



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

TÍTULO:

Estudio de tratamientos alternativos para mejorar la estabilidad dimensional y la dureza de *Populus x euramericana* y *Pinus pinaster*

Alumna: Isabel Hidalgo Tomé

Tutor: Milagros Casado Sanz
Cotutores: Roberto San Martín

Septiembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Milagros, mi tutora, todo el tiempo dedicado a este trabajo, toda la ayuda facilitada y su comprensión.

A toda mi familia, a mi hermana por estar siempre ahí, a mi madre por acompañarme en mis paseos de descanso, y en especial a mi padre, ese gran ingeniero que me inculcó la curiosidad científica y el sentimiento por la naturaleza desde bien pequeña, y que se ha convertido en una profesión y filosofía de vida.

A mis amigos, por todos los "es que hoy no puedo....", "es que tengo que...", de estos últimos dos años.

A mis compañeros del Máster de Montes, porque de todos he aprendido en los debates y charlas. En especial a Alberto y Raquel, que bien me conocen en momentos de estrés y siempre tuvieron palabras para que no cundiera el pánico. Y por supuesto, a Silvia, compañera de trabajos y por siempre amiga, por su "además de perfecto hay que hacerlo bonito".

Y por último a Antonio, por sus pacientes consejos, por las caminatas por la sierra y por hacerme la vida más fácil y feliz.

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
<u>2.1. Introducción.....</u>	<u>7</u>
<u>2.2. Descripción de las especies de estudio.....</u>	<u>8</u>
2.1. <i>Pinus pinaster</i>	8
2.2.1.1. Hábitat y ecología.....	9
2.2.1.2. Descripción de la madera.....	9
2.2.1.3 Usos y aprovechamientos.....	9
2.2.1.4 Propiedades de la madera.....	10
2.2.2. <i>Populus x euramericana</i>	11
2.2.2.1. Híbridos.....	12
2.2.2.2. El clon I-214.....	13
2.2.2.3. Propiedades de la madera.....	15
<u>2.3. Estructura de la madera.....</u>	<u>15</u>
2.3.1. Estructura macroscópica de la madera.....	16
2.3.2. Estructura microscópica de la madera.....	18
2.3.3. Estructura ultramacroscópica.....	21
<u>2.4. Propiedades de la madera.....</u>	<u>21</u>
2.4.1. Propiedades físicas de la madera.....	22
2.4.1.1. Humedad.....	22
2.4.1.2. Higroscopicidad.....	23
2.4.1.3. Anisotropía.....	23
2.4.1.4. Hinchazón y merma.....	24
2.4.1.5. Densidad.....	25
2.4.1.6. Dureza.....	25
2.4.2. Propiedades mecánicas de la madera.....	26
<u>2.5. Dureza.....</u>	<u>27</u>
2.5.1. Ensayos de dureza.....	27
2.5.2. Ensayo Monnin o Chalais Meudon.....	28
2.5.3. Ensayo Janka.....	29

2.5.4. Ensayo Brinell.....	30
<u>2.6. Tratamientos de la madera.....</u>	31
2.6.1. Historia de los tratamientos.....	32
2.6.2. Métodos de tratamientos preventivos.....	32
2.6.3. Antecedentes de los tratamientos mediante termotermia y oleotermia.....	34
3. OBJETIVOS.....	38
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	41
<u>4.1. Datos generales del muestreo.....</u>	43
<u>4.2. Equipo de trabajo.....</u>	43
4.2.1. Máquina de corte.....	43
4.2.2. Máquina Universal de Ensayos.....	43
4.2.3. Productos de impregnación.....	44
4.2.4. Estufa.....	44
4.2.5. Balanza.....	45
4.2.6. Calibre pie de Rey.....	45
4.2.7. Desecador.....	45
4.2.8. Calentador de Laboratorio.....	45
4.2.9. Otros.....	45
<u>4.3. Metodología empleada.....</u>	45
4.3.1. Preparación y medición de las probetas.....	45
4.3.2. Termotratamientos.....	46
4.3.3. Oleotermia.....	48
4.3.4. Estabilización con sales.....	50
4.3.5. Determinación de las contracciones lineales y volumétricas.....	51
<u>4.4. Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas.....</u>	51
4.4.1. Densidad.....	51
4.4.2. Humedad.....	52
4.4.3. Higroscopicidad.....	52
4.4.4. Contracciones lineales y volumétricas.....	53
4.4.5. Dureza.....	54
<u>4.5. Tratamiento estadístico de los datos.....</u>	55
4.5.1. Comparativa.....	55

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
<u>5.1. Estadística descriptiva.....</u>	59
5.1.1. Análisis descriptivo de la densidad en las probetas.....	59
5.1.2. Análisis descriptivo de la absorción de producto en las probetas.....	62
5.1.3. Análisis descriptivo de la pérdida de peso en las probetas.....	65
5.1.4. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de humedad relativa.....	67
5.1.5. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de humedad relativa.....	70
5.1.6. Análisis descriptivo de la dureza media de los tratamientos en las probetas.....	73
5.1.7. Análisis descriptivo de la dureza tangencial tras los tratamientos las probetas según la norma UNE 56-534-77.....	76
5.1.8. Análisis descriptivo de la dureza radial tras los tratamientos en las probetas según la norma UNE 56-534-77.....	77
5.1.9. Análisis descriptivo de la dureza media tras los tratamientos en las probetas según la norma UNE 56-534-77.....	79
5.1.10. Análisis descriptivo de la contracción volumétrica total, del coeficiente de contracción volumétrica, de la contracción lineal longitudinal, de la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial tras los tratamientos en las probetas.....	80
5.1.11. Análisis descriptivo de la higroscopicidad de los tratamientos en las probetas.....	87
<u>5.2. Estadística comparativa.....</u>	89
5.2.1. Comparación variable densidad.....	89
5.2.2. Comparación variable absorción de producto.....	93
5.2.3. Comparación de la variable pérdida de peso.....	96
5.2.4. Comparación de la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de humedad relativa.....	100
5.2.5. Comparación de la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de humedad relativa	104
5.2.6. Comparación de la variable dureza media.....	107
5.2.7. Comparación de la variable contracción volumétrica.....	111
5.2.8. Comparación de la variable coeficiente de contracción volumétrica...	114
5.2.9. Comparación de la variable de contracción lineal longitudinal.....	118
5.2.10. Comparación variable contracción lineal radial.....	121
5.2.11. Comparación variable contracción lineal tangencial.....	124
5.2.12. Comparación variable Higroscopicidad.....	126

6. CONCLUSIONES.....	130
7. BIBLIOGRAFÍA.....	134
8. ANEJOS.....	142

ÍNDICE DE TABLAS

ANTECEDENTES

Tabla 2.1. Propiedades de la madera de <i>Pinus pinaster</i>	10
Tabla 2.2. Clasificación taxonómica del género <i>Populus</i>	12
Tabla 2.3. Relación de clones admitidos en el Catálogo Nacional de Materiales de Base.....	14
Tabla 2.4. Propiedades de la madera del género <i>Populus</i>	15
Tabla 2.5. Clasificación de la dureza en especies de coníferas.....	26
Tabla 2.6. Clasificación de la dureza en especies de frondosas.....	26
Tabla 2.7. Métodos para la determinación de la dureza.....	28
Tabla 2.8. Clasificación de la dureza Janka.....	30
Tabla 2.9. Clasificación de la dureza Brinell.....	31

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5.1. Valores descriptivos de la densidad según los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	60
Tabla 5.2. Valores descriptivos de la densidad según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	61
Tabla 5.3. Valores descriptivos de la absorción de producto según los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	63
Tabla 5.4. Valores descriptivos de la absorción de producto según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	64
Tabla 5.5. Valores descriptivos de la pérdida de peso según los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	65
Tabla 5.6. Valores descriptivos de la pérdida de peso según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	66
Tabla 5.7. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr en madera de <i>Pinus pinaster</i>	68
Tabla 5.8. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr según los tratamientos en la madera del clon "I-214"	69
Tabla 5.9. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento	

con sales al 52% de Hr según los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	70
Tabla 5.10. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	72
Tabla 5.11. Valores descriptivos de la dureza media en los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	74
Tabla 5.12. Valores descriptivos de dureza media según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	75
Tabla 5.13. Valores descriptivos de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	77
Tabla 5.14. Valores descriptivos de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	78
Tabla 5.15. Valores descriptivos de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	80
Tabla 5.16. Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	81
Tabla 5.17. Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	85
Tabla 5.18. Valores descriptivos de higroscopicidad en los tratamientos en la madera de <i>Pinus pinaster</i>	87
Tabla 5.19. Valores descriptivos de la higroscopicidad de producto según los tratamientos en la madera del clon "I-214".....	88
Tabla 5.20. Análisis de la varianza para la variable densidad.....	90
Tabla 5.21. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable densidad por especies.....	90
Tabla 5.22. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable densidad por tratamientos.....	91
Tabla 5.23. Análisis de la varianza para la absorción de producto.....	93
Tabla 5.24. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable absorción de producto por especies.....	94

Tabla 5.25. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable absorción de producto por tratamientos.....	95
Tabla 5.26. Análisis de la varianza para la variable pérdida de peso.....	97
Tabla 5.27. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable pérdida de peso por especies.....	97
Tabla 5.28. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable pérdida de peso por tratamientos.....	98
Tabla 5.29. Análisis de la varianza para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr.....	100
Tabla 5.30. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por especies.....	101
Tabla 5.31. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por tratamientos.....	102
Tabla 5.32. Análisis de la varianza para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr.....	104
Tabla 5.33. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por especies.....	105
Tabla 5.34. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos.....	106
Tabla 5.35. Análisis de la varianza para la variable dureza media.....	108
Tabla 5.36. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable dureza media por especies.....	108
Tabla 5.37. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable dureza media por tratamiento.....	109
Tabla 5.38. Análisis de la varianza para la variable contracción volumétrica.....	111
Tabla 5.39. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción volumétrica por especies.....	112
Tabla 5.40. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción volumétrica por tratamientos.....	113
Tabla 5.41. Análisis de la varianza para la variable coeficiente de contracción volumétrica.....	115
Tabla 5.42. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable coeficiente de contracción volumétrica por especies.....	115
Tabla 5.43. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable coeficiente de contracción volumétrica por tratamientos.....	116

Tabla 5.44. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal longitudinal.....	118
Tabla 5.45. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal longitudinal por especies.....	119
Tabla 5.46. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos.....	120
Tabla 5.47. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal Radial.....	122
Tabla 5.48. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal radial por especies.....	122
Tabla 5.49. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal radial por tratamientos.....	123
Tabla 5.50. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal Tangencial.....	124
Tabla 5.51. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal tangencial por especies.....	125
Tabla 5.52. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal tangencial por tratamientos.....	125
Tabla 5.53. Análisis de la varianza para la variable Higroscopicidad.....	126
Tabla 5.54. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable higroscopicidad por especies.....	127
Tabla 5.55. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable higroscopicidad por tratamientos.....	128

