y en exposición sur. Hacia el sur es más abundante y crece especialmente bajo los 500 msnm, asociándose preferentemente con roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) (CONAF/PNUD/FAO, 1983).

Es un árbol mediano, cuya altura puede alcanzar hasta los 40 m, con un diámetro que puede llegar a los 2 m. El tronco es recto y cilíndrico. Lo reviste una corteza de color pardo amarillo, con placas circulares espiraladas. Es de rápido crecimiento, en condiciones favorables y en bosques adecuadamente cuidados, puede alcanzar tamaños explotables entre los 50 a 70 años (CONAF/PNUD/FAO, 1983).

Los estudios tecnológicos que se deben considerar para incorporar la madera aserrada de renoval de laurel como materia prima para la construcción, se refieren a las propiedades mecánicas y la durabilidad natural de su madera, información que posteriormente hay que incorporar 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 laurel con clasificación visual.

2. OBJETIVOS

Este estudio tiene por objetivo general evaluar las tensiones admisibles de la madera aserrada estructural de renoval de laurel con clasificación visual y los objetivos específicos del estudio son:

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

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Madera Aserrada

La procedencia de la madera corresponde al sector Fundo Las Vertientes, Panguipulli, Región de Los Ríos, y su edad se estima en 55 años.

Se seleccionaron 539 piezas de madera aserrada para los ensayos mecánicos, con un contenido de humedad inferior al 19%, escuadría 2x4", cepillada (45x90 mm), y que cumplen 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	65	65
Tracción	65	58
Cizalle	65	65
Compresión paralela	65	61
Compresión normal	30	
Total	539	

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 (R_f) y rigidez a la flexión (E_f). Las Figuras N°1 y N°2 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

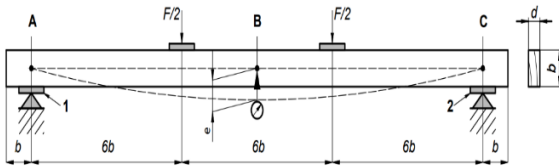


Figura N° 1
ESQUEMA ENSAYO DE FLEXIÓN

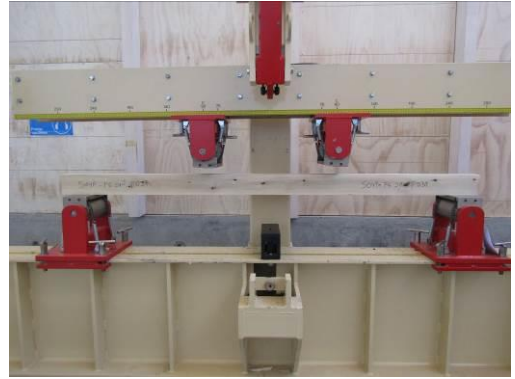


Figura N° 2
IMPLEMENTACIÓN ENSAYO DE FLEXIÓN

3.2.2 Ensayo a la tracción paralela a las fibras

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

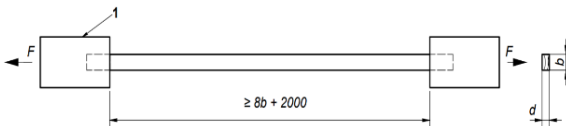


Figura N° 3
ESQUEMA ENSAYO DE TRACCIÓN



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 (R_{cp}). Las Figuras N°5 y N°6 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

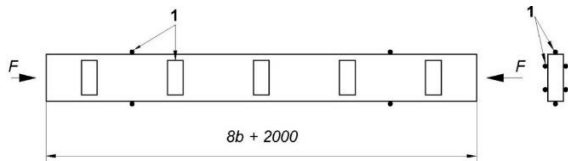


Figura N°5
ESQUEMA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN
PARALELA (NCh 3028/1)



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 (R_{cz}). Las Figuras N°7 y N°8 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

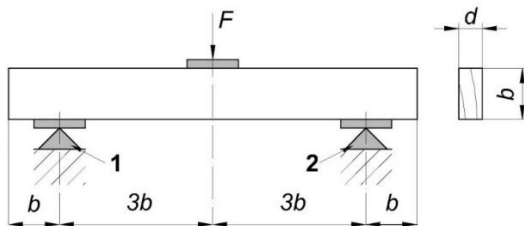


Figura N°7
ESQUEMA DEL ENSAYO AL CIZALLE
(NCh 3028/1)



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 (R_{cn}). Las Figuras N°9 y N°10 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

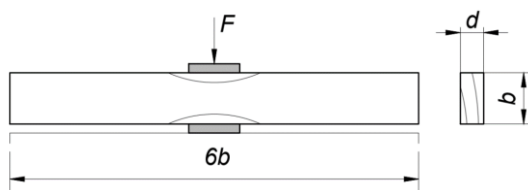


Figura N°9
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN
NORMAL (NCh 3028/1)



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 (MOE_f , F_f), tracción paralela (F_{tp}), cizalle paralelo (F_{cz}), compresión paralela (F_{cp}) y compresión normal (F_{cn}) 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 (R_f , MOE_f), la tracción paralela (R_{tp}), la compresión paralela (R_{cp}), el cizalle paralelo (R_{cz}) y la compresión normal (R_{cn}).

El Cuadro N°8 resume las tensiones admisibles de la madera aserrada de renoval laurel, 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)	58,3	50,9
Máximo (MPa)	90,5	80,3
Mínimo (MPa)	28,8	24,6
Rango (MPa)	61,7	55,7
Tamaño de muestra	65	65
Desviación estándar (MPa)	14,04	13,4
Coefficiente de variación (%)	24%	26%
5to percentil	33,7	29,1
Admisible	16,0	13,9

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

Descripción	Grado N°1 MOEf, 12%	Grado N°2 MOEf, 12%
Promedio (MPa)	9.591	8.804
Máximo (MPa)	12.769	11.423
Mínimo (MPa)	5.411	5.604
Rango (MPa)	7.357	5.819
Tamaño de muestra	65	65
Desviación estándar (MPa)	1.367	1.143
Coefficiente de variación (%)	14%	13%

**Cuadro N°4
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA**

Descripción	Grado N°1 Rtp, 12%	Grado N°2 Rtp, 12%
Promedio (MPa)	42,6	28,4
Máximo (MPa)	67,7	50,7
Mínimo (MPa)	18,1	14,2
Rango (MPa)	49,7	36,5
Tamaño de muestra	65	58
Desviación estándar (MPa)	10,4	8,3
Coefficiente de variación (%)	24%	29%
5to percentil	23,1	17,1
Admisible	11,0	8,1

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

Descripción	Grado N°1 Rcp, 12%	Grado N°2 Rcp, 12%
Promedio (MPa)	32,1	29,1
Máximo (MPa)	51,2	45,1
Mínimo (MPa)	15,4	13,8
Rango (MPa)	35,8	31,3
Tamaño de muestra	65	61
Desviación estándar (MPa)	7,3	5,6
Coeficiente de variación (%)	23%	19%
5to percentil	20,1	18,7
Admisible	10,6	9,8

**Cuadro N°6
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO**

Descripción	Grado N°1 Rcz, 12%	Grado N°2 Rcz, 12%
Promedio (MPa)	5,6	4,8
Máximo (MPa)	7,6	7,3
Mínimo (MPa)	3,5	2,6
Rango (MPa)	4,1	4,7
Tamaño de muestra	65	65
Desviación estándar (MPa)	0,8	1,1
Coeficiente de variación (%)	15%	22%
5to percentil	4,4	3,1
Admisible	1,1	0,8

**Cuadro N°7
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL**

Descripción	Rcn, 12%
Promedio (MPa)	10,4
Máximo (MPa)	17,8
Mínimo (MPa)	8,0
Rango (MPa)	9,8
Tamaño de muestra	30
Desviación estándar (MPa)	2,1
Coeficiente de variación (%)	20%
5to percentil	8,1
Admisible	4,9

Cuadro N°8
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE RENOVAL DE LAUREL

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	16,0	11,0	1,1	10,6	4,9	9.591
N°2	13,9	8,1	0,8	9,8		8.804

* En el caso de la tensión admisible en compresión paralela (Fcp), considerando que existe una superposición de datos en la zona del quinto percentil, se ejecutó un análisis estadístico paramétrico para estimar el valor característico de las muestras, según NCh 3028/2. Las otras propiedades se derivaron con análisis estadístico no paramétrico.

Las Figuras N°12 a N°16 muestran las fallas características de la madera aserrada a los esfuerzos a flexión, tracción paralela, compresión paralela, cizalle paralelo 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°12
FLEXIÓN
FALLA DESDE BORDE EN TRACCIÓN



Figura N°13
TRACCIÓN PARALELA
FALLA EN FIBRA DESVIADA



Figura N°14
CIZALLE
FALLA EN SENTIDO LONGITUDINAL



Figura N°15
COMPRESIÓN PARALELA
FALLA EN FIBRA DESVIADA



Figura N°16
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]	490	467
Máximo [Kg/m ³]	656	628
Mínimo [Kg/m ³]	348	388
Rango [Kg/m ³]	307,9	240
Tamaño de muestra	509	123
Desviación estándar [Kg/m ³]	48,5	48
Coefficiente de variación (%)	10%	9,7%
5to percentil [Kg/m ³]	423	398

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 R_f , MOE_f , R_{tp} y R_{cp} los cumplen (ver anexo).

El Cuadro N°10 registra los valores P de la prueba T-Student ejecutada, que permiten aceptar o rechazar la hipótesis 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 $\alpha=0,05$ (5%), se observa que las resistencias a la flexión (R_f), la tracción paralela (R_{tp}) y la compresión paralela (R_{cp}), además del módulo de elasticidad en flexión (E_f), presentan medias con diferencias significativas.

En el caso de la resistencia al cizalle paralelo (R_{cz}), se realizó un análisis descriptivo ya que el cizalle paralelo no cumplió el de varianzas homeogéneas.

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 (R_f)	0,00138	0,05	Se rechaza H_0
Módulo de elasticidad en flexión (E_f)	0,00054	0,05	Se rechaza H_0
Resistencia a la Tracción paralela (R_{tp})	1,14x10e-13	0,05	Se rechaza H_0
Resistencia al Cizalle paralelo (R_{cz})	Solo admite análisis descriptivo		
Resistencia a la Compresión paralela (R_{cp})	0,0123	0,05	Se rechaza H_0

5.2 Frecuencias Acumuladas y Distribución de Datos

Las Figuras N°19 a N°23 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.