ANEJOS

Tabla I.1. Sesgo y curtosis de la densidad en <i>Populus x euramericana</i>	144
Tabla I.2. Sesgo y curtosis de la densidad en <i>Pinus pinaster</i>	145
Tabla I.3. Sesgo y curtosis de la absorción de producto en <i>Populus x euramericana</i>	145
Tabla I.4. Sesgo y curtosis de la absorción de producto en <i>Pinus pinaster</i>	146
Tabla I.5. Sesgo y curtosis de la pérdida de peso en <i>Populus x Euramericana</i>	147
Tabla I.6. Sesgo y curtosis de la pérdida de peso en <i>Pinus pinaster</i>	148
Tabla I.7. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en <i>Populus x euramericana</i>	148

Tabla I.8. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en <i>Pinus pinaster</i>	149
Tabla I.9. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en <i>Populus x euramericana</i>	150
Tabla I.10. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en <i>Pinus pinaster</i>	151
Tabla I.11. Sesgo y curtosis de la dureza media en <i>Populus x Euramericana</i>	152
Tabla I.12. Sesgo y curtosis de la dureza media Hr en <i>Pinus pinaster</i>	153
Tabla I.13. Sesgo y curtosis de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	154
Tabla I.14. Sesgo y curtosis de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	155
Tabla I.15. Sesgo y curtosis de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	156
Tabla I.16. Sesgo y curtosis de la contracción volumétrica total en <i>Populus x euramericana</i>	157
Tabla I.17. Sesgo y curtosis de la contracción volumétrica total en <i>Pinus pinaster</i>	158
Tabla I.18. Sesgo y curtosis del coeficiente de contracción volumétrica en <i>Populus x euramericana</i>	159
Tabla I.19. Sesgo y curtosis del coeficiente de contracción volumétrica en <i>Pinus pinaster</i>	160
Tabla I.20. Sesgo y curtosis de la contracción lineal longitudinal en <i>Populus x euramericana</i>	161
Tabla I.21. Sesgo y curtosis de la contracción lineal longitudinal en <i>Pinus pinaster</i>	162
Tabla I.22. Sesgo y curtosis de la contracción lineal radial en <i>Populus x euramericana</i>	163
Tabla I.23. Sesgo y curtosis de la contracción lineal radial en <i>Pinus pinaster</i>	164
Tabla I.24. Sesgo y curtosis de la contracción lineal tangencial en <i>Populus x euramericana</i>	165
Tabla I.25. Sesgo y curtosis de la contracción lineal tangencial en <i>Pinus pinaster</i>	166

Tabla I.26. Sesgo y curtosis de la higroscopicidad en <i>Populus x Euramericana</i>	167
Tabla I.27. Sesgo y curtosis de la higroscopicidad en <i>Pinus pinaster</i>	168

ÍNDICE DE FIGURAS

ANTECEDENTES

Figura 2.1. Tipos de cortes de la madera.....	16
Figura 2.2. Sección transversal de un árbol.....	18
Figura 2.3. Sección transversal de <i>Pinus pinaster</i>	19
Figura 2.4. Sección radial de <i>Pinus pinaster</i>	20
Figura 2.5. Sección transversal de <i>Populus x euramericana</i>	20
Figura 2.6. Sección radial de <i>Populus x euramericana</i>	20
Figura 2.7. Capas y subcapas de la pared celular.....	21
Figura 2.8. Direcciones de la madera.....	24
Figura 2.9. Ensayo de la dureza Monnin.....	29
Figura 2.10. Ensayo de dureza Janka.....	29
Figura 2.11. Ensayo de dureza Brinell.....	31

MATERIAL Y MÉTODOS

Figura 4.1. Probetas de madera a ensayar.....	43
Figura 4.2. Estufa donde se aplicaron los termotratamientos.....	44
Figura 4.3. Calentador.....	45
Figura 4.4. Balanza digital.....	46
Figura 4.5. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 120°C.....	47
Figura 4.6. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 160°C.....	47
Figura 4.7. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 180°C.....	48
Figura 4.8. Muestra de las probetas ensayadas a 180°C y posterior lijado.....	48
Figura 4.9. Inmersión de las probetas a 140°C durante 30 minutos.....	49
Figura 4.10. Pincelado de las probetas con aceite para teca tras su lijado.....	49
Figura 4.11. Color adquirido de la madera tratada para la especie <i>Populus x euramericana</i> clon "I-214".....	50
Figura 4.12. Color adquirido por la madera tratada para la especie <i>Pinus pinaster</i>	50
Figura 4.13. Esquema ensayo Monnin.....	54
Figura 4.14. Parámetros de cálculo.....	55

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 5.1. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	61
Figura 5.2. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para los tratamientos en el clon "I-214".....	62
Figura 5.3. Gráfico de caja y bigotes de la absorción de producto para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	63
Figura 5.4. Gráfico de caja y bigotes de la absorción de producto para los tratamientos en el clon "I-214".....	65
Figura 5.5. Gráfico de caja y bigotes de la pérdida de peso para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	66
Figura 5.6. Gráfico de caja y bigotes de la pérdida de peso para los tratamientos en el clon "I-214".....	67
Figura 5.7. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	68
Figura 5.8. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr para los tratamientos en el clon "I-214".....	70
Figura 5.9. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	71
Figura 5.10. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr para los tratamientos en el clon "I-214".....	73
Figura 5.11. Diagrama de puntos múltiple de la dureza media para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	74
Figura 5.12. Diagrama de puntos múltiple de la dureza media para los tratamientos en el clon "I-214".....	76
Figura 5.13. Diagrama de puntos múltiple de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 para los tratamientos en el clon "I-214".....	77
Figura 5.14. Diagrama de puntos múltiple de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 para los tratamientos en el clon "I-214".....	79
Figura 5.15. Diagrama de puntos múltiple de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 para los tratamientos en el clon "I-214".....	80
Figura 5.16. Diagrama de puntos múltiple de la contracción volumétrica	

total y el coeficiente de contracción volumétrica para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	83
Figura 5.17. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal longitudinal y radial para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	84
Figura 5.18. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal tangencial para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	84
Figura 5.19. Diagrama de puntos múltiple de la contracción volumétrica total y el coeficiente de contracción volumétrica para los tratamientos en el clon "I-214".....	86
Figura 5.20. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal longitudinal y radial para los tratamientos en el clon "I-214".....	86
Figura 5.21. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal tangencial para los tratamientos en el clon "I-214".....	87
Figura 5.22. Diagrama de puntos múltiple de la higroscopicidad para los tratamientos en <i>Pinus pinaster</i>	88
Figura 5.23. Diagrama de puntos múltiple de la higroscopicidad para los tratamientos en el clon "I-214".....	89
Figura 5.24. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable densidad por especies.....	91
Figura 5.25. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable densidad por tratamientos.....	92
Figura 5.26. Gráfico de interacciones para la variable densidad por especies.....	92
Figura 5.27. Gráfico de interacciones para la variable densidad por tratamientos.....	93
Figura 5.28. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable absorción de producto por especies.....	94
Figura 5.29. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable absorción de producto por tratamientos.....	95
Figura 5.30. Gráfico de interacciones para la variable absorción de producto por especies.....	96
Figura 5.31. Gráfico de interacciones para la variable absorción de producto por tratamientos.....	96
Figura 5.32. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable pérdida de peso por especies.....	98
Figura 5.33. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la	

variable pérdida de peso por tratamientos.....	99
Figura 5.34. Gráfico de interacciones para la variable pérdida de peso por especies.....	99
Figura 5.35. Gráfico de interacciones para la variable pérdida de peso por tratamientos.....	100
Figura 5.36. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por especies.....	101
Figura 5.37. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por tratamientos.....	102
Figura 5.38. Gráfico de interacciones para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por especies.....	103
Figura 5.39. Gráfico de interacciones para la variable humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por tratamientos.....	103
Figura 5.40. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por especies.....	105
Figura 5.41. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos....	106
Figura 5.42. Gráfico de interacciones para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por especies.....	107
Figura 5.43. Gráfico de interacciones para la variable humedad tras tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos.....	107
Figura 5.44. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable dureza media por especies.....	109
Figura 5.45. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable dureza media por tratamientos.....	110
Figura 5.46. Gráfico de interacciones para la variable dureza media por especies.....	110
Figura 5.47. Gráfico de interacciones para la variable dureza media por tratamientos.....	111
Figura 5.48. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por especies.....	112
Figura 5.49. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por tratamientos.....	113
Figura 5.50. Gráfico de interacciones para la variable contracción volumétrica por especies.....	114
Figura 5.51. Gráfico de interacciones para la variable contracción	

volumétrica por tratamientos.....	114
Figura 5.52. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable coeficiente de contracción por especies.....	116
Figura 5.53. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable coeficiente de contracción por tratamientos.....	117
Figura 5.54. Gráfico de interacciones para la variable coeficiente de contracción por especies.....	117
Figura 5.55. Gráfico de interacciones para la variable coeficiente de contracción por tratamientos.....	118
Figura 5.56. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por especies.....	119
Figura 5.57. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos.....	120
Figura 5.58. Gráfico de interacciones para la variable contracción lineal longitudinal por especies.....	121
Figura 5.59. Gráfico de interacciones para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos.....	121
Figura 5.60. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal radial por especies.....	123
Figura 5.61. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal radial por tratamientos.....	124
Figura 5.62. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal tangencial por especies.....	125
Figura 5.63. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal tangencial por tratamientos.....	126
Figura 5.64. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por especies.....	127
Figura 5.65. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por tratamientos.....	128
Figura 5.66. Gráfico de interacciones para la variable higroscopicidad por especies.....	129
Figura 5.67. Gráfico de interacciones para la variable higroscopicidad por tratamientos.....	129

ANEJOS

Figura I.1. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la densidad en <i>Populus x euramericana</i>	144
Figura I.2. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la densidad en <i>Pinus pinaster</i>	145
Figura I.3. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la absorción de producto en <i>Populus x euramericana</i>	146
Figura I.4. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la absorción de producto en <i>Pinus pinaster</i>	147
Figura I.5. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la pérdida de peso en <i>Populus x euramericana</i>	147
Figura I.6. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la pérdida de peso en <i>Pinus pinaster</i>	148
Figura I.7. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en <i>Populus x euramericana</i>	149
Figura I.8. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en <i>Pinus pinaster</i>	150
Figura I.9. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en <i>Populus x euramericana</i>	151
Figura I.10. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en <i>Pinus pinaster</i>	152
Figura I.11. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media en <i>Populus x euramericana</i>	153
Figura I.12. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media en <i>Pinus pinaster</i>	154
Figura I.13. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	155
Figura I.14. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	156
Figura I.15. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en <i>Populus x euramericana</i>	157
Figura I.16. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción volumétrica total en <i>Populus x euramericana</i>	158
Figura I.17. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción volumétrica total en <i>Pinus pinaster</i>	159
Figura I.18. Gráfico de dispersión por códigos de nivel del	

coeficiente de contracción volumétrica en <i>Populus x euramericana</i>	160
Figura I.19. Gráfico de dispersión por códigos de nivel del coeficiente de contracción volumétrica en <i>Pinus pinaster</i>	161
Figura I.20. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal longitudinal en <i>Populus x euramericana</i>	162
Figura I.21. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal longitudinal en <i>Pinus pinaster</i>	163
Figura I.22. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal radial en <i>Populus x euramericana</i>	164
Figura I.23. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal radial en <i>Pinus pinaster</i>	165
Figura I.24. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal tangencial en <i>Populus x euramericana</i>	166
Figura I.25. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal tangencial en <i>Pinus pinaster</i>	167
Figura I.26. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la higroscopicidad en <i>Populus x euramericana</i>	168
Figura I.27. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la higroscopicidad en <i>Pinus pinaster</i>	169
Figura I.28. Gráfico de distribución normal de los residuos para la densidad.....	169
Figura I.29. Gráfico de distribución normal de los residuos para la absorción de producto.....	170
Figura I.30. Gráfico de distribución normal de los residuos para la pérdida de peso.....	170
Figura I.31. Gráfico de distribución normal de los residuos para la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr.....	171
Figura I.32. Gráfico de distribución normal de los residuos para la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr.....	171
Figura I.33. Gráfico de distribución normal de los residuos para la dureza media.....	172
Figura I.34. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción volumétrica.....	172
Figura I.35. Gráfico de distribución normal de los residuos para el coeficiente de contracción volumétrica.....	173
Figura I.36. Gráfico de distribución normal de los residuos para la	

contracción lineal longitudinal.....	173
Figura I.37. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción lineal radial.....	174
Figura I.38. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción lineal tangencial.....	174
Figura I.39. Gráfico de distribución normal de los residuos para la Higroscopicidad.....	175

1. RESUMEN

1. RESUMEN

La madera y sus aprovechamientos han jugado un papel fundamental y paralelo al desarrollo de la humanidad y las civilizaciones. A lo largo de toda la historia encontramos escritos y pruebas en yacimientos arqueológicos o antiguas construcciones que lo prueban, sin embargo con la aparición de nuevos materiales de construcción como los hormigones armados, aceros inoxidables y plásticos, la madera ha sido relegada a un segundo plano en el siglo XIX y mediados del XX.

En nuestros días la madera, está siendo de nuevo demandada por todo el conjunto de la sociedad, por lo que el sector maderero debe resolver este nuevo reto por medio del desarrollo de nuevas tecnologías industriales y la investigación, y ofrecer así productos innovadores, de calidad y con propiedades constructivas competentes.

La verdadera ventaja que posee la madera frente a otros materiales es su propia procedencia orgánica generada por un ser vivo. Es un recurso natural renovable, sostenible, ecológico, reciclable, biodegradable, que no requiere grandes consumos de energía para su transformación y contribuye a reducir el cambio climático como sumidero de carbono. Pero además de éstas cualidades ofrece otras que junto a la económica, la hace muy interesante para el sector constructivo: es uno de los mejores termoaislantes naturales que existen, útil tanto para exteriores como interiores, estético, de propiedades estáticas óptimas, moldeable, y de excepcional comportamiento en zonas sísmicas.

A pesar de sus virtudes, posee otras características limitantes como material estructural: dureza, fragilidad, comportamiento frente a la humedad, los agentes biológicos y ambientales, o el fuego.

Por este motivo, el presente estudio tiene como objetivo el análisis del comportamiento de propiedades como la estabilidad y durabilidad tras la aplicación de distintos tipos de tratamientos con productos naturales como son la oleotermia y el termotratamiento en madera de *Populus x euramericana* "I-214" y *Pinus pinaster*.

El número total de probetas analizadas es de 508 de las cuales, 254 son probetas de madera de *Populus x euramericana* (Dode) Guiner "I-214", de una plantación del Norte de Palencia. La otra mitad, son de madera de *Pinus pinaster* procedentes de la Meseta Castellana.

A las probetas se sometieron a distintos tratamientos y posteriormente se calcularon las propiedades físicas y mecánicas siguientes: densidad, absorción de producto, pérdida de peso, humedad tras los tratamientos con sales al 23% y 52% de humedad relativa, dureza media, contracción volumétrica total, coeficiente de contracción volumétrica, contracción lineal longitudinal, contracción lineal radial,

contracción lineal tangencial, higroscopicidad y dureza tangencial, radial y media siguiendo normas UNE. Dentro de los tratamientos con oleotermia tenemos: oleotermia 1 (pincelado a temperatura ambiente con aceite reciclado), oleotermia 2 (inmersión en aceite reciclado durante 30 minutos), oleotermia 3 (inmersión en aceite reciclado a 140°C durante 30 minutos), oleotermia 4 (inmersión en aceite reciclado a 180°C durante 30 minutos) y oleotermia 5 (pincelado con aceite para teca a temperatura ambiente). Los termotratamientos aplicados fueron: termotratamiento 1 (120°C durante 45 minutos), termotratamiento 2 (160°C durante 45 minutos), termotratamiento 3 (180 °C durante 45 minutos) y termotratamiento 4 (180°C durante 45 minutos, lijado mediante cepillo de púas y pincelado con aceite reciclado a temperatura ambiente).

Los resultados más destacables obtenidos indican que al aplicar los tratamientos, la densidad disminuye con el aumento de la temperatura de éstos. Los valores más altos de absorción de producto se obtuvieron al aplicar tratamientos con altas temperaturas, así como ocurre en la pérdida de peso de las probetas. Los tratamientos térmicos más altos resultaron reducir la humedad de equilibrio higroscópico. En el caso de la dureza los tratamientos que parecen mejorar esta propiedad son aquellos que alcanzan menores temperaturas de tratamiento. Variables relativas con la estabilidad dimensional obtienen menores datos medios con tratamientos de altas temperaturas. Por último, la higroscopicidad es menor en tratamientos con temperaturas más bajas.

2. ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

Procederemos a realizar una introducción sobre la madera como material de construcción, analizaremos las especies objeto de nuestro estudio, la composición y estructura de la madera, así sus propiedades tratando de forma especial la dureza y la higroscopicidad de la misma, y se analizarán brevemente los principales tratamientos utilizados en madera al exterior.

2.1. INTRODUCCIÓN

La madera y sus numerosos usos han acompañado al ser humano desde los primeros albores de su existencia jugando un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones, de tal manera que la madera mantiene desde entonces hasta nuestros días su aprovechamiento, siendo uno de los materiales más apreciados y utilizados a pesar de la existencia de otros estructurales más económicos o con mejores propiedades.

En la poco conocida Edad de la Madera hace más de 500.000 años, época anterior a la Edad de Piedra, la madera jugó un papel fundamental como material imprescindible en la supervivencia del ser humano. Los usos fueron varios, desde formar parte de los instrumentos de la caza y armas de guerra, como elemento principal en la construcción de rudimentarias viviendas o refugios naturales, o mantener el fuego y proporcionar calor a los hogares. Con el desarrollo de la tecnología y el perfeccionamiento de las herramientas, la madera fue tratada de manera más compleja adaptándose a las nuevas necesidades, y gracias a ella culturas como la Egipcia y la Mesopotámica alcanzaron su gran salto evolutivo.

Paralelamente a la aplicación de nuevos instrumentos y maquinaria automatizada, se desarrollan los tratamientos físico-químicos con el fin de conservar y proteger de los ataques hostiles del medio, tanto bióticos, abióticos o la higroscopicidad. Muchos documentos en la civilización romana, a pesar sus limitados conocimientos científicos sobre su estructura, nos muestran técnicas de conservación para solventar los mencionados problemas, por ejemplo, Catón "El antiguo" (234-142 a.C) recomienda en su obra "De re rustica" aplicar sobre la madera aceite de oliva condensado (reduciendo a la mitad su volumen por cocción), o Plinio "El viejo" que nos cita en sus libros formas de aplicación y fórmulas con aceites protectores de la madera como el de cedro, oliva, alerce, ciprés y nardo para proteger de la pudrición. También es importante reconocer que los romanos fueron los inventores de productos ignífugos retardantes, Aulo-Gelio en el año 86 a.C. relata cómo fue imposible quemar una torre de madera impregnada con alumina (potasio de aluminio).

Otros datos históricos más cercanos e importantes en la historia de España durante el siglo XVI y XVII son los que nos muestran los tratamientos realizados por la industria naval de la que fuimos una gran potencia en todo el mundo. Cuando la

madera llegaba a los astilleros cortada en primera labra, se sumergía en balsas o fosas de agua salada para que perdiera la savia mediante el procedimiento de ósmosis inversa. Dentro de estos "adobios" o tratamientos naturales también encontramos impregnaciones en los navíos, que han persistido hasta nuestros días, como aplicación de alquitranes, creosotas, pirolignitos, carbones y desinfectantes con sebo y azufre.

La madera posee unas buenas cualidades intrínsecas como son: ligereza, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, a la compresión, los impactos y su dureza bien sabido y aprovechado. Sin embargo, existe una investigación tendente a la mejora de estas cualidades que la hagan más competitiva y exitosa en el sector de la construcción.

Más allá de la utilidad que nos presta, conocemos que la madera es un recurso natural renovable, donde los procesos de transformación se encuentran muy por debajo de los del resto de los demás materiales utilizados en construcción. Además, es un producto reciclable, dentro de una gestión forestal sostenible, y participa activamente como almacén de carbono donde el aumento de su consumo facilitaría el cumplimiento de compromisos políticos y medioambientales.

En nuestro estudio trataremos de establecer métodos de mejora de las propiedades mediante la aplicación de tratamientos de oleotermia y analizar los resultados obtenidos.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO

Las especies utilizadas en la realización del presente estudio han sido el *Pinus pinaster* Ait. y el *Populus x euramericana* (Dode) Guiner "I - 214", procedentes de la Meseta Castellana.

2.2.1. *Pinus pinaster*

El *Pinus pinaster* Ait. o pino negral, también conocido como pino resinero, pino marítimo o pino negral, es un árbol de corte piramidal, con copa redonda, aparasolada o irregular en los de más edad, a veces desproporcionada, por lo pequeña, con el tronco; alcanza 20 ó 30 metros de altura como máximo, aunque en suelos buenos y profundos puede llegar a los 40 m (López González, G. 2002).

El tronco es grueso, derecho, con corteza áspera, profundamente resquebrajada, bastante gruesa, de color pardo-rojizo, que toma una tonalidad muy oscura al contacto con el aire. Sus ramas arqueado-erguidas o casi horizontales, dispuestas en verticilos más o menos regulares, ásperas al tacto por estar cubiertas de las cicatrices, cada una con una pequeña lengüeta saliente, que deja las acículas caídas; de color pardo-grisáceo o pardo-rojizo (López González, G. 2002).