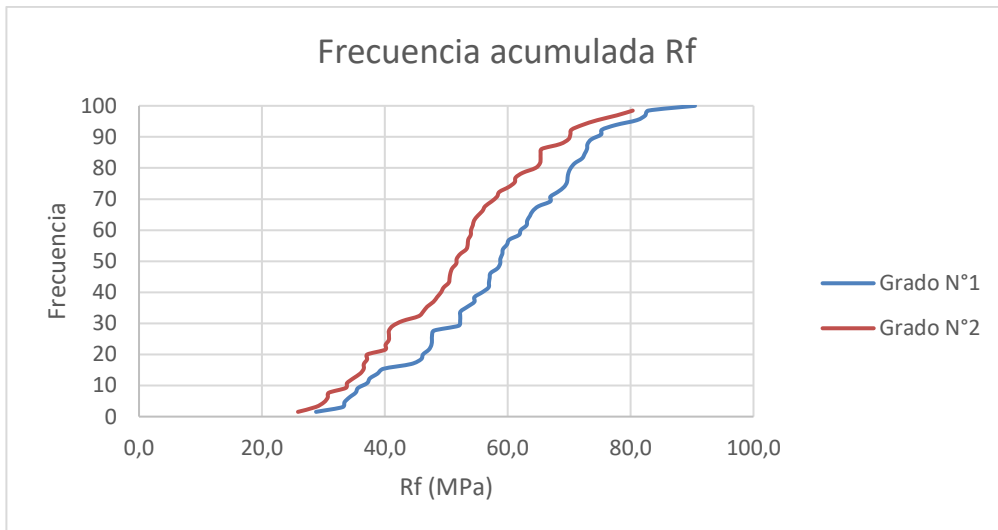


Figura N°19
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

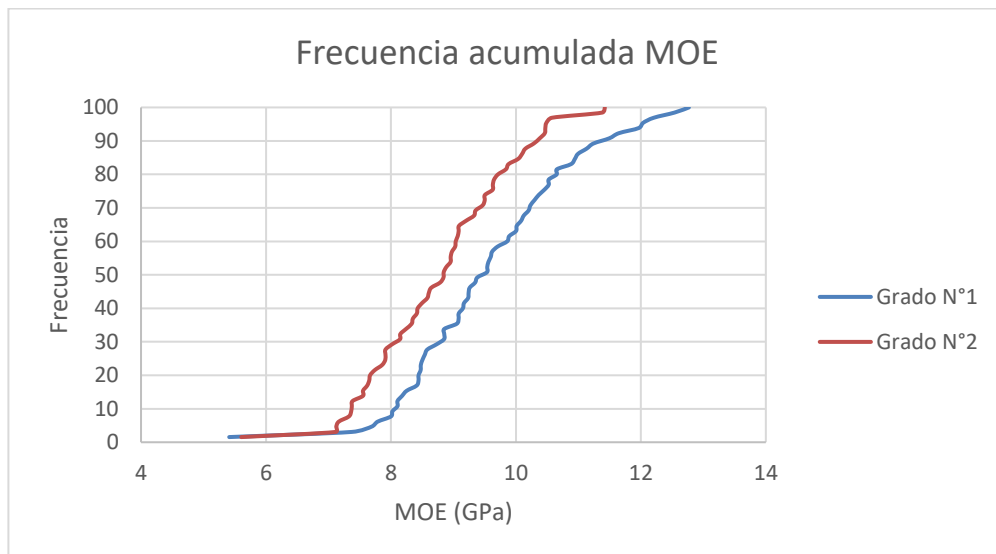


Figura N°20
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

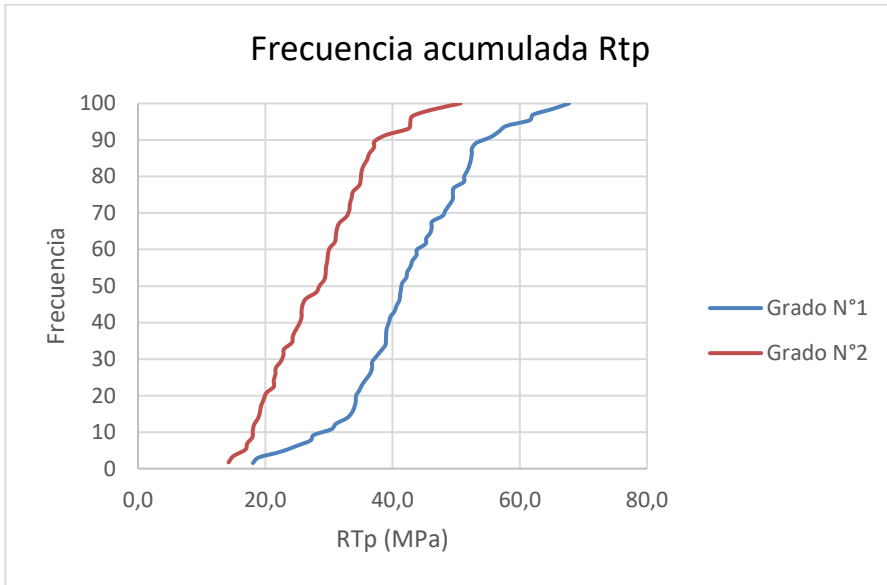


Figura N°21
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

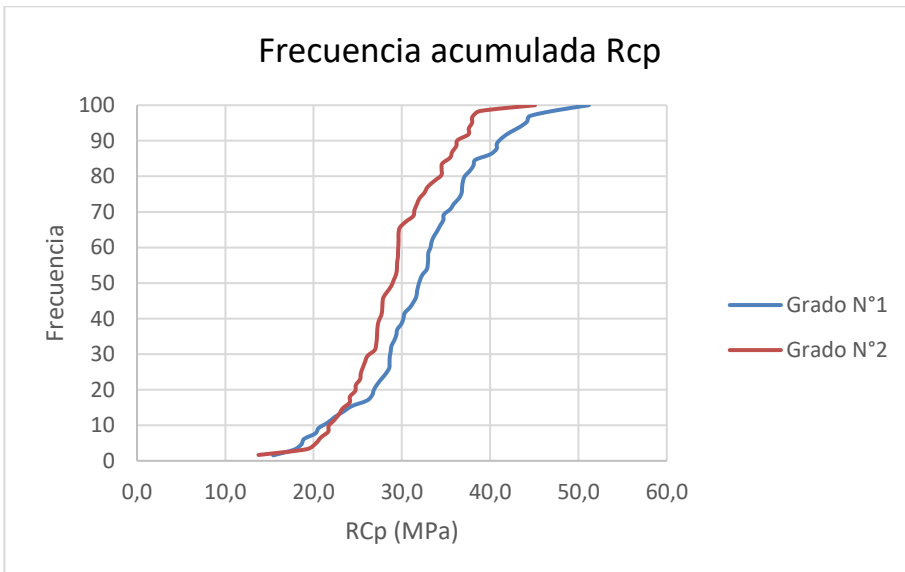


Figura N°22
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

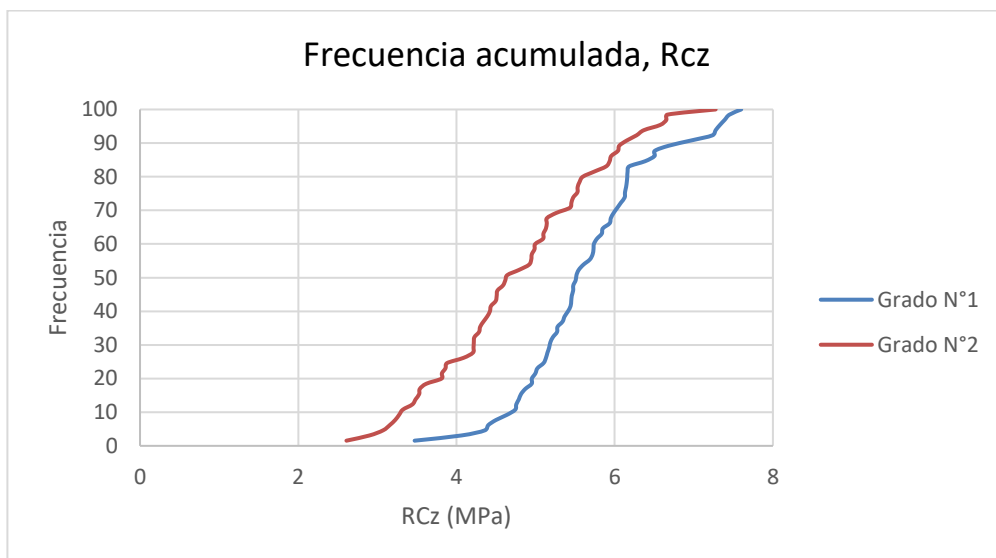


Figura N°23
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA AL CIZALLE

5,3 Valores Característicos

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

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 386 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	Rcp	Rtp	Rcz	Rcn	Ef
N°1	NCh 3028	33,7	20,1	23,1	4,4	8,1	9.591
	AS/NZS 4063	37,6	22,0	26,8	4,5	7,6	9.779
	EN 386	29,9	15,1	16,6	3,5	6,8	10.079
N°2	NCh 3028	29,1	18,7	17,1	3,1	8,1	8.804
	AS/NZS 4063	31,0	21,3	16,7	3,3	7,6	8.934
	EN 386	24,8	15,1	12,3	2,5	6,8	9.009

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 de elasticidad medio paralelo a la fibra	9,5	10	11	12	13	14
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5%)	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la 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 laurel, calculados con la metodología en NCh 3028/2, se asocian a los grados D y F que se indican:

- Grado estructural N°1, con el grado F8
- Grado estructural N°2, con el grado F7
- Los grado estructurales N°1 y N°2 no califican en un grado estructural D

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

5.4 Tensiones Admisibles del Renoval de Laurel y de Pino Radiata

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

Al comparar las tensiones admisibles de la madera aserrada de renoval de laurel, grado estructural N°1, con las del pino radiata, grado GS; se observa que el laurel presenta mejores propiedades, excepto para el módulo de elasticidad en flexión (MOEf), donde hay una diferencia de un 9,5% en favor del pino radiata.

Al comparar el grado N°2 del laurel con el grado GS del pino radiata, se observa que el laurel presenta mejores propiedades mecánicas, con excepción de la tensión admisible en cizalle (Fcz), donde el pino radiata es un 38% superior. El módulo de elasticidad en flexión (MOEf) del pino radiata es un 19,3% mayor.

**Cuadro N°14
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA DE RENOVAL DE LAUREL**

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	16,0	11,0	1,1	10,6	4,9	9.591
N°2	13,9	8,1	0,8	9,8		8.804

**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°17 resume las densidades del renoval de laurel y el pino radiata.

Se observa que las densidades promedio normal y anhidra de la madera de renoval de Laurel son superiores a las que NCh 1198 menciona para el Pino radiata, tanto en la condición normal como anhidra.

**Cuadro N°17
DENSIDADES NORMAL Y ANHIDRA DEL LAUREL Y P. RADIATA**

Densidad	INFOR 2022 Laurel		NCh 1198 Pino radiata	
	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra
Promedio (Kg/m ³)	490	467	476	450
Característico (Kg/m ³)	423	398	391	370

6. CONCLUSIONES

La norma NCh 1970/1 permite clasificar de manera efectiva los grados estructurales visuales de la madera de renoval de laurel, situación que se manifiesta en los gráficos de frecuencia acumulada y el análisis estadístico, aun cuando existe una superposición de la zona del percentil 5 para la propiedad de compresión paralela.

El análisis estadístico de diferencia de medias señala que hay diferencias significativas en las resistencias en flexión, tracción, compresión, además del módulo de elasticidad en flexión. En el caso de la resistencia al cizalle, el análisis descriptivo respalda la misma conclusión.

Al comparar las tensiones admisibles de los 2 grados estructurales visuales de la madera de renoval de laurel 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 y compresión normal) 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 laurel se pueden asimilar con los grados estructurales F7 y F8 que se comercializan en Australia.

Los grados estructurales visuales de la madera de renoval de laurel no tienen contraparte de grado D que se comercializa en Europa, considerando que no cumplen las resistencias características mínimas en compresión y tracción paralela a las fibras.

7. REFERENCIAS

CONAF/PNUD/FAO (1983). Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Chile

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

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

Soto Aguirre, D., Gysling Caselli, J., Kahler González, C., Poblete Hernández, P. Álvarez Conzalez, V. et al. (2021). Anuario forestal 2021. INFOR. Boletín Estadístico N° 180. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31292>