Sus ramillas poseen numerosas hojas aciculares largas y recias, de unos 10 a 27 centímetros de largo, planas, acanaladas en su cara superior y de color verde oscuro, rígidas, punzantes agrupadas en parejas (López González, G. 2002).

Los conos masculinos y femeninos nacen en la misma planta. Los primeros de forma lateral, en la terminación de las ramillas, agrupados en número variable y de forma largamente ovoide. Los conos femeninos se encuentran de forma solitaria o más frecuentemente verticilados u de forma ovoide (López González, G. 2002).

Las piñas de forma ovoideo-cónica, revueltas, con un tamaño de 8 a 22 centímetros, se encuentran casi sentadas sobre las ramas, con escamas provistas en el dorso de un escudete piramidal rómbico, muy prominente y punzante; cada una lleva dos piñones de 6 a 8 mm, largamente alados (López González, G. 2002).

2.2.1.1. Hábitat y ecología

Se puede encontrar desde el nivel del mar hasta unos 1700 m de altitud, principalmente en suelos silíceos con preferencia por los suelos sueltos y arenosos, en los que soporta la caliza. Es una planta amante de la luz y resiste a la sequía y heladas, aunque no tanto como otros pinos. Forma pinares puros o bosques mixtos y se asocia frecuentemente con jaras y brezos (López González, G. 2002).

El pino negral es una especie propia del mediterráneo occidental, sobretodo de la península ibérica y Norte de África, así como del sudoeste de Francia. En Castilla y León tenemos pinares muy extensos en la mayor parte de las provincias, totalizando 317.000 hectáreas. Destacan las provincias de Segovia, Ávila, Soria, Burgos y Salamanca (Oria de Rueda, J.A. 2002).

2.2.1.2. Descripción de la madera

Su madera es de grano grueso y ligera con los anillos de crecimiento claramente marcados presentando un fuerte contraste entre la madera de primavera y la de verano. Presenta numerosos canales resiníferos y la madera suele encontrarse muy impregnada de resina, que le confiere un color rojizo. También presenta numerosos nudos, que pueden alcanzar grandes diámetros, y fibras rectas. El color de la madera de la albura es blanco-amarillento, y el duramen varía del amarillo-naranja al rojo asalmonado.

2.2.1.3. Usos y aprovechamientos

Esta conífera se ha aprovechado desde siempre, por su madera, leña y su característica miera o resina. También por sus grandes piñas, así como el pizorro (cortezas gruesas) y la tamuja (hojarasca). Asimismo se utilizaban los leños enresinados (teas) para el alumbrado público y privado en los pueblos de las

comarcas pinariegas. Ya citada por los antiguos griegos y romanos, hace dos milenios, los escritores Plinio y Pausanias anotaban que la resina hispana era "amarga" y se recogía para explotarla. Un árbol puede producir de 2 a 5 kilogramos de miera (resina) al año (Oria de Rueda, J.A. 2002).

La madera del pino negral, de albura blanca y duramen rojizo, presenta anillos muy marcados, aplicándose en carpintería. En la comarca Segoviana de Cantalejo se fabricaban trillos muy afamados que se distribuían por toda Castilla en verano. También con esta madera se fabricaban los armazones de los retablos, así como los bancos de la iglesia, las puertas de las casas y tarimas, y un sinfín de muebles y construcciones (Oria de Rueda, J.A. 2002).

Otras aplicaciones en las industrias madereras más modernas son: tableros alistonados, tableros contrachapados, paletas, embalajes, pasta de papel y tableros de partículas o de fibras. Hay que destacar que la madera procedente de árboles resinados es de peor calidad.

Tanto el aserrado como el mecanizado, a pesar de la presencia de resina y numerosos nudos, es relativamente fácil, y presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desenrollo.

2.2.1.4. Propiedades de la madera

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* se recogen a continuación (Tabla 2.1.):

Tabla 2.1. Propiedades de la madera de *Pinus pinaster* (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997)

PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES MECÁNICAS	
Densidad (kg/m ³)	530/550	Flexión estática (N/mm ²)	78
Contracción	Medianamente nerviosa	Módulo de elasticidad (N/mm ²)	7230
Coefi. de contracción		Compresión axial (N/mm ²)	39
Volumétrica	14,50%	Compresión perpendicular (N/mm ²)	6
Tangencial	7,60%	Cortante (N/mm ²)	9
Radial	4,10%		
Dureza	Semidura		

Estudios realizados por Acuña L. et al. (2009) siguiendo la Norma europea EN 338 para una población global de *Pinus pinaster* en Castilla y León ofrecen los siguientes datos: Módulo de Rotura a la flexión (MOR) = 28,8 MPa, Módulo de elasticidad a flexión (MOE) = 10.017,10 MPa y Densidad = 467,1 kg/cm³ para la calidad ME1; MOR = 16,77 MPa, MOE = 8512,5 MPa y Densidad = 452,9 kg/cm³ para la calidad ME2 y, por último MOR = 13,32 MPa, MOE = 8140,6 MPa y Densidad = 431,3 kg/cm³ para la madera rechazada.

Respecto a otras propiedades, las tecnológicas, podemos decir que tanto el aserrado como el mecanizado, a pesar de la presencia de resina y numerosos nudos, es relativamente fácil, y presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desarrollo. Esta madera está clasificada como medianamente o poco durable frente a la acción de hongos sobretodo la albura, los cerambícidos, los anóbidos y a las termitas. La impregnabilidad de la madera de la albura es posible, mientras que el duramen no es impregnable.

2.2.2. *Populus x euramericana*

El chopo pertenece a la familia botánica de las Salicáceas, todos los miembros de esta familia tienen preferencia por hábitats húmedos, llanuras inundables y las riberas fluviales. En general son especies de temperamento robusto (heliófilo) y crecimiento rápido. La familia tiene dos géneros: *Salix* (sauces) y *Populus* (chopos y álamos), ambos muy difundidos en el hemisferio norte, con algunos representantes en el sur.

El chopo es un árbol esbelto, de porte cilíndrico que puede alcanzar los 30 metros. El tronco es recto, de corteza inicialmente lisa y color gris verdoso que con el tiempo se va oscureciendo y agrietando. Sus hojas caducas son simples alternas y caedizas, generalmente anchas, y bordes de forma variable. El peciolo es largo, a menudo aplanado que presta a las hojas gran movilidad. Son una especie dioica, es decir con flores masculinas y femeninas en individuos diferenciados. Estas flores se disponen en grupos o amentos generalmente colgantes. El fruto es seco, en cápsula, con una sola cavidad, abriéndose para madurar por dos valvas. Saldrán de ellas numerosas semillas, diminutas, cubiertas de finos pelos algodonosos para poderse diseminar por el viento aunque también cuenta con una facilidad asombrosa para la multiplicación vegetativa.

Los beneficios ecológicos de esta especie son múltiples. Los ratios de fotosíntesis del chopo están entre los más altos de todas las especies de árboles (Nelson, 1984), por lo que le hacen ser una potente herramienta en la lucha contra el cambio climático. Entre las funciones naturales de las choperas es importante destacar la capacidad protectora de suelos de las riberas y márgenes de ríos, el efecto de laminación de avenidas que ayuda a reducir los impactos negativos de las crecidas de los ríos, la aplicación de choperas como filtros verdes (fitoremediación), y por último señalar que los cultivos de chopo disminuyen el riesgo de propagación de incendios forestales.

Según la Comisión Internacional del Álamo (IPC), organismo dependiente de la FAO (Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) el género *Populus* consta de 29 especies divididas en 6 secciones (Eckenwalder J.E., 1996): Abaso, Aigeiros, Leucoides, *Populus*, Tacamahaca, y Turanga, de las cuales tres son endémicas de la península Ibérica, *Populus nigra* L. (Sección Aigeiros), *Populus Alba*

L. y *Populus tremula* L. (ambas de la Sección *Populus*) como podemos ver en la Tabla 2.2 :

Tabla 2.2. Clasificación taxonómica del género *Populus* (Eckenwalder,1996)

Secciones	Especies
Abaso	<i>P. mexicana</i> Wesmael
Turanga	<i>P. euphratica</i> Olivier <i>P. ilicifolia</i> (Enger) Rouleau <i>P. pruinosa</i> Schrenk
Leucoides (blanquecinos)	<i>P. glauca</i> Haines <i>P. heterophylla</i> Linnaeus <i>P. lasiocarpa</i> Olivier
Aigeiros (negros)	<i>P. nigra</i> Linnaeus <i>P. deltoides</i> Marshall <i>P. fremontii</i> S.Watson
Tacamahaca (balsamíferos)	<i>P. trichocarpa</i> Torrey & Gray <i>P. balsamifera</i> Linnaeus <i>P. ciliata</i> Royle <i>P. laurifolia</i> Ledebour <i>P. simonii</i> Carrière <i>P. suaveolens</i> Fischer <i>P. szechuanica</i> Schneider <i>P. angustifolia</i> James <i>P. yunnanensis</i> Dode
Populus (blancos)	<i>P. alba</i> Linnaeus <i>P. monticola</i> Brandegees <i>P. tremula</i> Linnaeus <i>P. tremuloides</i> Michaux <i>P. adenopoda</i> Maximowicz <i>P. gamblei</i> Haines <i>P. grandidentata</i> Michaux <i>P. sieboldii</i> Miquel <i>P. guzmanantlensis</i> Vázquez & Cuevas <i>P. simaroa</i> Rzedoowski

2.2.2.1. Híbridos

Los chopos son una especie con gran capacidad para la reproducción tanto de forma sexual (dioicos) como asexual (estacas de tallo, brotes de cepa, etc.). En la naturaleza cuando se encuentran dos especies distintas compatibles en el mismo hábitat y periodo de floración pueden generar de manera natural híbridos. Los híbridos más destacados por su relevancia económica en el ámbito mediterráneo son: ***P. x canescens*** Smith (entre *P. alba* y *P. tremula*), ***P. interamericana*** Brokehuizen = ***P. x generosa*** Henry (entre *P. deltoides* y *P. trichocarpa*), y ***P. x euramericana*** (Dode) Guiner = ***P. x canadensis*** Moench.

Bajo el nombre colectivo de ***P. x euramericana* = *P. x canadensis*** se engloba todos los híbridos derivados de *P. deltoides* como parental femenino y *P. nigra* como parental masculino. Este grupo de híbridos se consideran altamente productivo e interesante para la populicultura al mantener las características culturales de *P. deltoides* y la alta adaptación, la resistencia a las plagas y enfermedades y la facilidad para multiplicarse vegetativamente del *P. nigra* (Serrada, 2008).