8. ANEXO

8.1 Gráficas Boxplot

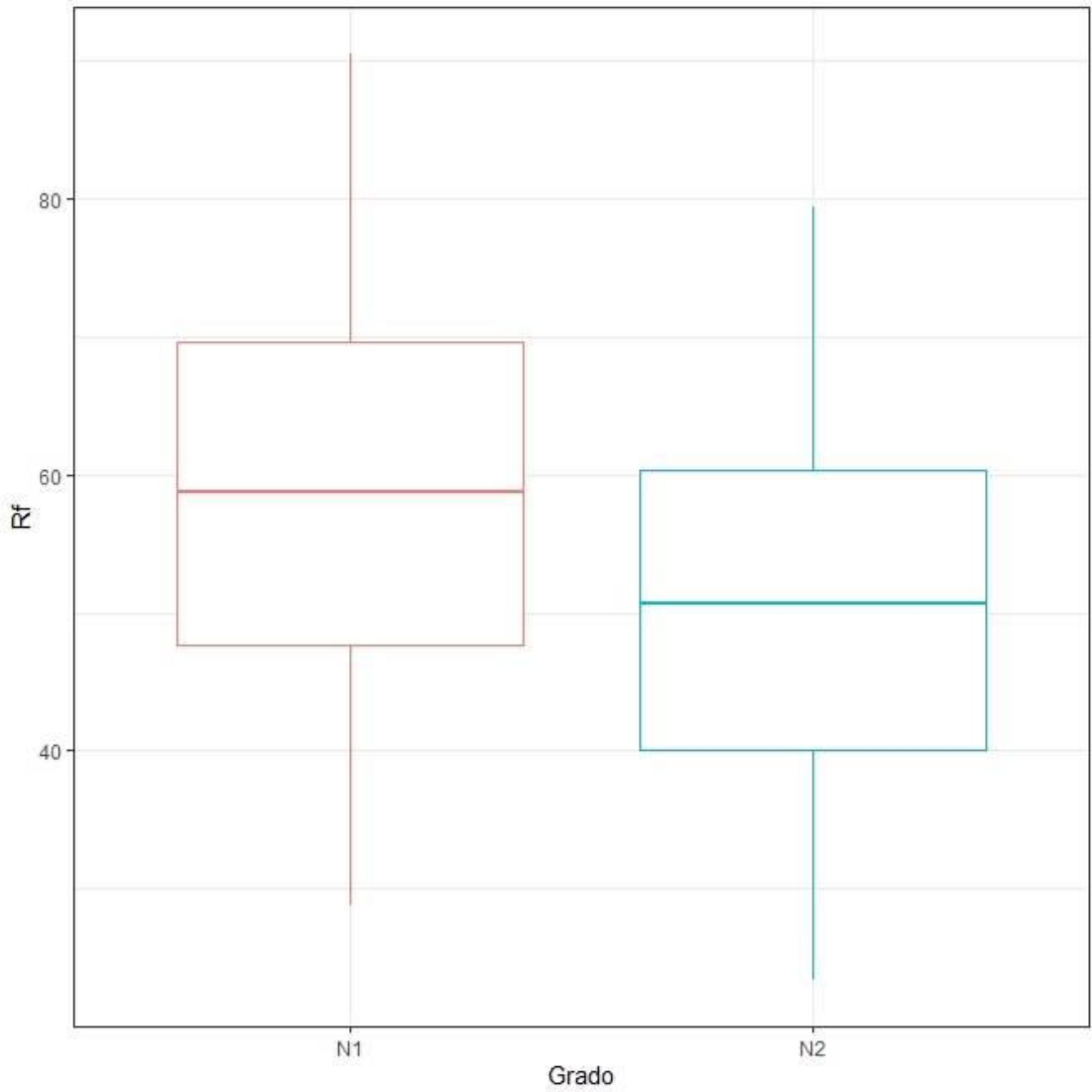


Figura A1
BOXPLOT RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

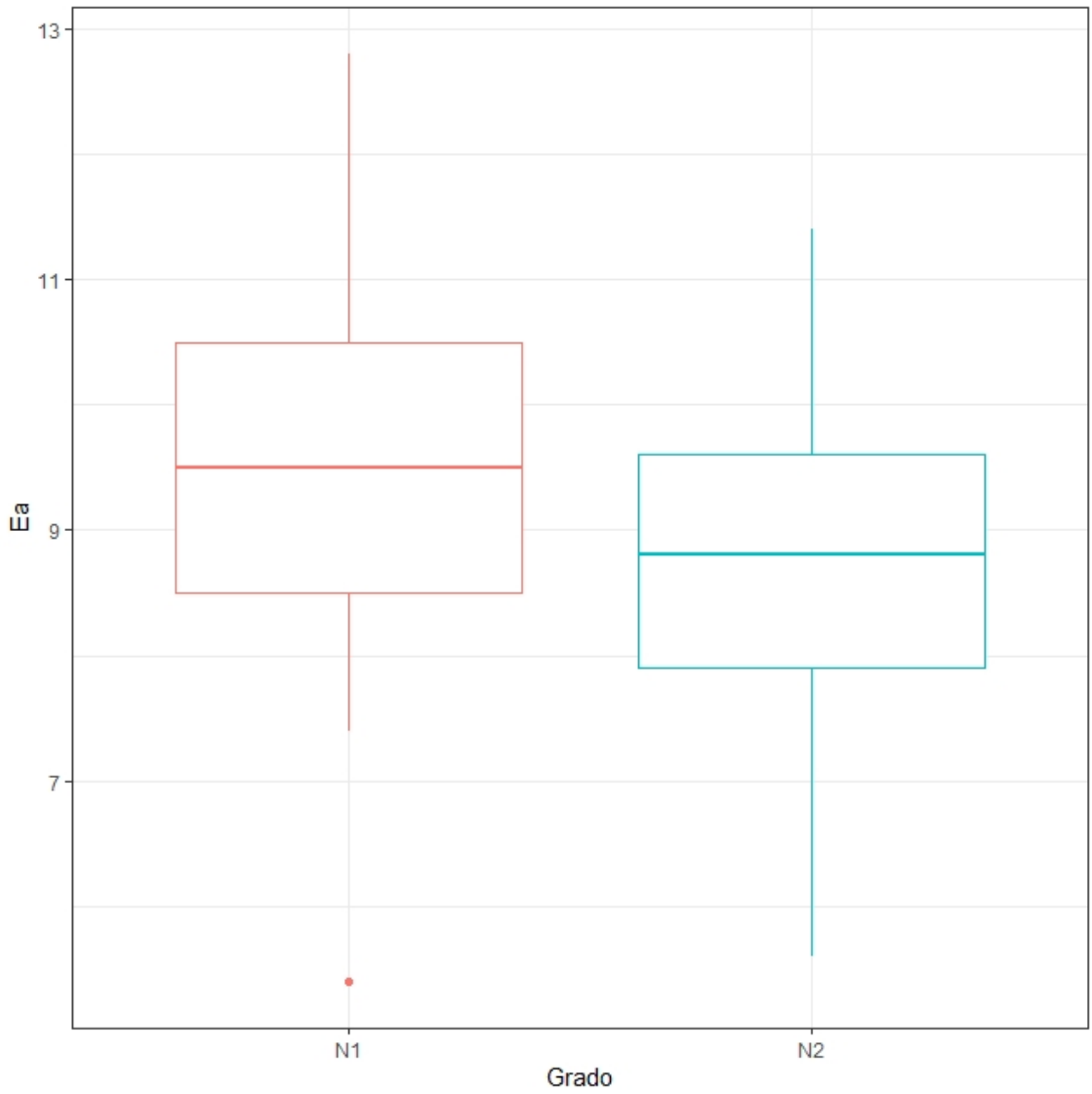


Figura A2
BOXPLOT MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (MOEf)

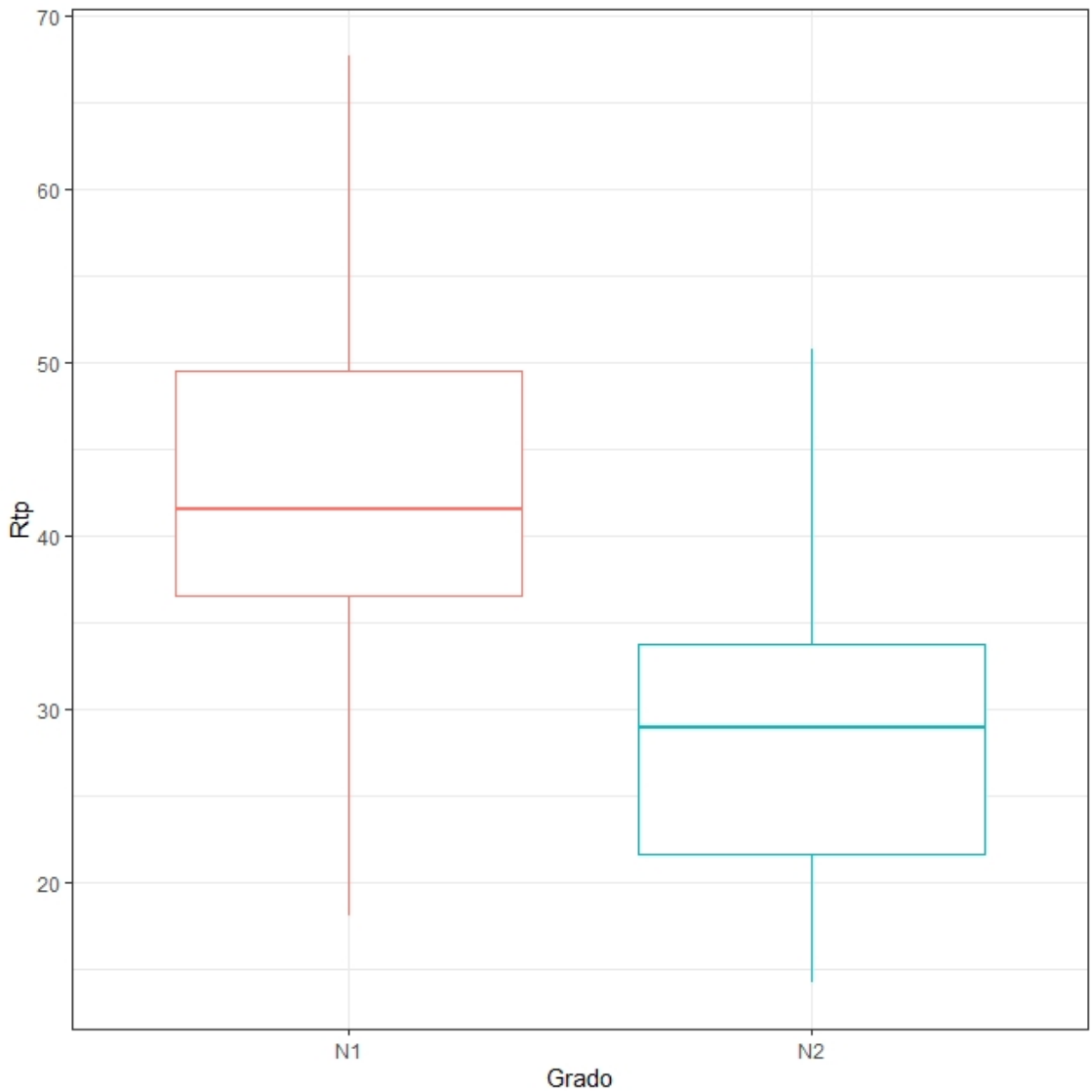


Figura A3
BOXPLOT RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA (Rtp)

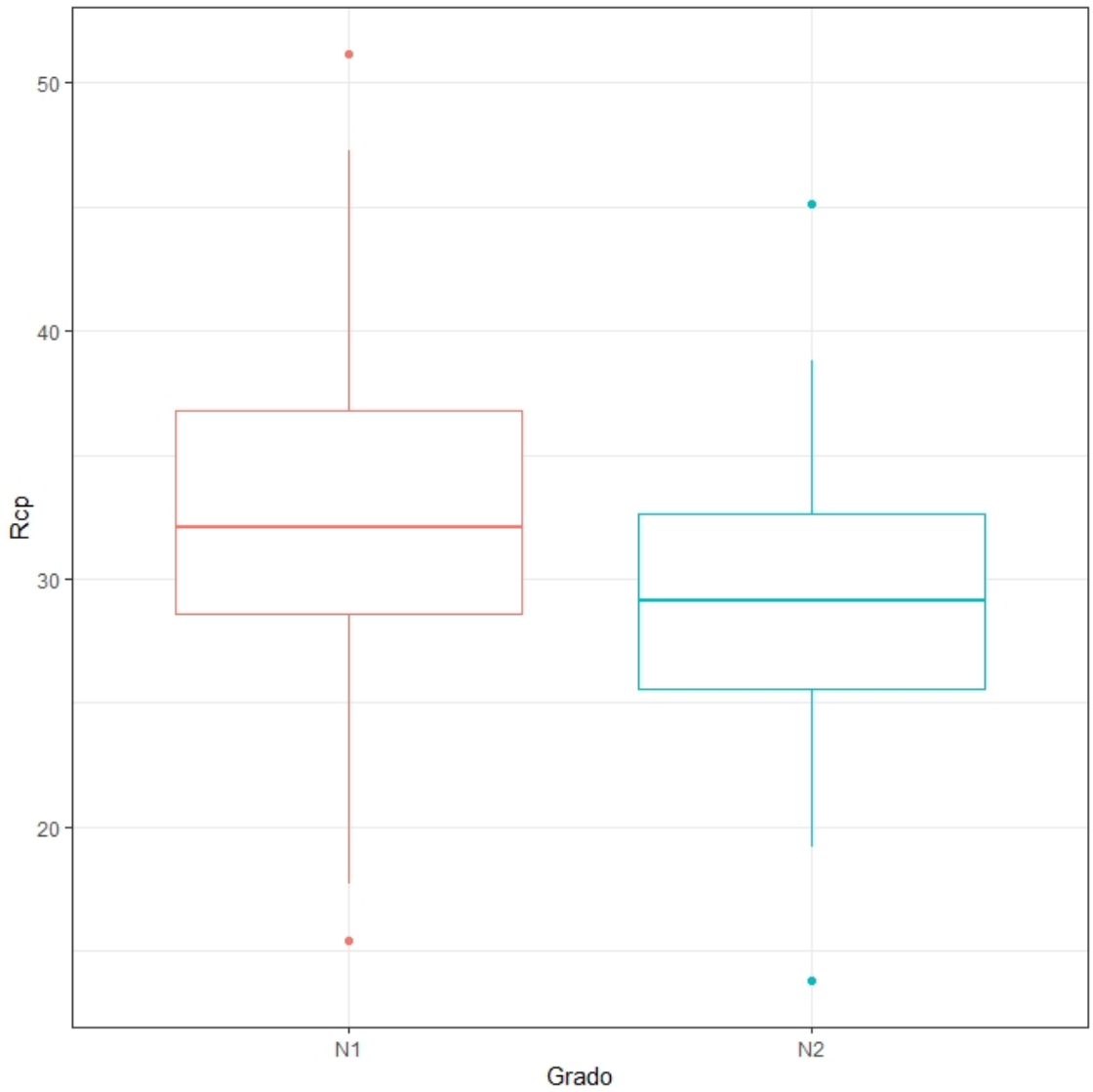


Figura A4
BOXPLOT RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

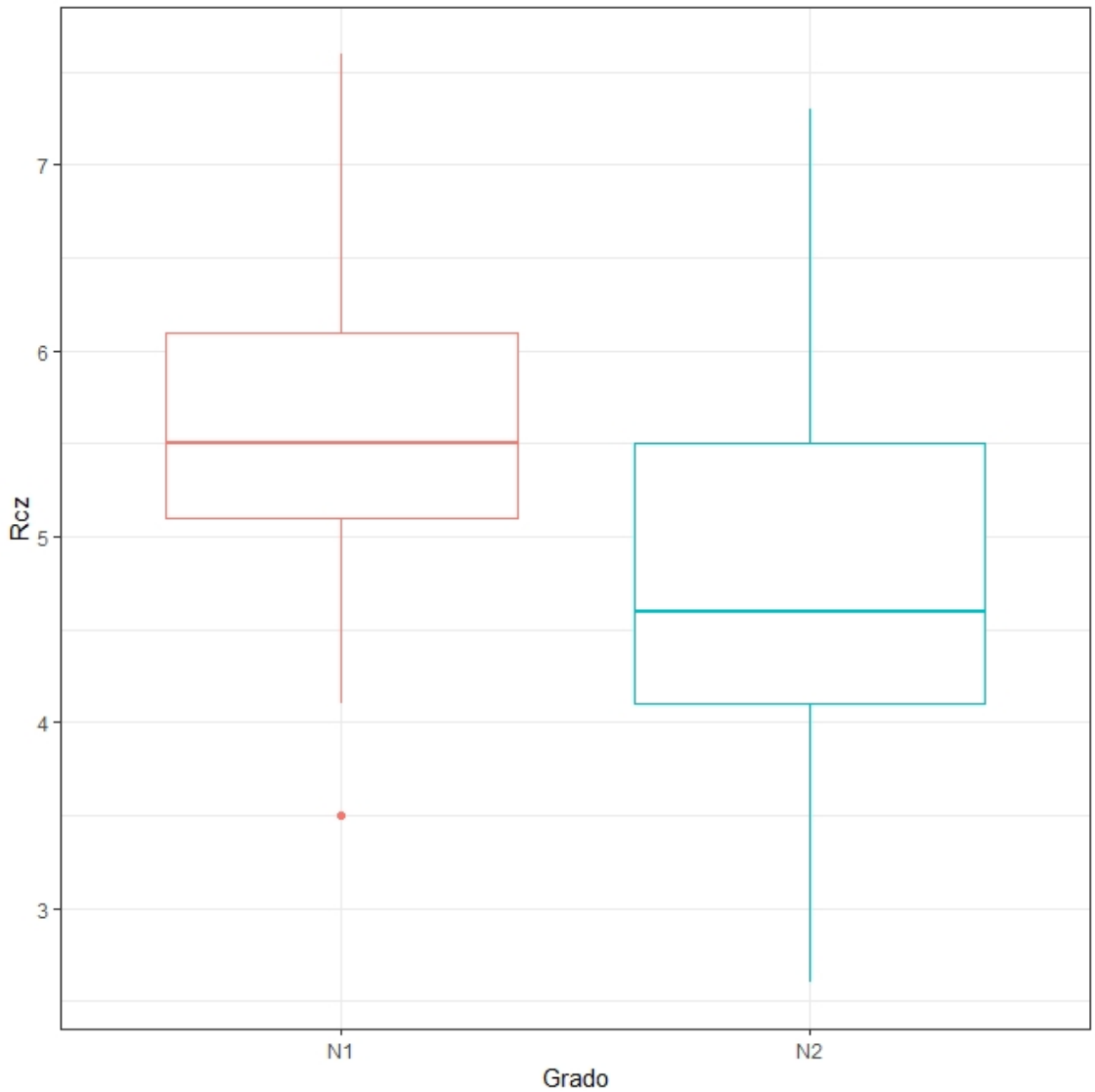


Figura A5
BOXPLOT RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

8.2 Histogramas de Frecuencia

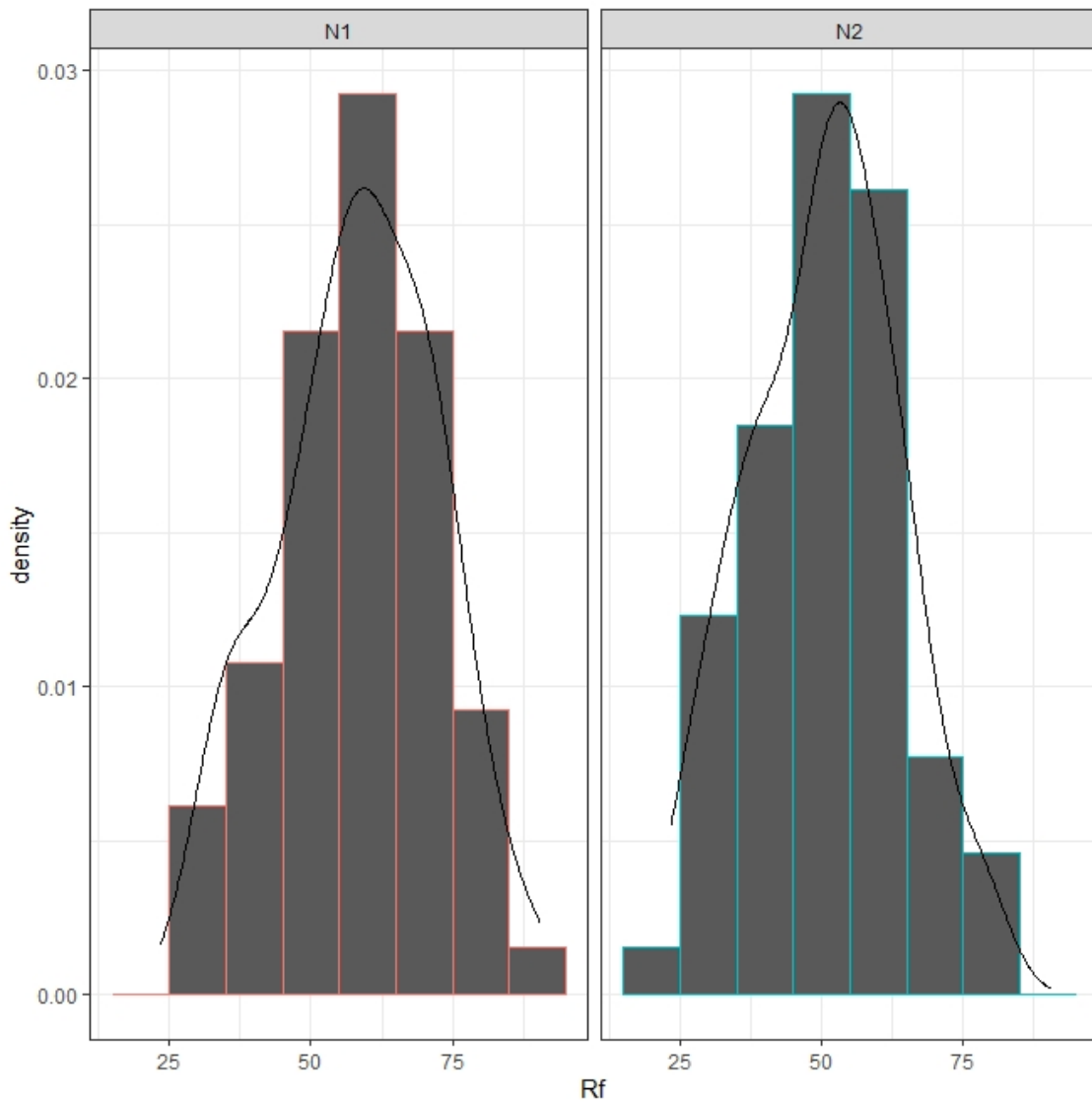


Figura A6
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

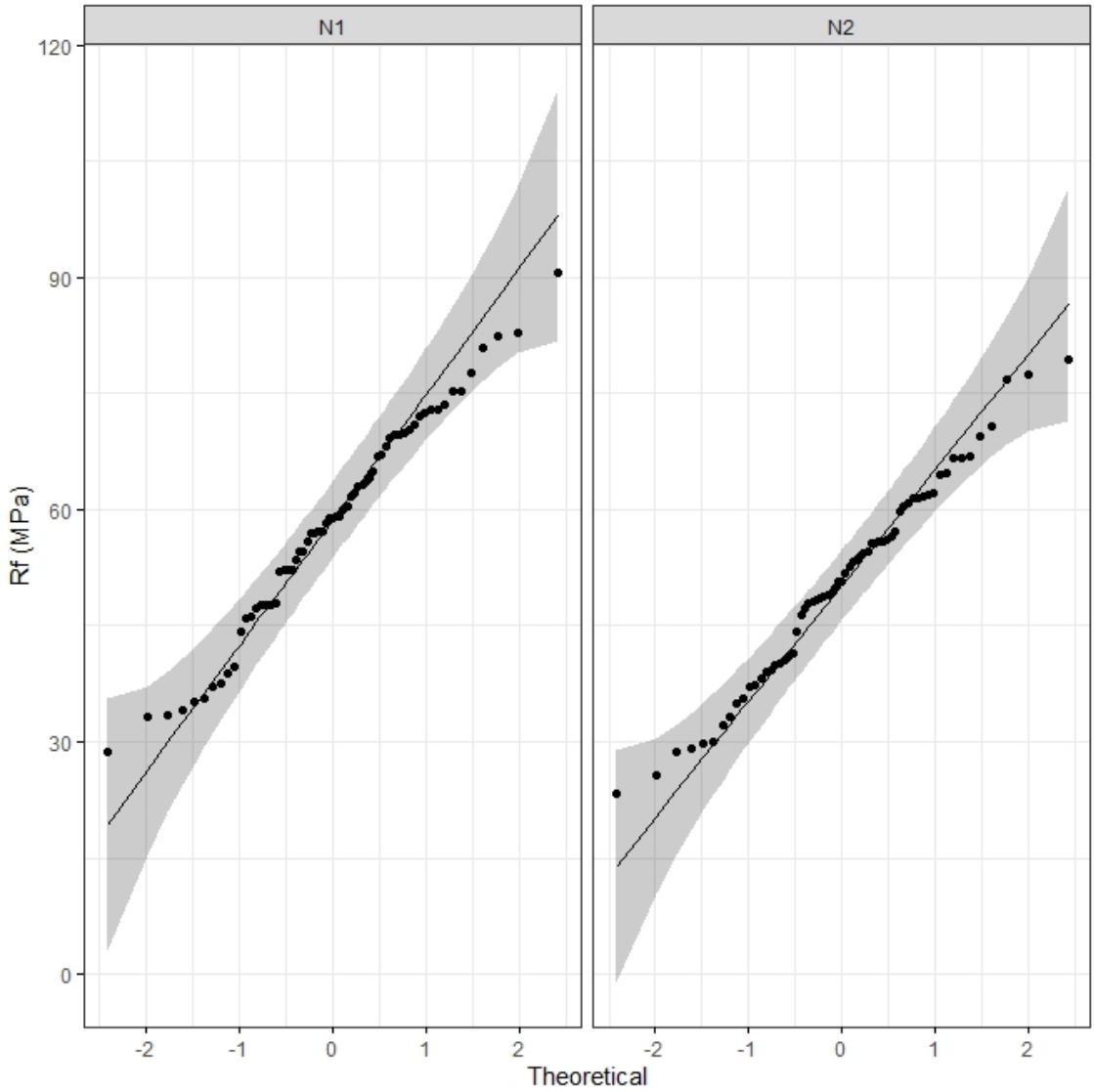