Populus x euramericana alcanza los 10 metros de altura a los 10 años y una talla definitiva de unos 30 m. Sus troncos son derechos y menos ramosos que los chopos autóctonos. Sus hojas son grandes de limbo anchamente triangular. Al brotar en primavera toma el follaje un color cobrizo muy vistoso. Los pies femeninos producen semillas muy pequeñas cubiertas de abundante material algodonoso (las llamadas "pelusas") que el viento arrastra en primavera y llega a cubrir el suelo (Oria de Rueda, J.A. 2002).

Es un chopo de gran valor industrial útil en restauración de terrenos desnudos en riberas, vegas y campos de cultivo próximos a ríos, por su facilidad de instalación y rápido desarrollo de su sistema radical, hasta altitudes de 1200 m. Prefiere suelos frescos pero drenados y filtrantes, tolerando los encharcamientos habituales. Se emplea planta de 1 o 2 años y de 160 a 300 árboles por ha. Las plantaciones son empleadas para producir biomasa, tableros de partículas, contrachapado, muebles ligeros de madera blanca, pasta de papel, cajas de embalajes, etc. (Oria de Rueda, J.A. 2002).

2.2.2.2. El clon I-214.

El hombre ha sabido aprovechar estas cualidades reproductivas del género *Populus* para generar nuevas estirpes o formas intermedias artificialmente de interés por alguna característica cultural: rápido crecimiento, buena madera, resistencia a plagas y enfermedades, buena adaptación a diferentes condiciones ambientales, etc.

Los clones autorizados hasta la fecha han sido publicados mediante diferentes Órdenes Ministeriales. La primera de ellas fue la Orden de 24 de junio de 1992, por la que se publicó el Catálogo Nacional de clones admitidos como materiales de base para los materiales forestales de reproducción, relativo al género *Populus* L., ampliada por la Orden APA/544/2003, de 6 de marzo, y en la que se autorizaron catorce nuevos clones. Posteriormente la Resolución de 7 de noviembre de 2011 de la Dirección General de Recursos Agrícolas y ganaderos modifica el Catálogo de los clones admitidos, excluyendo tres clones y modificando el nombre de otro más. Los clones admitidos actualmente son los que aparecen en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3. Relación de clones admitidos en el Catálogo Nacional de Materiales de Base

<i>Populus x euramericana (Dode) Guiner</i>
Agathe F. Campeador Canadá blanco Flevo MC I-214 Luisa Avanzo Tripló 2000 Verde B-1M Branagesi Dorskamp Guardi I-454/40
<i>Populus deltoides Marchs. X Populus alba L.</i>
114/69
<i>Populus deltoides Marsh</i>
Lux Viriato
<i>Populus nigra L.</i>
Tr 56/75 Bordils Lombardo Leonés
<i>Populus x generosa A. Henry</i>
(<i>Populus trichocarpa</i> x <i>Populus deltoides</i> y <i>Populus x interamericana</i> en las Órdenes Beaupre Raspalje Boelare Unal USA 49-177

Dentro de los clones que más se utilizan en España pertenecen a *Populus x canadensis*, siendo el principal el **I-214** ocupando el 70% de las plantaciones españolas de chopo.

El clon I-214 es un clon femenino de origen italiano, desarrollado por el antiguo *Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura* situado en Casale Monferrato en 1929. Comenzó a extenderse en Italia al finalizar la 2ª Guerra Mundial, y más tarde se extendió por el mediterráneo.

Poseen una corteza fina y lisa, fuste ligeramente tortuoso, copas amplias y escasa dominancia apical y tendencia a formar rápidamente ramas gruesas, por lo que la aplicación de podas jugará un papel fundamental en la obtención de buenos rendimientos. La foliación en estos clones es precoz, con buen aprovechamiento del periodo vegetativo presentando un crecimiento muy rápido. En zonas frecuentes de vientos fuertes corren riesgo de un elevado porcentaje de roturas, tanto en sus

primeros años, como siendo ya adultos. Presentan sensibilidad a heladas precoces y tardías y preferencia por los suelos fértiles y ligeros.

Su resistencia a agentes bióticos, es sensible a *Marsonnina* y al virus del mosaico, y resistente a *Dothichiza sp.*, *Xanthomonas sp.*, *Venturia populina* y especies del género *Melampsora*. También es propenso a ataques de *Paranthrene*, no siendo graves debido al gran crecimiento que los elimina de forma natural por aplastamiento (Baeyens A. 1991).

2.2.2.3. Propiedades de la madera

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Populus* se recogen a continuación (Tabla 2.4.):

Tabla 2.4. Propiedades de la madera del género *Populus* (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997)

PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES MECÁNICAS	
Densidad (kg/m ³)	420/480	Flexión estática (N/mm ²)	54-86,5
Contracción	Medianamente nerviosa	Módulo de elasticidad (N/mm ²)	8100-9600
Coefi. de contracción		Compresión axial (N/mm ²)	29-37
Volumétrica	14,30%	Compresión perpendicular (N/mm ²)	7.8
Tangencial	7,40%	Cortante (N/mm ²)	5-7
Radial	2,80%		
Dureza	Blanda		

Los estudios realizados por Casado M. et al. (2012) sobre las piezas de *Populus x euramericana* I-214 de árboles de 18 años de edad de distintas plantaciones de choperas en Palencia (España), arrojan los siguientes resultados estadísticos en las pruebas no destructivas realizadas de acuerdo con la norma EN 408:2004 "Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas": Módulo de Rotura a la flexión (MOR) = 36.88 MPa, Módulo de elasticidad a flexión (MOE) = 7044,65 MPa y Densidad = 361,29 kg/cm³.

En cuanto a otras propiedades, las tecnológicas, podemos decir que el aserrado es fácil. Su madera es apta para la obtención de chapa por desenrollo y mediante corte a la plana. Está clasificada como madera no durable frente a la acción de hongos, también es sensible a los anóbidos, a los hesperophanes (Cerambícidos) y a las termitas, sin embargo es resistente a los líctidos. La impregnabilidad de la madera de la albura es posible, mientras que el duramen es poco impregnable.

2.3. ESTRUCTURA DE LA MADERA

Con el fin de una mejor comprensión de las variables obtenidas mediante la aplicación de los distintos tratamientos y el estudio sobre la dureza y higroscopicidad, es conveniente mencionar algunos aspectos relacionados con la estructura de la

madera, tanto a nivel macroscópico, microscópico y ultramacroscópico, así como las diferencias entre la madera de frondosas y coníferas.

La madera está formada por un conjunto de tejidos que forman parte de la estructura vital de un ser vivo que es exclusivo de los vegetales leñosos y que constituyen la parte sólida de los árboles: el tronco, las raíces y ramas, excluyendo la corteza.

La madera no es un material homogéneo, sino que encontraremos diferentes tejidos especializados dependiendo de las funciones fisiológicas del vegetal: sostén del vegetal, conducción de savia y transformación y almacenamiento de los productos vitales.

Dicha heterogeneidad en este material orgánico a diferencia de otros materiales estructurales y anisótropos se verán reflejados en sus propiedades tanto físicas como mecánicas muy diferentes de acuerdo con la dirección considerada.

Generalmente para el estudio tanto de la estructura a nivel macroscópico como microscópico debido a la falta de homogeneidad en las estructuras se consideran tres planos de referencia principales:

- Sección transversal: es la sección perpendicular al eje del tronco.
- Sección radial: sección que pasa por el eje y un radio del tronco.
- Sección tangencial: sección perpendicular a las dos anteriores y paralelo a un plano tangente al tronco, o a los anillos de crecimientos.

Estas secciones o cortes se pueden reconocer en la Figura 2.1.:

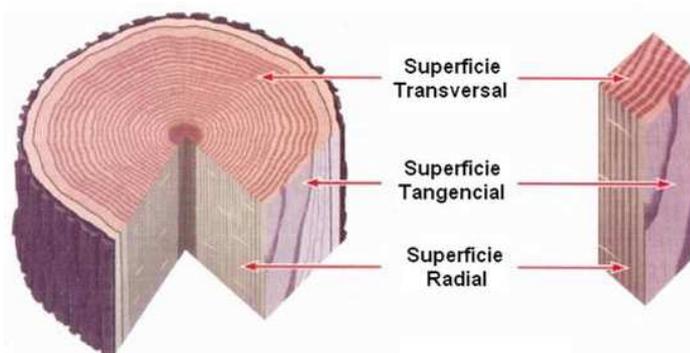


Figura 2.1. Tipos de cortes de la madera (Fuente: <http://www.monografias.com/>)

2.3.1. Estructura macroscópica de la madera

La estructura macroscópica de la madera es aquella que podemos apreciar a simple vista, sin la utilización de técnicas ni aparatos suplementarios, o con una lupa de máximo diez aumentos. Si tomando la sección transversal del tronco de un árbol podemos diferenciar de dentro a fuera las siguientes estructuras:

Médula: ocupa la parte central del tronco y de pequeño tamaño. Constituida por un tejido de color blanquecino, flojo y poroso y con reducidas características mecánicas. De ella parten los radios medulares hasta la periferia del tronco.

Duramen: Forma la parte más gruesa, densa y pesada del tronco distribuyéndose desde la médula hasta la albura. Se reconoce por su color oscuro debido a las transformaciones químicas producidas en el interior de las células durante su envejecimiento y pérdida del flujo de savia, es decir está compuesto por células biológicamente muertas. Estos cambios afectan directamente a su estructura física, fortaleciéndola y constituyendo la parte rígida del árbol, denominada madera propiamente dicha.

Albura: Situada entre el duramen y el cambium. Es tejido biológicamente activo (madera viva), de color claro, cuya función es la de conducción la savia bruta de las raíces al follaje almacén de los elementos nutrientes. Esta parte de la madera del tronco posee menor consistencia que el duramen, y es más propensa al ataque de mohos, hongos y xilófagos, por su alto contenido en sustancias putrescibles.

Cambium: es una capa delgada, imperceptible, responsable directa del crecimiento diametral del tronco. Podemos encontrar en ella dos tipos de células: hacia el interior del tronco, células leñosas (xilema), y hacia la parte exterior células liberianas (floema).

Líber: se encuentra situado bajo la corteza y antes del leño. Contiene unos conductos especializados denominados tubos cribosos. Éstos realizan la función conductora de la savia elaborada que desciende de las hojas para abastecer o almacenarse en aquellas zonas activas donde sea necesaria.

Corteza: es la zona más externa del tronco, que protege al árbol de cambios bruscos de temperatura y las posibles acciones mecánicas que surgen del exterior como por ejemplo insectos perforadores de la madera. El espesor de la corteza varía dependiendo de la especie.

Anillos de crecimiento: Vienen definidos por el desarrollo diferenciado de las nuevas células generadas en el cambium a lo largo de las distintas estaciones del año. Dependiendo de la especie y el clima donde se desarrolle el árbol, generarán un crecimiento en grosor uniforme o diferenciado. En cada anillo podemos encontrar dos zonas claramente diferenciadas: la madera formada en primavera (madera de primavera) con tejido poroso y función conductora, y otra formada en otoño (madera de otoño) de paredes celulares más gruesas, tejidos más densos con función de estabilización y solidez.