Figura A7
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

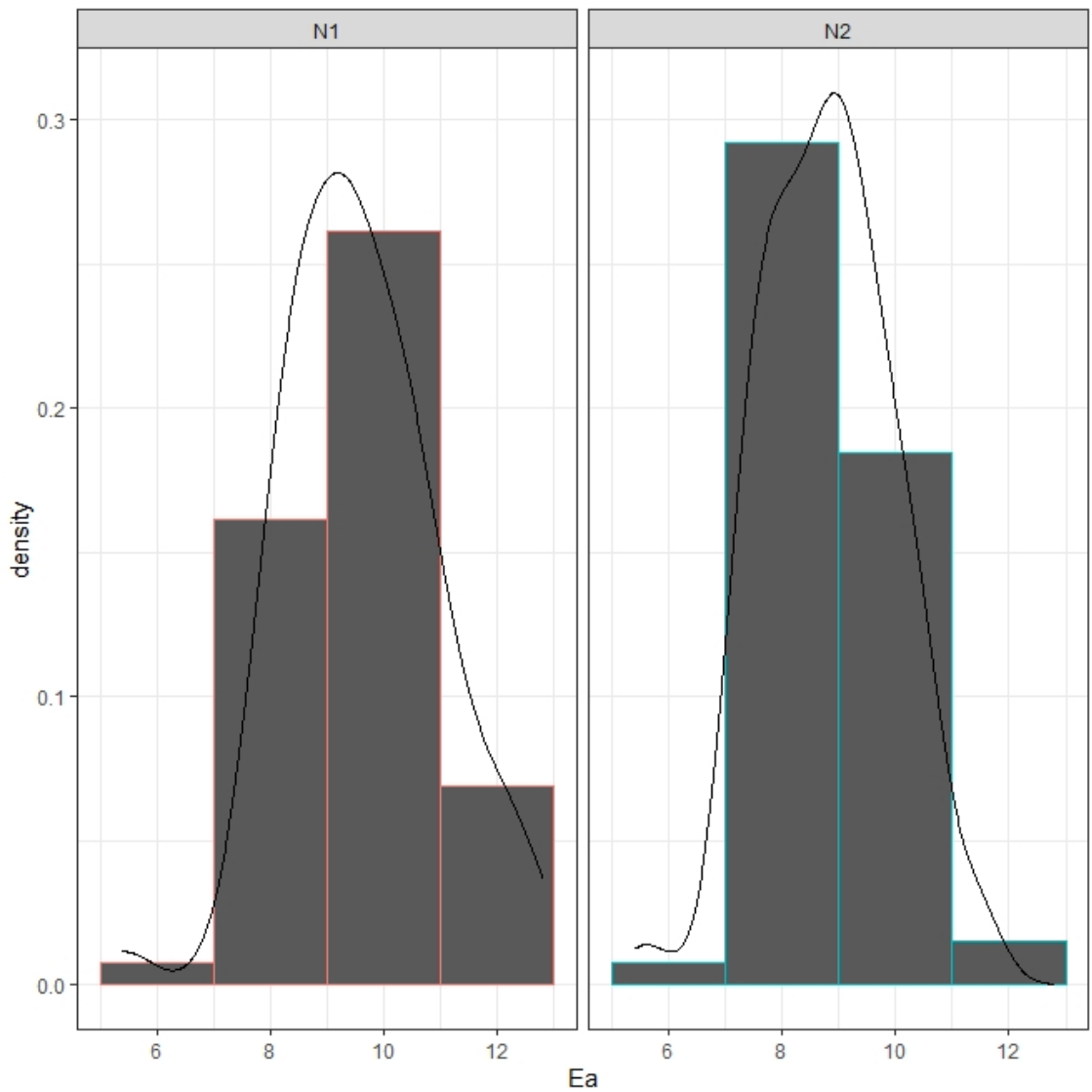


Figura A8
HISTOGRAMA MÓDULO ELÁSTICIDAD EN FLEXIÓN (E_f)

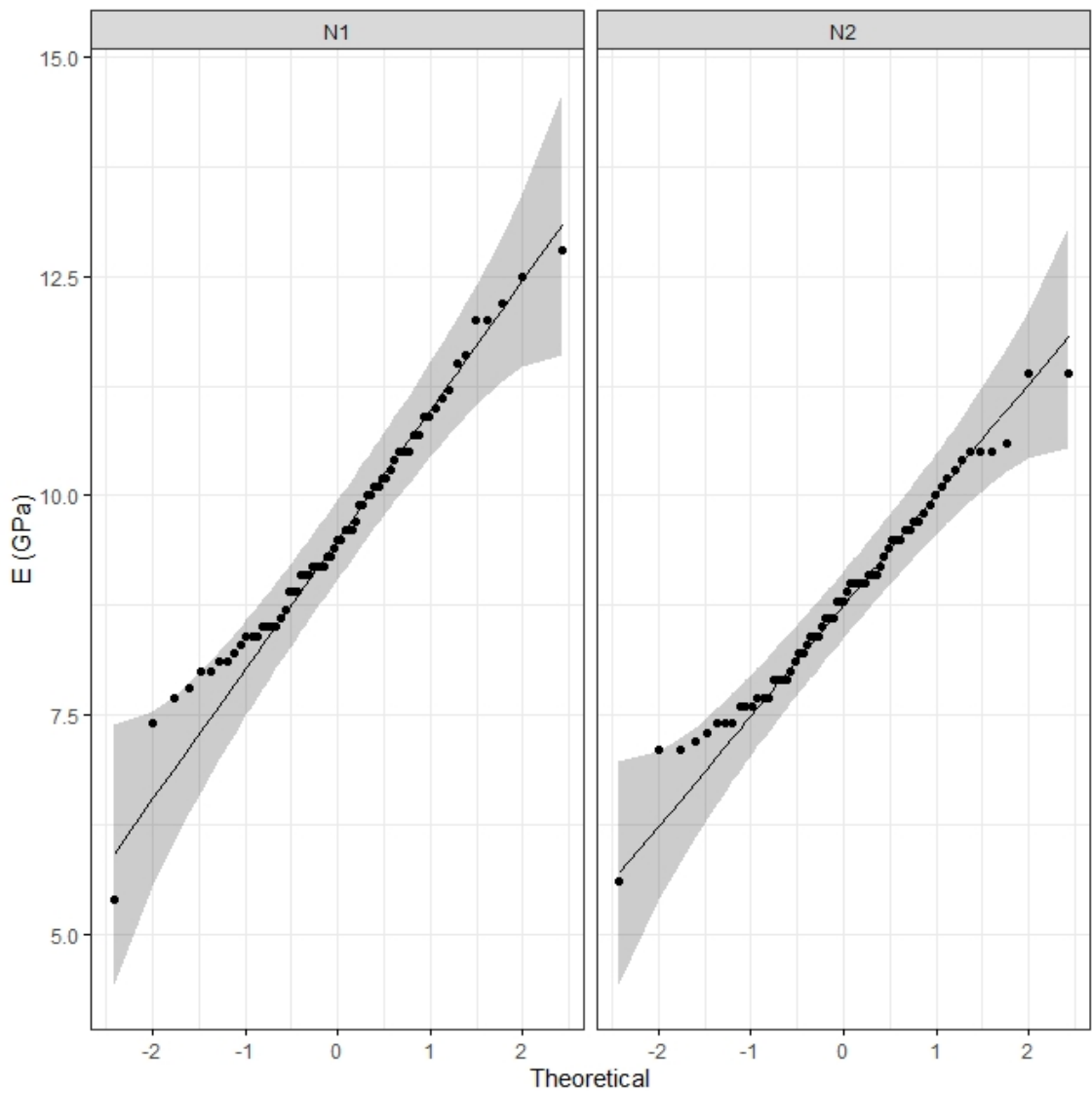


Figura A9
Q-Q PLOT MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (Ef)

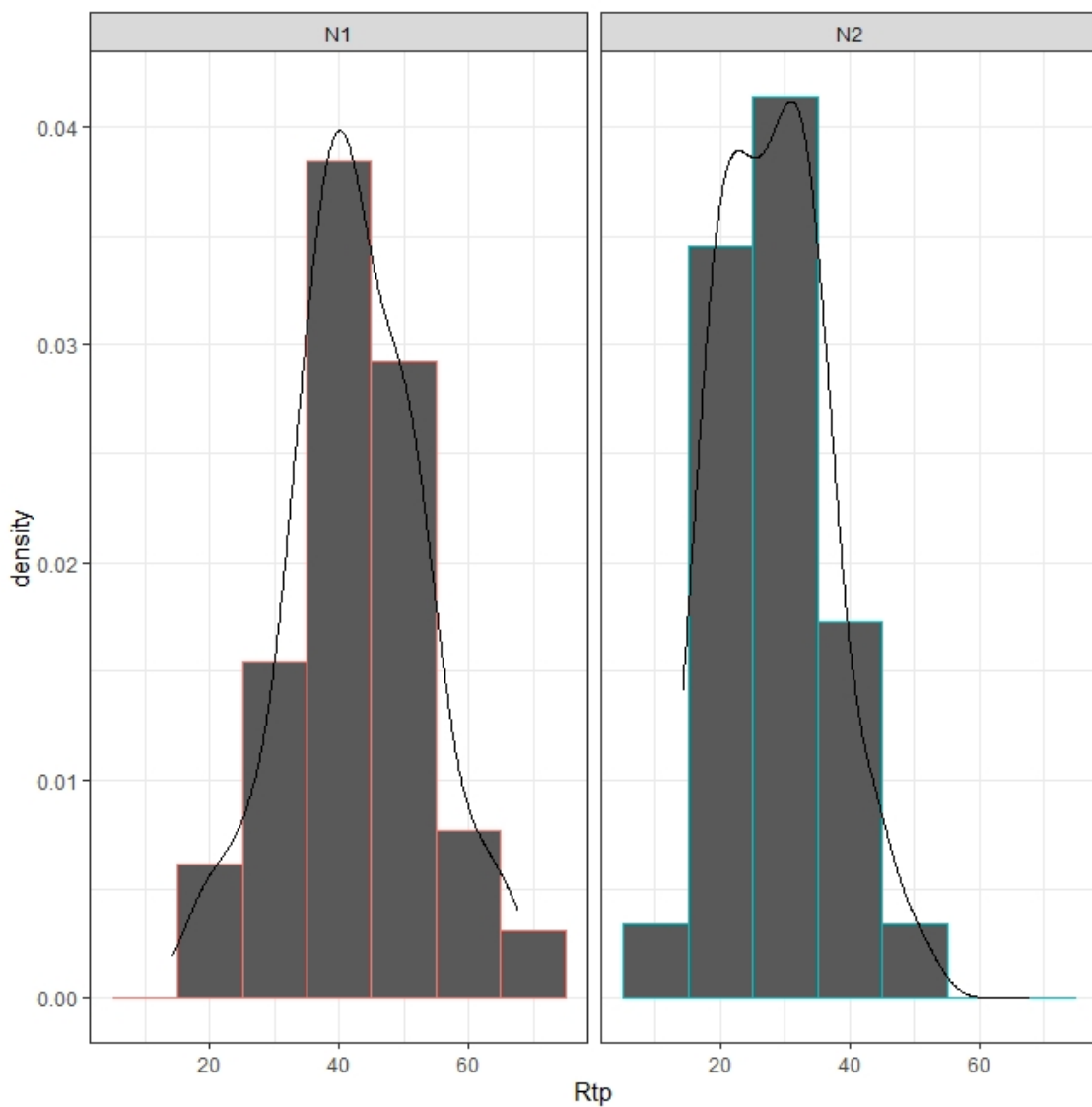


Figura A10
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Rtp)

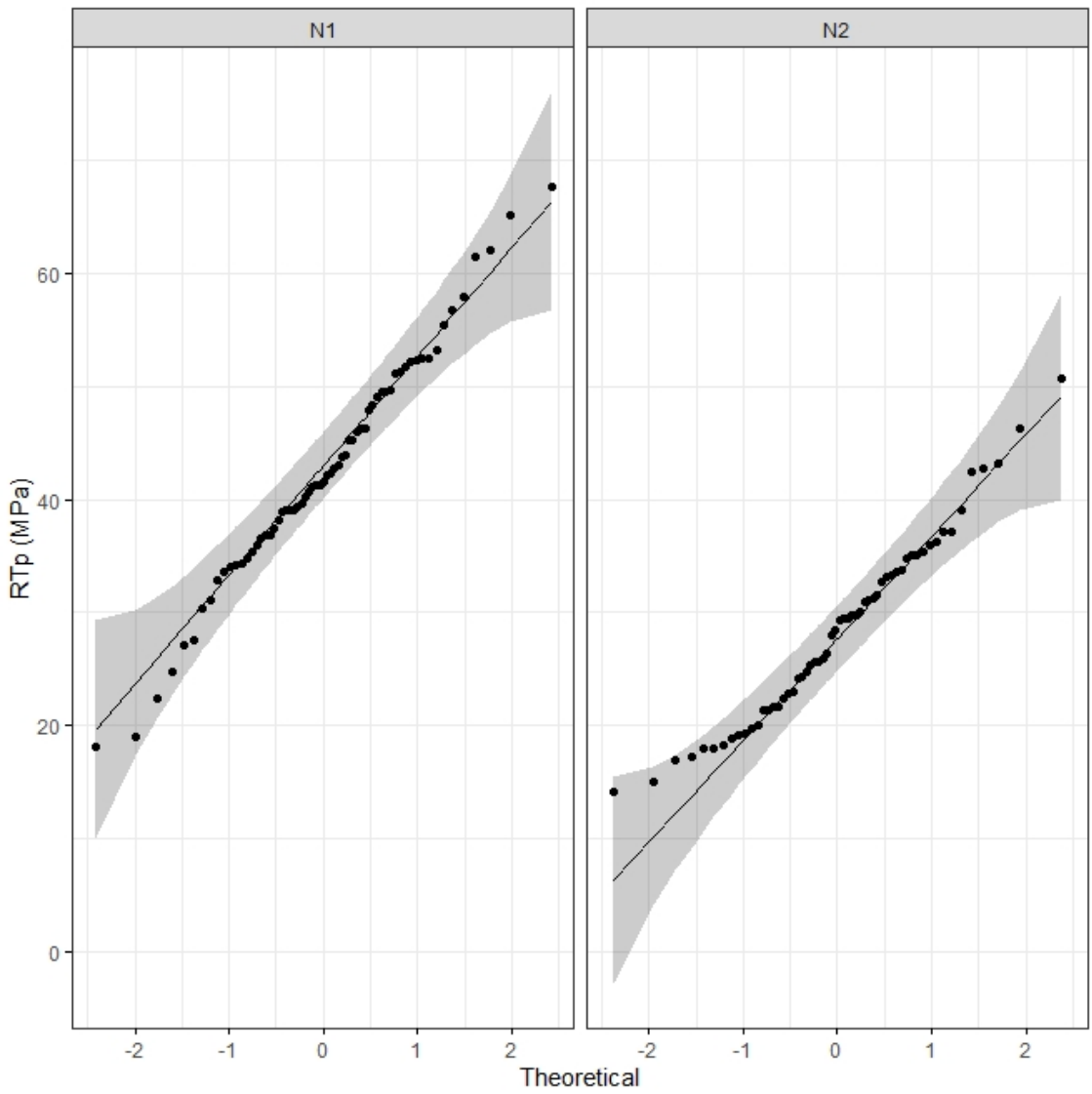


Figura A11
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Rtp)

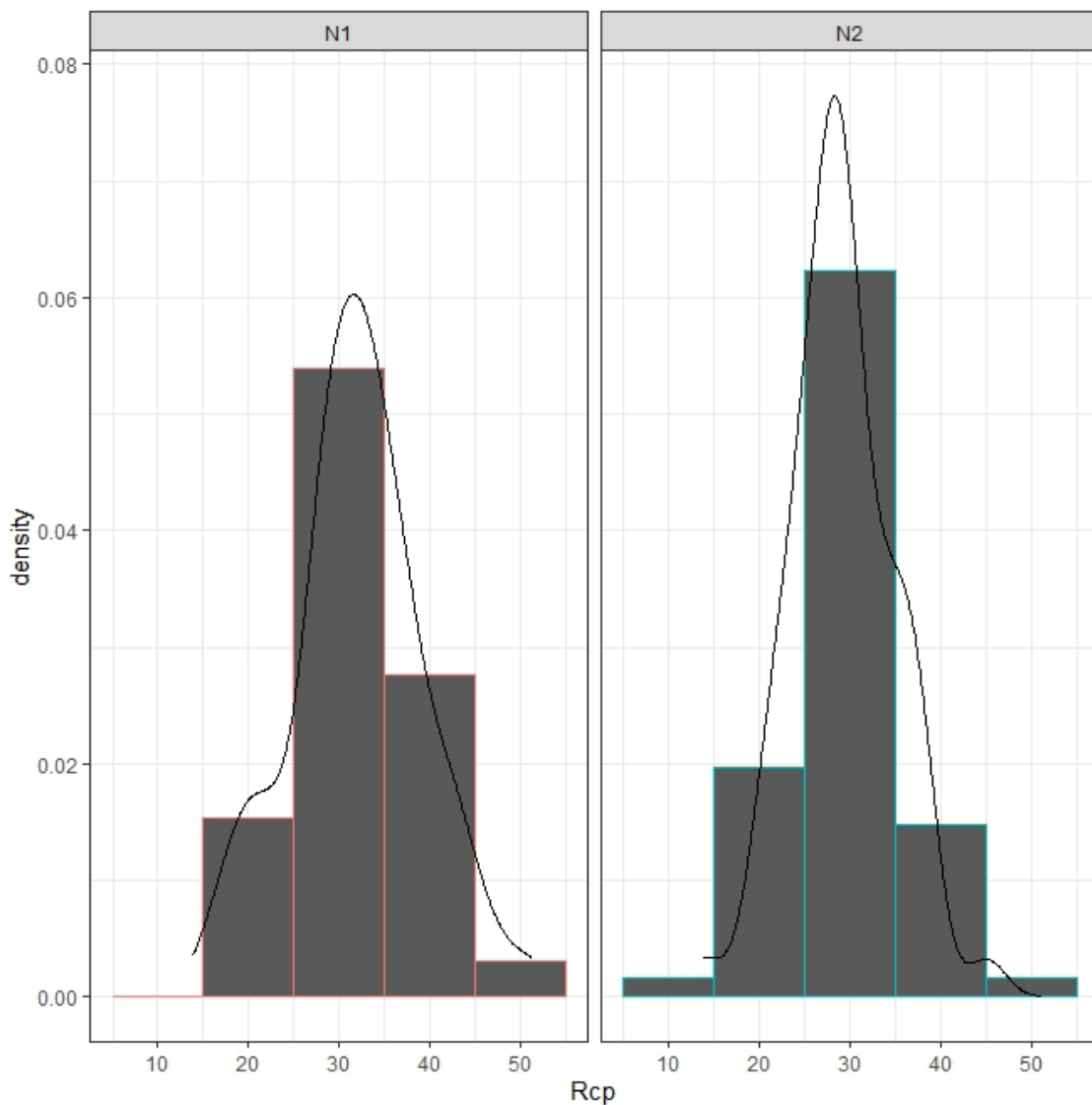


Figura A12
HISTOGRAMA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

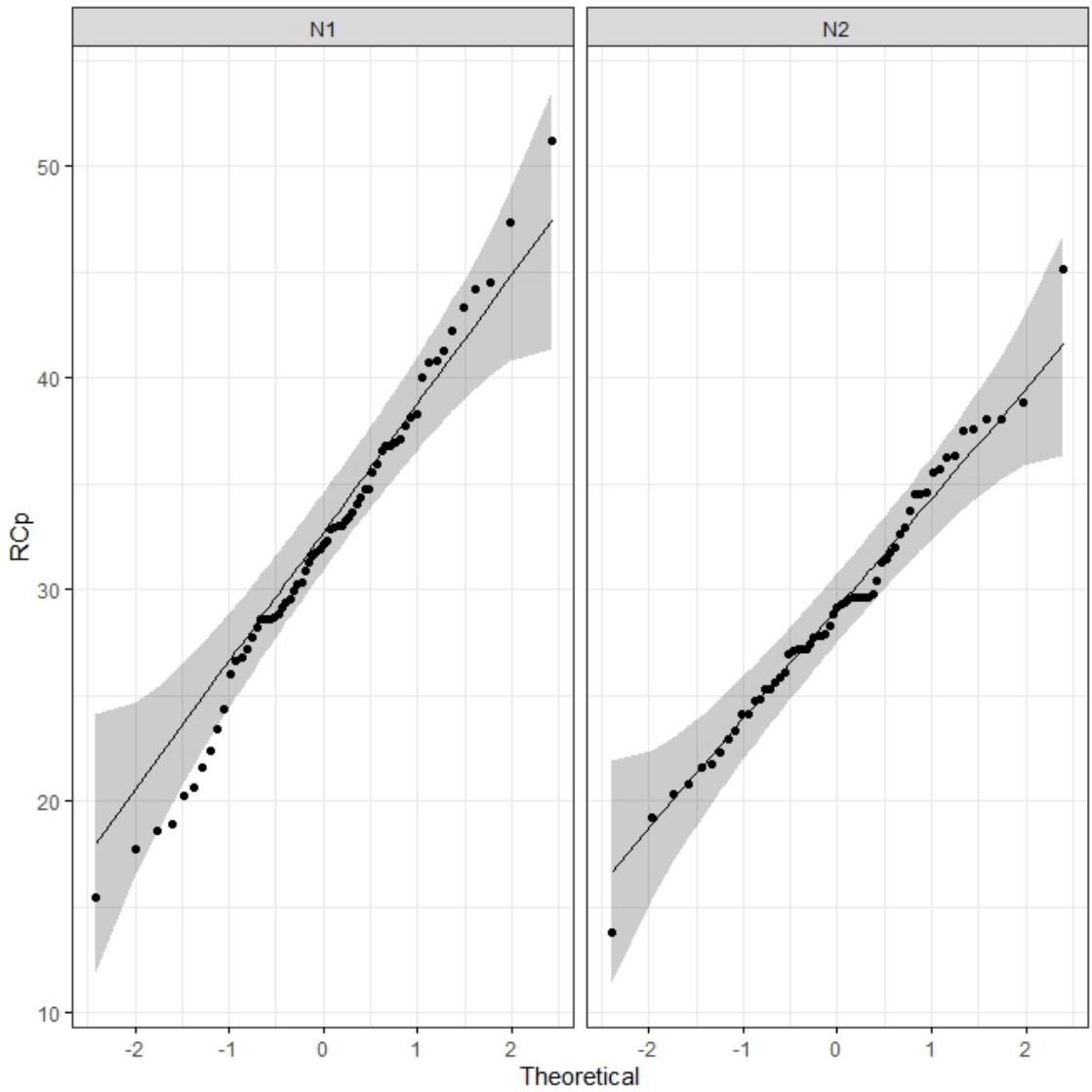


Figura A13
Q-Q PLOT RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

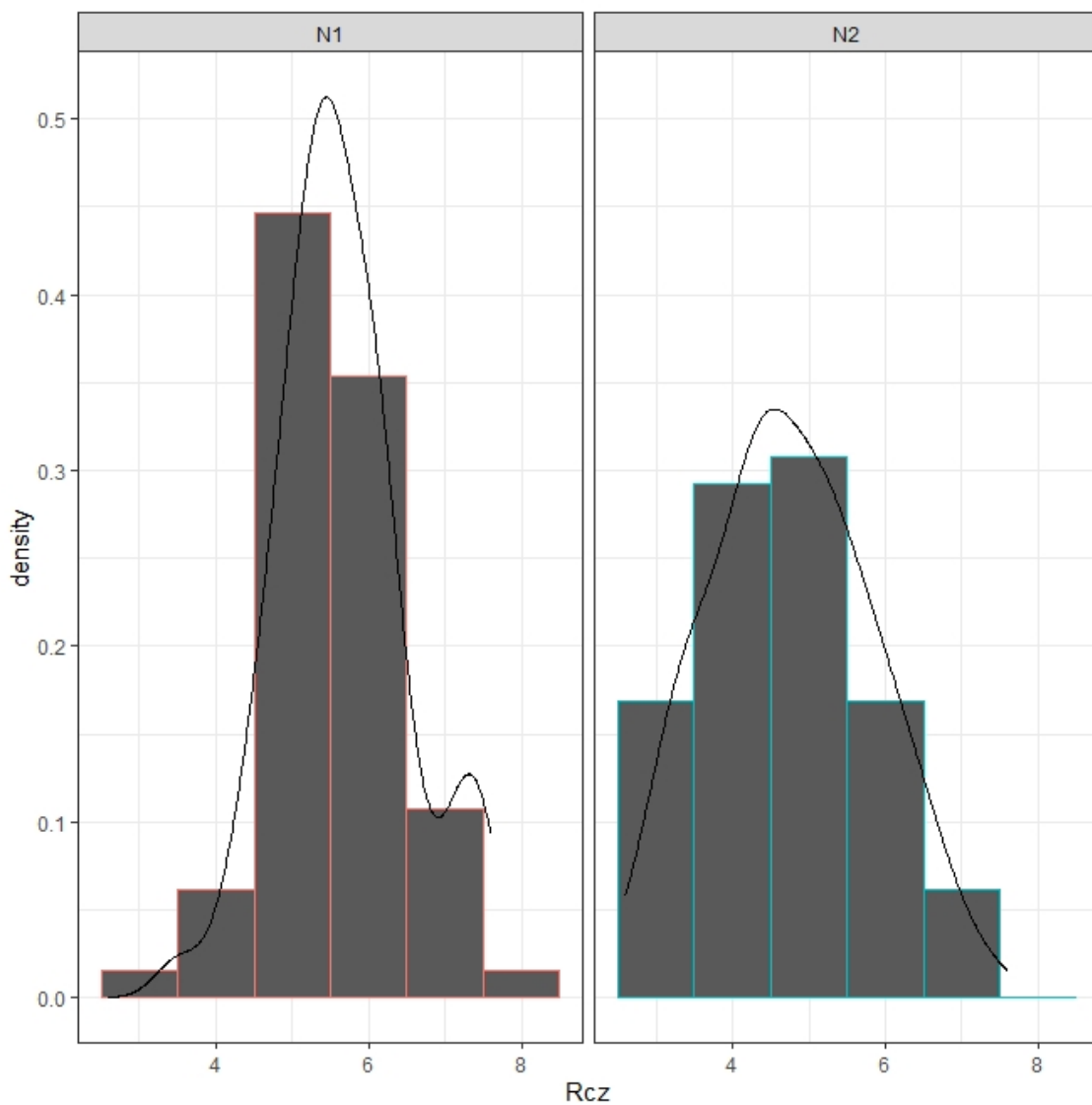


Figura A14
HISTOGRAMA RESISTENCIA AL CIZALLE PARELELO (Rcz)