Radios leñosos: también conocidos como radios medulares. Son un elemento anatómico constituido por células dispuestas en dirección radial, perpendiculares al eje

del árbol. Tiene importancia destacada como elementos de identificación de maderas y en las propiedades de la madera como por ejemplo la contracción.

Las estructuras anteriores pueden diferenciarse en la siguiente Figura 2.2.:

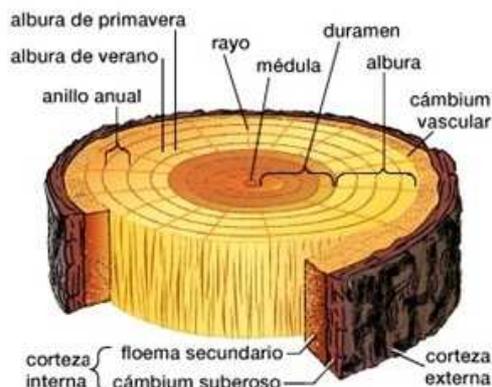


Figura 2.2. Sección transversal de un árbol (Fuente: parques y bosques)

2.3.2. Estructura microscópica de la madera

La madera es un material heterogéneo formado por distintos tipos de células tubulares especializadas que entrelazadas o simplemente adheridas entre sí forman tejidos. Estos tejidos dependiendo de su función vital a realizar en el árbol podemos clasificarlos en tejidos conductores, mecánicos o de reserva.

Tanto en las maderas de coníferas como en las de frondosas podemos distinguir dos tipos fundamentales de tejidos:

- **Prosenquimatosos:** son tejidos formados por células alargadas, fusiformes o filiformes, firmemente unidas por sus extremos, de membranas engrosadas y sin contenido protoplasmático o muy poco. Su función principal es la de resistencia y conducción.
- **Parenquimatosos:** son tejidos constituidos por células no alargadas, de membranas delgadas, no lignificadas y con protoplasma. Son tejidos de almacenamiento y conducción de los hidratos de carbono, y mantienen su actividad durante mucho más tiempo que los tejidos prosenquimatosos.

A pesar de que frondosas y coníferas estén formadas por estos dos tipos anteriores de tejidos poseen estructuras diferentes y por lo tanto diferencias desde el punto de vista microscópico:

1. Existencia de vasos en las frondosas como elementos de conducción de la savia. En las coníferas son inexistentes y se realiza a través de traqueidas de paredes finas.
2. La estructura anatómica en las maderas de frondosas es mucho más compleja que en las coníferas, interviniendo más tipos de células en su composición.
3. El almacenamiento en frondosas como en coníferas de las sustancias nutritivas elaborada en las hojas se realiza en el parénquima. Sin embargo, las frondosas poseen mayor proporción de tejidos parenquimatosos, tanto en dirección longitudinal como transversal.
4. Disposición radial de las células longitudinales de las coníferas, característica al ser vista en la dirección normal de las fibras.
5. Mayor variabilidad en el tamaño de los radios leñosos de las frondosas.
6. En las coníferas, la función de soporte es realizado por traqueidas de paredes gruesas, mientras que en frondosas mediante fibras.

En las siguientes imágenes (Figuras 2.3., 2.4., 2.5., 2.6.) tomadas podemos apreciar las diferentes estructuras de la madera:

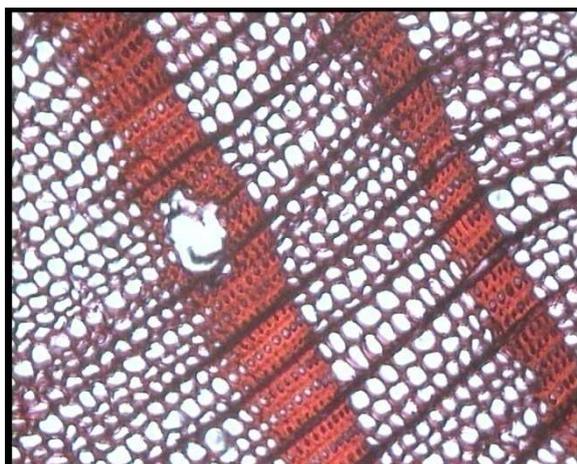


Figura 2.3. Sección transversal de *Pinus pinaster* (Fuente: propia)

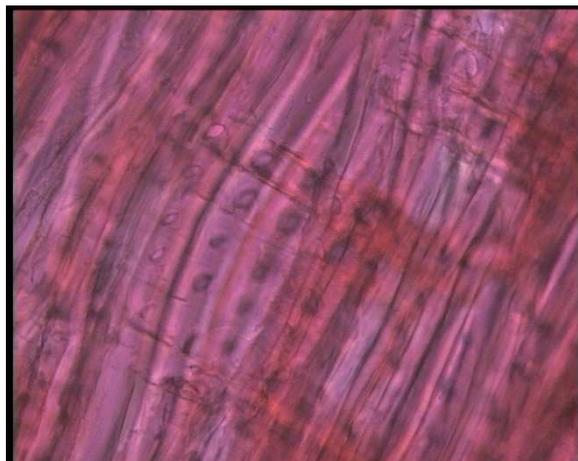


Figura 2.4. Sección radial de *Pinus pinaster* (Fuente: propia)

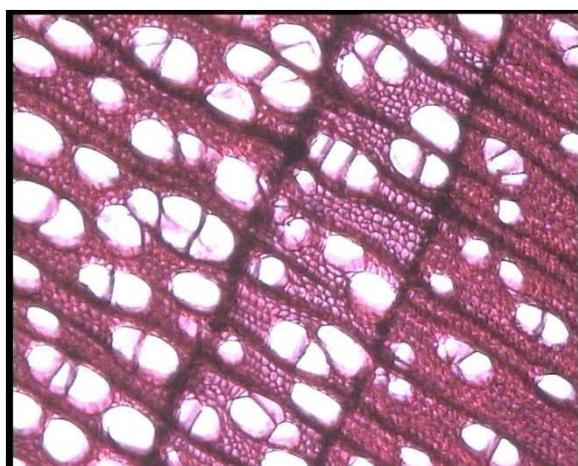


Figura 2.5. Sección transversal de *Populus x euramericana* (Fuente: propia)



Figura 2.6. Sección radial de *Populus x euramericana* (Fuente: propia)

2.3.3. Estructura ultramacroscópica

La estructura ultramacroscópica es la que nos analiza en profundidad la membrana celular. La membrana celular no es maciza y se compone de tres capas:

- Pared intercelular o laminilla media: capa externa y muy delgada formada por lignina y algo de hemicelulosa. Constituye un elemento de cohesión entre células para formar tejidos.
- Pared primaria: es una pared delgada constituida principalmente por microfibras incrustadas en un fondo de lignina.
- Pared secundaria: constituida por microfibrillas incrustadas en pequeñas proporciones de lignina.

Se podría decir que la madera está formada por una serie de tubos dispuestos en dirección del eje del árbol, estando formados esos tubos por cadenas de celulosa ligadas entre sí por un material denominado lignina. Estructuralmente se podría utilizar el símil de que la madera está formada por tubos constituidos por barras de acero (cadenas de celulosa) inmersos en hormigón (lignina) (Vignote S. 2006).

La siguiente Figura 2.7. se muestran las diferentes capas y subcapas de las que se compone la pared celular:

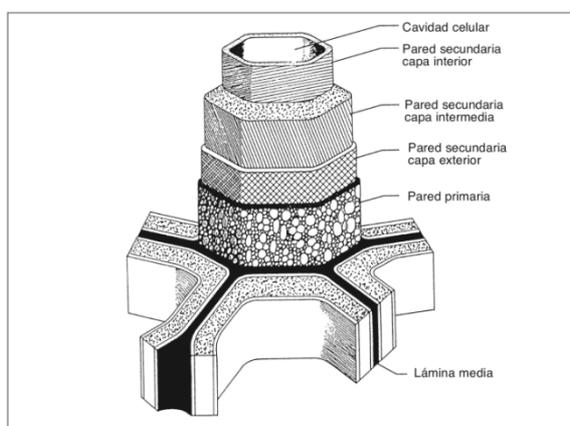


Figura 2.7. Capas y subcapas de la pared celular (Fuente: Tecnología de la madera)

2.4. PROPIEDADES DE LA MADERA

Debido a que la madera es un material orgánico procedente de un ser vivo, las células que lo constituyen pueden tener distinta naturaleza y diversas formas generando diferentes tipos de tejidos. Este material tan heterogéneo, podrá presentarse en mayor o menor proporción dentro de las diferentes especies, razas, variedades, individuos e incluso encontrarse o no dentro del mismo individuo. Las

diferencias son también notables dependiendo de la edad del árbol y las condiciones ecológicas donde se establezca el árbol como el terreno, el clima, u otras circunstancias que lo afecten.

Por lo tanto, las propiedades tecnológicas, anatómicas, físicas y mecánicas de la madera podrán variar según la dirección de estudio considerada. Como resultado de esta anisotropía la madera es un producto muy diferente a los demás materiales de construcción como pueden ser los obtenidos por la industria siderúrgica o los sintéticos.

A continuación se detallarán las propiedades físicas y mecánicas más importantes para comprender el comportamiento de la madera.

2.4.1. Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin que se produzca ninguna modificación mecánica o química en su estructura. Las principales propiedades físicas que influyen en nuestro estudio son: humedad, higroscopicidad, anisotropía, hinchazón y merma, y densidad.

2.4.1.1. Humedad

El contenido de la humedad de la madera es la relación del peso de agua contenida en la madera, respecto al peso de la madera anhidra expresada en porcentaje. La obtención de la humedad de la madera anhidra se obtiene de la siguiente forma:

$$H = \frac{(Ph - Po)}{Po} \times 100$$

Donde:

Ph: peso de la madera a la humedad "h"

Po: peso anhidro de la madera

Cuando el árbol desarrolla sus actividades fisiológicas, los tejidos celulares contienen gran cantidad de agua tanto en la cavidad de las células como en las paredes de éstas. Por lo tanto, en la madera el agua se puede encontrar en diferentes formas:

- Agua de constitución: es la que forma parte del propio material leñoso, forma parte de los elementos químicos que componen la pared celular. Su eliminación total supondría la destrucción de la madera.
- Agua de impregnación: es aquella que impregna las paredes celulares ocupando los espacios o huecos de la estructura celular (intermicrofibrillas e fibrillas elementales), ejerciendo gran influencia sobre las propiedades físico-

mecánicas. La cantidad de agua en la madera se mantendrá en equilibrio dinámico respecto al ambiente que la rodea. La madera alcanzará el punto de saturación en el momento que las pared celular se encuentre saturada de agua, es decir cuando alcance contenidos de humedad próximos al 30%. El agua de impregnación podrá ser eliminada sometiendo a la madera a calentamiento que alcance los 100-110°C.