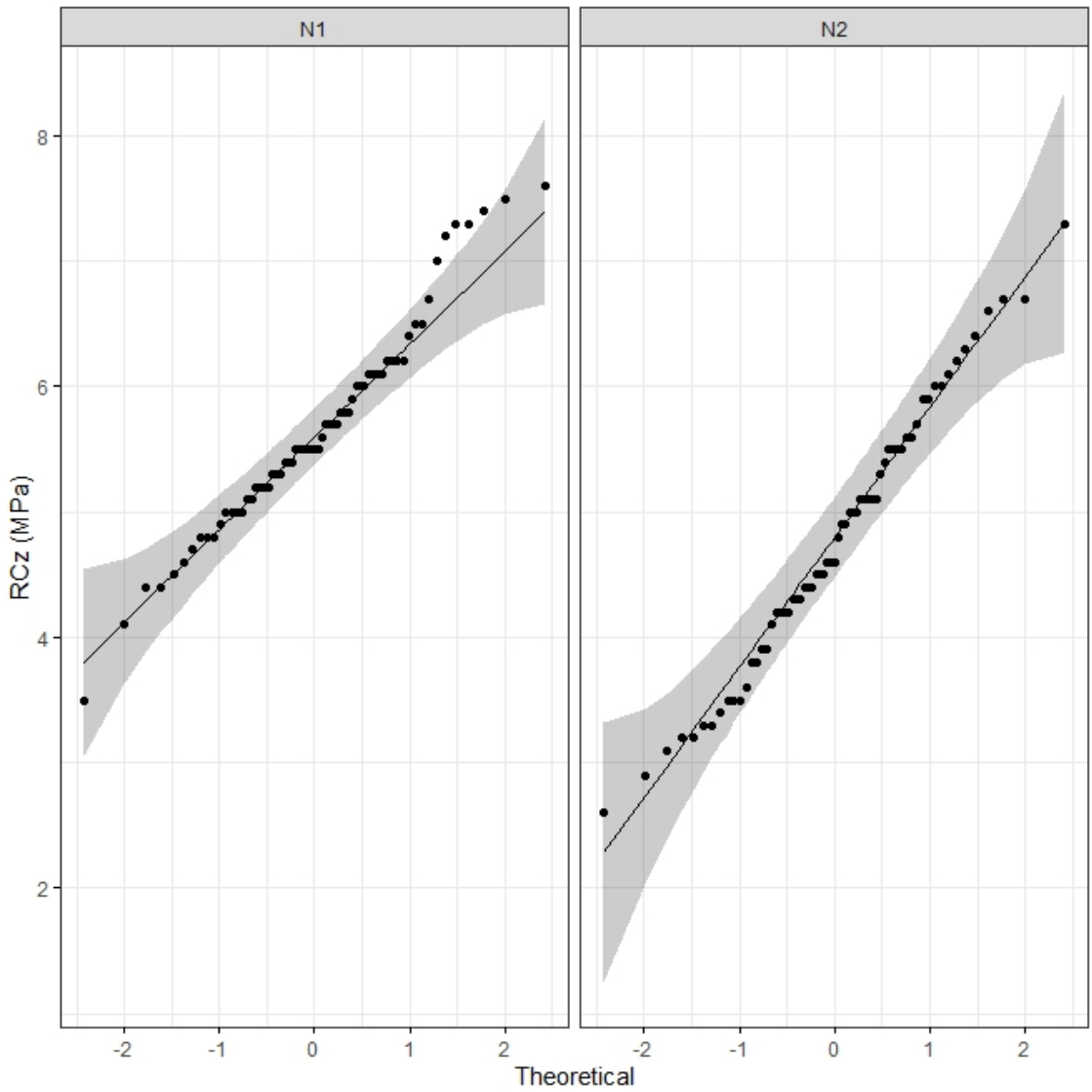


Figura A15
Q-Q PLOT RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

8.3 Independencia de Datos

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

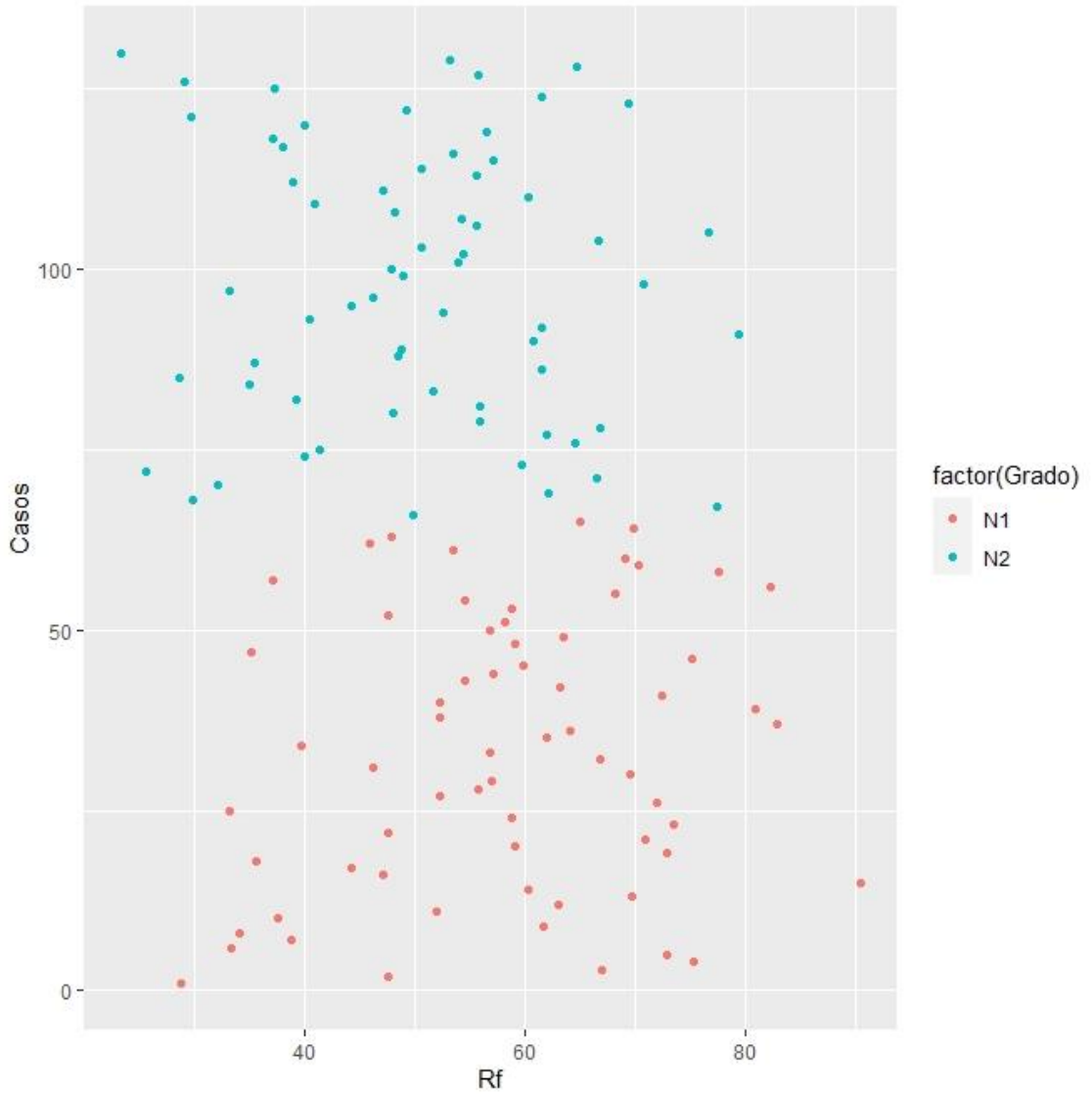


Figura A16
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Rf)