- Agua libre o capilar: es la que ocupa el lumen de las células. No tiene más repercusión que la ocupación física de los huecos, y una vez eliminada sólo puede recuperarse por inmersión en agua.

El agua ambiental impregna solamente las membranas celulares hasta su punto de saturación. Al secarse la madera primero se evapora el agua libre o capilar, luego el agua higroscópica, y por último el agua de constitución (Zanni, E. 2004).

La madera recién cortada tiene un contenido de humedad comprendido entre el 70% y el 200%, reduciéndose a valores entre el 16 y el 18% por secado al aire libre. Si queremos conseguir unos contenidos de humedad inferiores al 16-18% se deberá recurrir a procedimientos de secado artificial de la madera.

2.4.1.2. Higroscopicidad

La higroscopicidad es la capacidad que tienen ciertos materiales para absorber o perder agua procedente de la humedad atmosférica que los rodea y retenerla en forma de agua líquida o vapor de agua. De esta forma a cada estado ambiental (humedad relativa y temperatura del aire) le corresponde un grado de humedad de la madera, denominado humedad de equilibrio higroscópico (HEH). La humedad de Equilibrio higroscópico es el contenido de humedad de la madera en el que se equilibran las fuerzas de absorción de humedad de la madera con la fuerza desecante del aire es prácticamente constante para todas las especies.

2.4.1.3. Anisotropía

Se define como la desigualdad en el comportamiento de las distintas zonas de una madera, debida a las diferencias estructurales de los tejidos en los que la actuación de las fuerzas, o presiones externas a las que se somete la madera, determinan el grado de resistencia a las fracturas, dilataciones y contracciones, dependiendo del sentido en que se apliquen.

Se diferencian tres direcciones principales definidas a continuación:

- Dirección axial: es paralela a las fibras y por tanto al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta sus propiedades preferibles.
- Dirección radial: perpendicular a la dirección axial, corta el eje del árbol en el plano transversal y es normal a los anillos de crecimiento aparecidos en la sección recta.

- **Dirección tangencial:** se localiza también en la sección transversal pero es tangente a los anillos de crecimiento o también, normal a la dirección radial.

En las siguiente Figura 2.8., se puede apreciar las diferentes direcciones definidas anteriormente:

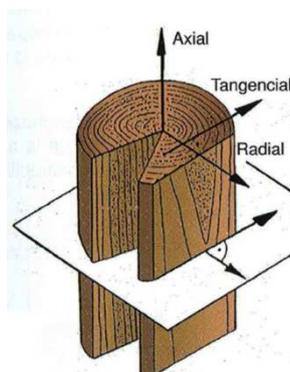


Figura 2.8. Direcciones de la madera (Fuente: <https://quimicasthai.wordpress.com>)

2.4.1.4. Hinchazón y merma

Debido a la higroscopicidad y la anisotropía de la madera se derivan las propiedades de merma e hinchazón, no siendo estas más que la capacidad que posee la madera para modificar sus dimensiones y por lo tanto su volumen, cuando el contenido de humedad es modificado. Para que estos cambios tengan lugar el contenido de humedad deberá encontrarse por debajo del punto de saturación de las fibras, es decir cuando no exista agua libre en la madera.

La merma es la reducción de las dimensiones lineales y el volumen de la madera al secarse, mientras que la hinchazón es el efecto contrario, el incremento.

Los cambios dimensionales serán distintos según la dirección axial, radial o tangencial:

- La mayor variación dimensional se manifiesta en la dirección tangencial.
- La variación dimensional en la dirección radial es del orden de un 50 o 60% de la que se produce en la dirección tangencial.
- La variación dimensional en la dirección longitudinal es muy reducida, pudiéndose estimar en un 2% de la correspondiente a la dirección radial.

El ensayo de contracción viene especificado por la norma UNE 56.533 "Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica".

2.4.1.5. Densidad

La densidad de la madera se define como la relación que existe entre el peso y el volumen. Es necesario para su expresión referirla a un determinado contenido de humedad, generalmente del 12%, ya que al ser un material higroscópico la pérdida o ganancia de agua repercute directamente en el peso y volumen. Si no fuera así, la comparación con otras densidades de maderas serían poco claras y distorsionadas.

Una de las propiedades más ventajosas de la madera es su baja densidad, que la convierte en una de las soluciones constructivas más ligeras que el acero o el hormigón. Podemos distinguir dos tipos: la densidad real y la aparente. Entendemos por densidad real a la relación que existe entre el peso y el volumen sin las cavidades celulares, es decir, únicamente de la pared celular, por lo tanto es constante para todas las especies y alcanza un valor de 1.500 kg/m³. Sin embargo, la densidad aparente o bruta considera para los mismos cálculos los huecos de vasos y poros de la madera, que es lo que hace diferenciar a las diferentes especies.

Los valores de densidad que podemos encontrar entre especies son muy variables, desde los 300 kg/m³ en las ligeras, hasta los 1.200 kg/m³ en las maderas más pesadas.

2.4.1.6. Dureza

La dureza es una propiedad usada comúnmente; da una indicación general de la resistencia del material y de su resistencia al rayado y al desgaste. De manera más específica, la dureza por lo general se especifica como la resistencia a la indentación o impresión permanente. Por lo que, por ejemplo, el acero es más duro que el aluminio, y el aluminio es más duro que el plomo. La dureza no es, sin embargo, una propiedad fundamental, dado que la resistencia a la indentación depende de la forma del indentador y de la carga aplicada (Kalpakjian et al, 2002).

La madera, en relación con otros materiales (acero y hormigón), se puede definir como un material blando, lo que en algunos aspectos puede considerarse un defecto (facilidad de rayado y por tanto de pérdida de apariencia de la superficie) pero en otros aspectos es una ventaja, por la facilidad de trabajo que presenta (Vignote 2006).

En cuanto a clasificación, la norma más aceptada es la incluida en la norma UNE 56.540 "Características físico mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de ensayo" donde se diferencia entre los grupos taxonómicos: frondosas y coníferas. Esta clasificación es la recogida en las siguientes tablas:

Tabla 2.5. Clasificación de la dureza en especies de coníferas (Guindeo1997)

Dureza (1/mm)	Clasificación
1-2	Blandas
2-4	Semiduras
4-20	Duras

Tabla 2.6. Clasificación de la dureza en especies de frondosas (Guindeo 1997)

Dureza (1/mm)	Clasificación
0,2 - 1,5	Muy blandas
1,5 - 3	Blandas
3 - 6	Semiduras
6 - 9	Duras
9 - 20	Muy duras

De la Calle Grande, J.C. et al. (2013) observó en sus estudios de determinación de la dureza por medio de ensayo Monnin a fuerza constante 2kN sobre distintas especies, los siguientes datos en coníferas: *Pinus sylvestris* = 0,88653 (kN/cm²); *Pinus taeda* L. = 0,91473; *Picea abies* L. = 0.62005; *Larix decidua* Miller = 0,69400. Larrea A. et al, (2012) determinó la dureza Monnin en madera de *Populus x euramericana* "I-214" de acuerdo con la norma UNE 56534:1977, obteniendo un valor medio de dureza de 24,6587 kN/cm².

Esta propiedad se estudiará de manera más detallada en siguientes apartados por la importancia que posee en nuestro estudio.

2.4.2. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas de la madera pueden ser definidas como aptitudes de la misma para resistir cambios en su forma o tamaño, al ser sometida a un esfuerzo externo de una carga.

Respecto a los valores de resistencia, como ya se ha indicado anteriormente, en dirección longitudinal es relativamente muy resistente, mientras que transversalmente, es muy pequeña. También debe indicarse la influencia de la resistencia en la madera en función de la humedad, que varía con el tipo de esfuerzo: cuando la madera aumenta un 1% su porcentaje de humedad, la resistencia merma entre el 1,5 y el 2% (Vignote S. & Jimenez Peris, F. 1996). Además, esta propiedad tiene una relación directa con el tipo de especie forestal, la existencia de defectos y el tipo de carga a la que sea sometida la pieza.

Las características mecánicas más importantes de la madera son:

1. **Tracción:** son aquellos esfuerzos provocados por la acción simultánea de dos fuerzas de igual dirección, pero sentido contrario, tendentes a romper la madera aumentando su longitud y disminuyendo su sección transversal. La

madera posee una elevada resistencia a tracción a lo largo de las fibras debido a la resistencia de las moléculas de celulosa de la pared celular. En cambio, en dirección transversal a ellas, es muy baja, entre 30 y 70 veces menos que en la anterior dirección (Arguelles et Al. 2000).

2. Compresión: los esfuerzos de compresión son aquellos debido a la acción de una carga que trata de aplastar la madera. Como sucede en el caso anterior, la compresión paralela a las fibras es más elevada que en dirección perpendicular a ellas, que es mínima, debido a que éstas son huecas.
3. Flexión: los esfuerzos de flexión aparecen en piezas donde las fuerzas y reacciones no coinciden, apareciendo momentos flectores sobre cada sección de la pieza combinándose la compresión y la tracción. Las deformaciones que se producen originan un curvado de la pieza, donde existe un alargamiento entre partículas traccionadas y acortamiento entre las comprimidas. Existe unas partículas entre las dos zonas donde no varía la separación relativa de las partículas a la que se denomina plano neutro.
La rotura de la pieza al flexionarla aparecerá por la zona comprimido ya que la resistencia a tracción es superior que a compresión. En general, la resistencia a flexión de la madera en dirección paralela a las fibras, duplica la resistencia a compresión en ese mismo eje (Zanni, E. 2004).
4. Resistencia al corte: los esfuerzos de corte son también llamados de cizallamiento, producidos por la acción de dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario, actuando sobre dos planos muy próximos entre sí, y provocando el deslizamiento relativo de secciones consecutivas en sentidos opuestos. En la madera, la resistencia al corte es mucho mayor en el sentido normal de las fibras, que longitudinal a las mismas (Zanni, E. 2004).
5. Torsión: son los esfuerzos producidos por un momento torsor, en un plano perpendicular al eje de la pieza, y que solicita a sus partículas con esfuerzos tangenciales a la sección. Produce la rotación de una sección respecto de la próxima, alrededor del eje directriz de la pieza.
6. Resistencia al choque: es la que mide el comportamiento de la madera bajo la influencia de un impacto. Su resistencia al choque dependerá de la capacidad de ésta para absorber la energía recibida y disiparla mediante deformaciones.

2.5. DUREZA

2.5.1. Ensayos de dureza

Debido a la existencia de distintos materiales en la naturaleza existen gran variedad de ensayos de dureza. Los ensayos pueden agruparse básicamente en tres grupos: por rayado, por penetración, y por rebote. Para averiguar la dureza por penetración de las piezas el más recomendado son los ensayos por penetración. Dentro de este grupo de ensayo encontramos diferentes tipos de ensayos dependiendo de la forma del indentador utilizado: Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop, Janka, Monnin o Chalais Meudon.