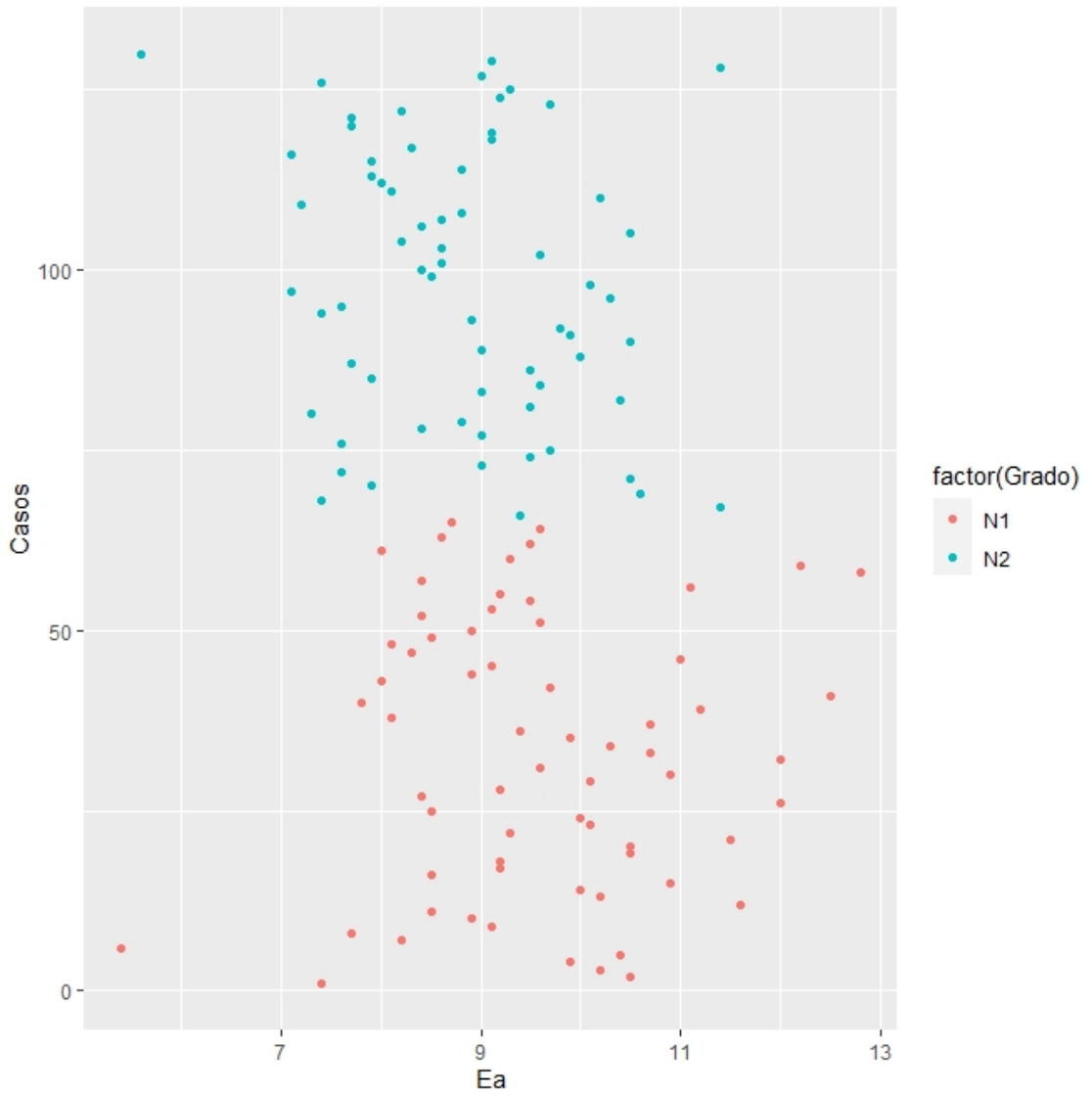


Figura A17
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN

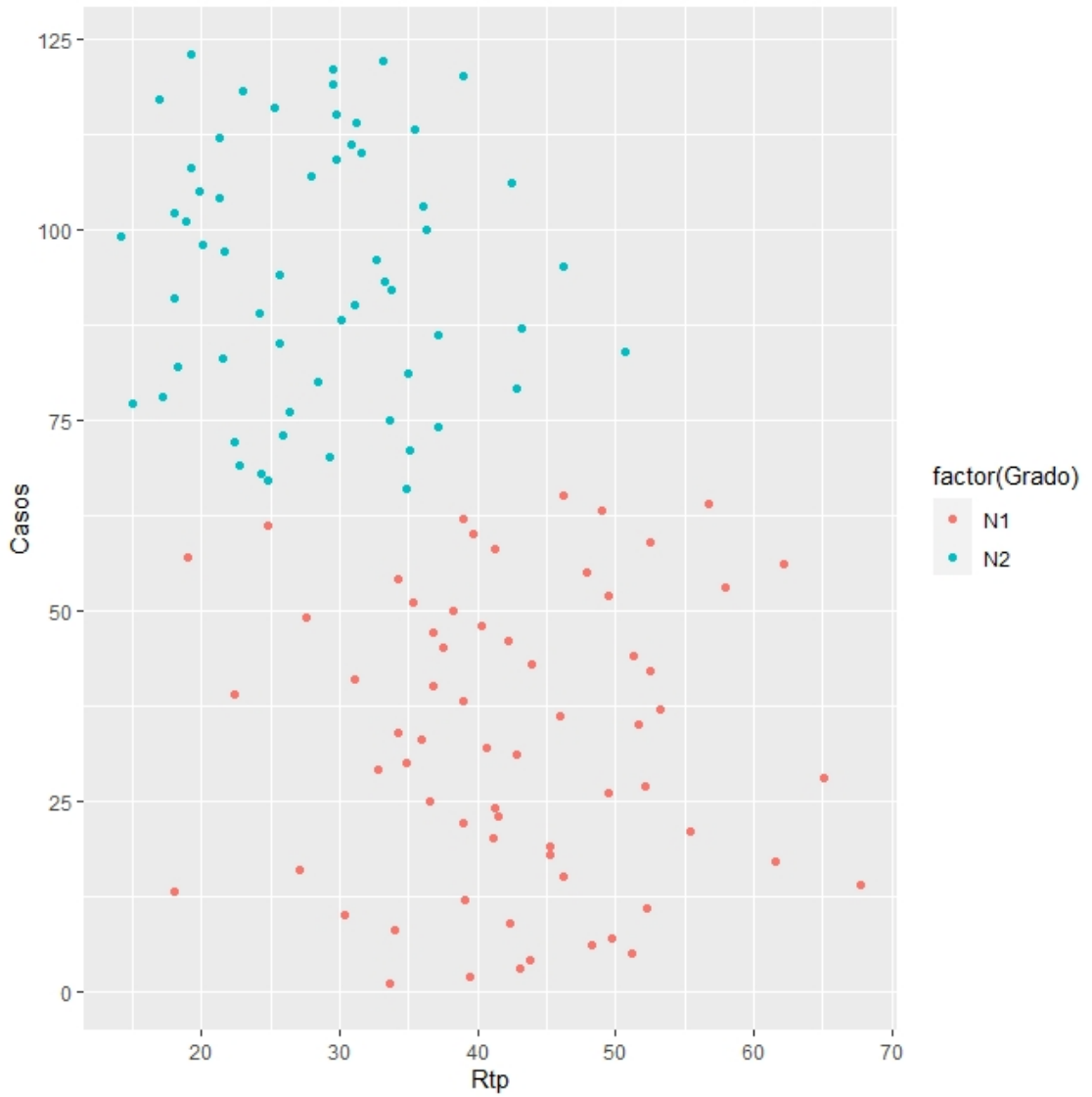


Figura A18
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA (Rtp)

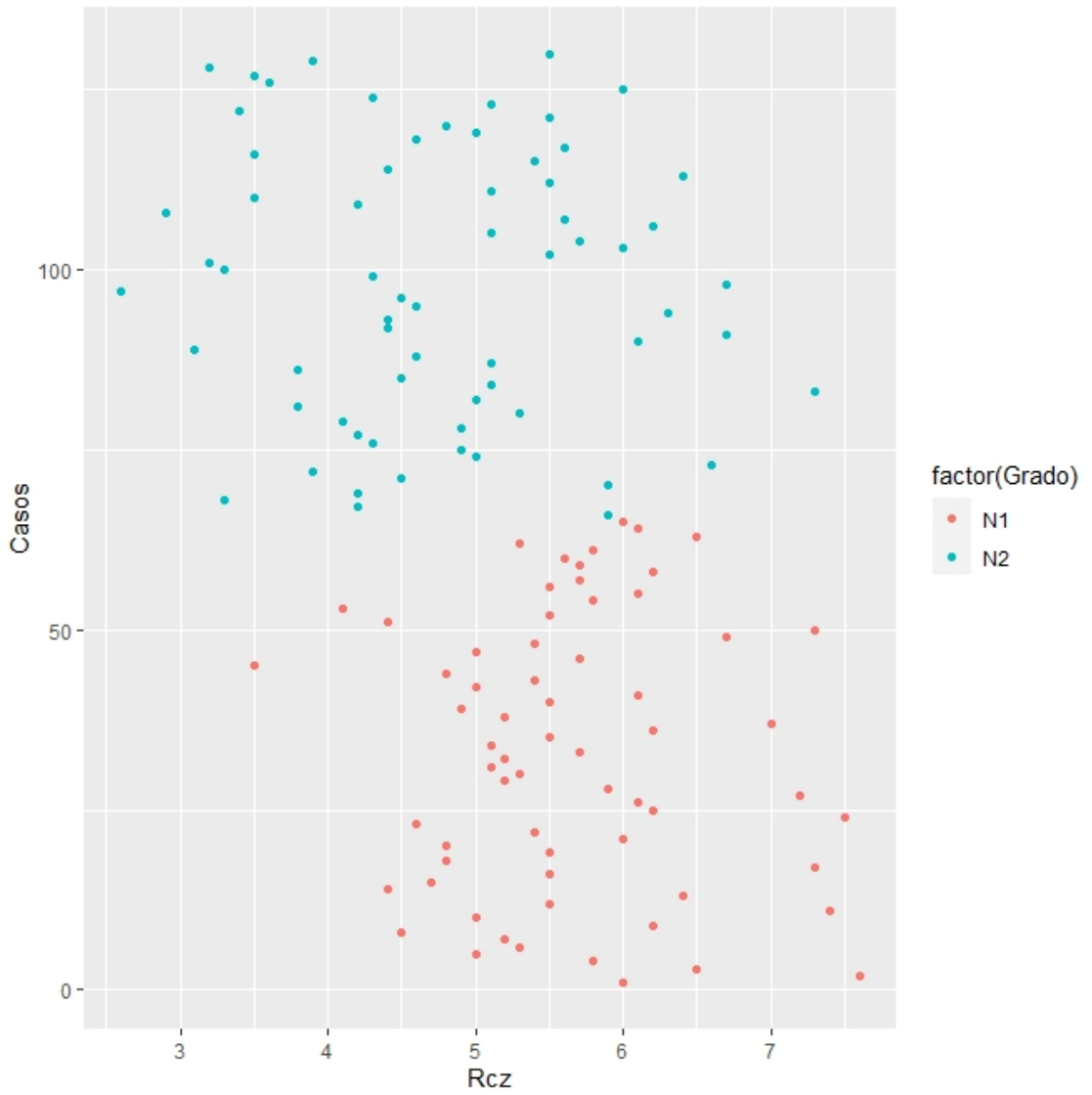


Figura A19
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (Rcz)

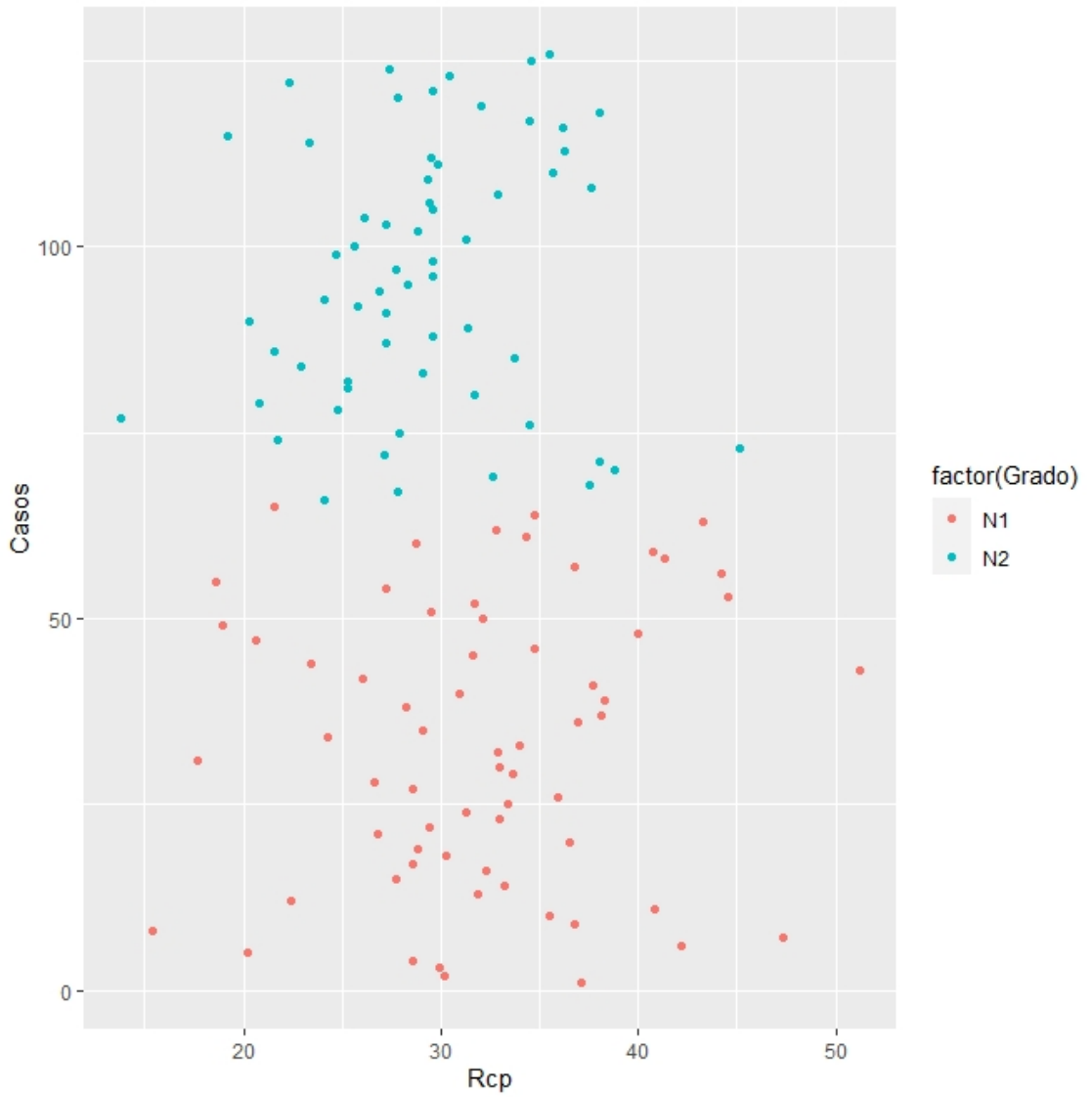


Figura A20
DISPERSIÓN DE DATOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA (Rcp)

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.

H₀: Los datos siguen una distribución normal

H₁: Los datos no siguen una distribución normal

Cuadro A1
RESULTADOS TEST DE SHAPIRO-WILK

Esfuerzo y grado	Valor P	Valor P	Distribución
	obtenido	Crítico	
Rf, grado N°1	0,524	0,05	Normal
Rf, grado N°2	0,665	0,05	Normal
MOEf, grado N°1	0,377	0,05	Normal
MOEf, grado N°2	0,644	0,05	Normal
Rtp, grado N°1	0,887	0,05	Normal
Rtp, grado N°2	0,234	0,05	Normal
Rcz, grado N°1	0,186	0,05	Normal
Rcz, grado N°2	0,719	0,05	Normal
Rcp, grado N°1	0,884	0,05	Normal
Rcp, grado N°2	0,78	0,05	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:

H₀: Las varianzas son homogéneas

H₁: 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)	0,6173	0,05	Homogénea
Módulo de elasticidad flexión (Ef)	0,276	0,05	Homogénea
Resistencia al cizalle (Rcz)	0,0294	0,05	No Homogénea
Resistencia a la tracción (Rtp)	0,222	0,05	Homogénea
Resistencia en compresión paralela (Rtp)	0,085	0,05	Homogénea



INFOR

www.infor.cl