Para medir la dureza de materiales como el acero, el vidrio o el hierro, entre otros, los ensayos más utilizados son: Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop... Sin embargo, para medir la dureza de la madera, por el contrario, los ensayos más utilizados son Brinell, Janka o Monnin. En la Tabla 2.7. se enumeran los métodos más utilizados en la determinación de madera según Holmberg (2000).

Tabla 2.7. Métodos para la determinación de dureza (Holmberg 2000)

MÉTODO	Forma del indentador							Medida	
	Bola	Cilindro	Cuña	Prisma	Cono	Clavo	Aguja	Área	Fuerza
Brinell	X							X	
Janka	X								X
Stamer	X								X
Krippel	X							X	
Monnin		X						X	
Hoeffgen				X					X
Büsgen						X			X
Hoppler					X			X	
Doyle Walker			X					X	
Meyer Wegelin							X		X

Como podemos apreciar en la tabla anterior podemos dividir a los diversos métodos en dos grupos, dependiendo si miden le área de contacto del indentador con la superficie de la madera, y los que miden la fuerza necesaria para realizar una penetración determinada.

De la tabla anterior también podemos ver que existen diferentes tipos de indentadores a aplicar sobre la pieza de madera: bola, cilindro, cuña, prisma, cono, clavo, y aguja, siendo la bola de acero el más utilizado. Sin embargo, en nuestro estudio el indentador utilizado ha sido el cilindro de acero, como explica la norma UNE 56-534-77., y el método aplicado el de Monnin con una fuerza de aplicación constante.

2.5.2. Ensayo Monnin o Chalais Meudon

En España la dureza de la madera se mide conforme a la Norma UNE 56.534 según el método Monnin o también llamado Chalais-Meudon, por el que se aplica una carga de 100 kp (1kN) por centímetro de anchura de la probeta, a través de un cilindro de acero de 30 mm de diámetro. En la siguiente figura 2.9. se observa el esquema simple del ensayo de dureza Monnin (Vignote 2006).

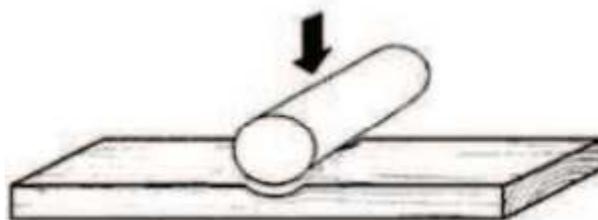


Figura 2.9. Ensayo de dureza Monnin (Vignote 2006)

Otros ensayos, además del ensayo Monnin, para la determinación de la dureza son el ensayo Janka y Brinell que describiremos a continuación.

2.5.3. Ensayo Janka

El ensayo Janka es el método adoptado por la normativa estadounidense D 143-83 "Standard methods os testing. Small clear specimens of timber". Consiste en determinar la fuerza necesaria para hacer penetrar en la madera, una esfera de acero hasta su plano diametral (la mitad), con un diámetro de 11,28 mm. Utilizan probetas de 2x2x6 pulgadas (50x50x150 mm). La dureza se expresa en unidades de fuerza (libras, Newton o kilopondios). En la Figura 2.10. se puede apreciar el esquema del ensayo Janka.

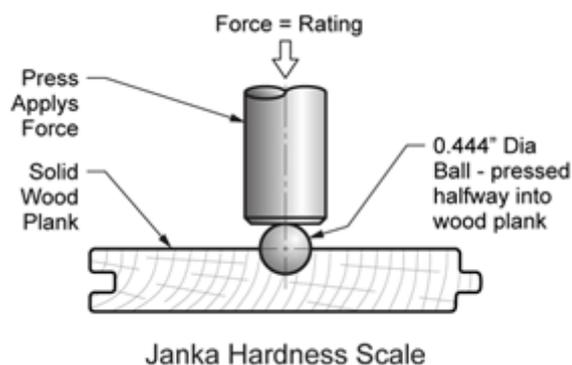


Figura 2.10. Ensayo de dureza Janka (Fuente: <http://www.uafloors.com.tw/library4.html>)

Existe una cierta correlación entre la dureza de Janka y Monnin que permite una aproximación para traducir valores de ambos métodos. A partir del establecimiento de la correlación lineal entre los valores de dureza de 44 especies de frondosas se ha obtenido un coeficiente de correlación igual a 0,89, con la siguiente regla de regresión (Guindeo 1997).

$$\text{Dureza Monnin (1/mm)} = 0,1448 + 0,002897 * \text{Dureza Janka (libras)}$$

De la misma forma, pero utilizando sólo 9 especies de coníferas, se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0,87, con la siguiente recta de regresión:

$$\text{Dureza Monnin (1/mm)} = - 0,634 + 0,003899 * \text{Dureza Janka (libras)}$$

La interpretación de los valores Janka se puede hacer mediante la siguiente escala de valores reflejados en la Tabla 2.8.:

Tabla 2.8. Clasificación de la dureza Janka (Vignote 2006)

Calificación	Dureza Janka (kp/mm ²)
Muy blanda	<150
Blanda	150-350
Semidura	350-650
Dura	650-900
Muy dura	>900

2.5.4. Ensayo Brinell

Este ensayo consiste en la determinación de la dureza mediante la huella que deja una esfera de acero, de diámetro D (generalmente de 10 mm), al ser sometida a una carga P, que varía según la densidad de la madera (10 kp para densidades menores de 0,3 g/cm³; y 100 kp para densidades superiores a 0,7 g/cm³) (Vignote 2006).

La carga máxima debe alcanzarse en 15 segundos, permanecer constante durante 30 segundos y volver a 0 en otros 15 segundos.

El valor de la dureza se expresa mediante la fórmula:

$$\text{Dureza} = \frac{P}{S} (\text{kp/mm}^2)$$

Si llamamos Di al diámetro de la huella, la fórmula anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$HB = \frac{2P}{(\pi Db)(Db - \sqrt{Db^2 - Di^2})}$$

Donde:

HB = dureza Brinell

P = fuerza de indentación (kp)

Db = diámetro de la bola (mm)

Di = diámetro de indentación sobre la superficie (mm) (Groover 1997)

Uno de los inconvenientes de este método se encuentra precisamente, en la utilización de cargas diferentes, por lo que no son comparables directamente los resultados. Además, el diámetro de la bola es reducido y pueden obtenerse valores muy diferentes en una madera con crecimientos amplios, según se efectúe la penetración sobre madera de verano o de primavera. En la Figura 2.11. se muestra el esquema del ensayo de dureza Brinell:

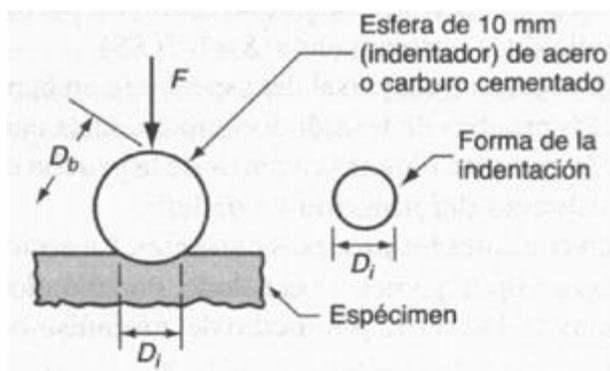


Figura 2.11. Ensayo de dureza Brinell (Fuente: <http://datateca.unad.edu.co>)

La interpretación de los valores Brinell se realiza mediante la siguiente escala de valores reflejados en la Tabla 2.9.:

Tabla 2.9. Clasificación de la dureza Brinell (Vignote 2006)

Calificación	Dureza Brinell (kp/mm ²)
Muy blanda	<1
Blanda	1-2
Semidura	2-4
Dura	4-8
Muy dura	>8

2.6. TRATAMIENTOS DE LA MADERA

La madera, es un producto natural y orgánico susceptible a las degradaciones físicas y biológicas del medio. Para conservar sus propiedades, proporcionar una mayor durabilidad a las piezas y evitar procesos de degradación se deben aplicar productos y tratamientos adecuados.

Los tratamientos y productos han ido evolucionando a lo largo del tiempo, siendo más efectivos y, exigiendo que éstos sean más limpios y respetuosos con el medio ambiente como pueden ser los ecológicos o reciclados.

2.6.1. Historia de los tratamientos

Las primeras referencias sobre tratamientos protectores se remontan a la época egipcia donde prolongaban mediante aceites naturales las maderas de los sarcófagos. Los griegos, mejoraron el proceso de absorción de los aceites realizando incisiones en la madera, y para proteger la madera de la humedad y elementos biológicos aplicaban bitumen o breas. Posteriormente los romanos, reutilizaban desperdicios de aceite para proteger la madera de los insectos xilófagos y la pez para protegerla de la acción del agua. En la Edad Media (siglos V - XV) se empleó el asfalto y los productos del petróleo y el alquitrán extraídos de la madera. Los españoles, en la conquista de América, aprendieron de los indígenas a tratar las maderas con resinas y cauchos (Guía AITIM de la Madera 2008).

La gran evolución de los tratamientos se produce a partir de los siglos XVII y XVIII. En 1607 el químico alemán Johan Glauber desarrolló un proceso mediante el cual se carbonizaba superficialmente la madera, se recubría de alquitrán, y finalmente se sumergía en ácido piroligneo. En 1705, el científico francés Homberg recomendaba el uso del bicloruro de mercurio como protector de la madera frente a los insectos xilófagos. En 1805, Marckonochie recomendaba meter la madera en un vaso cerrado a los vapores resinosos de la teca (*Tectona Grandia*). En 1815, Semple secaba la madera con la acción del humo y después la sumergía en alquitrán o aceite de linaza, calentando previamente. En 1818 Dagneau, recomendaba proteger los cascos de los buques contra la acción de los Teredos mediante un pincelado con una mezcla de alquitrán y un líquido procedente de plantas amargas (Guía AITIM de la Madera 2008).

La primera planta de tratamiento de la madera apareció en EEUU en 1832 donde John Howard Kyan conseguía empapar la madera con bicloruro de mercurio en fosas de mampostería en un proceso denominado "Kyanización". Posteriormente, 1838, William Burnet lograba empapar con cloruro de zinc mediante presión, en un proceso denominado "burnetización" utilizado en Estados Unidos hasta 1920 para proteger las traviesas de ferrocarril. En 1839 John Bethell, inventaba el procedimiento que lleva su nombre para impregnar la madera bajo presión (célula llena) con alquitrán diluido en aceite pesado o creosota (dead oil). En 1964 se empieza a comercializar el Vacsol que relanza los tratamientos de doble vacío para la protección de la madera de carpintería exterior. A partir de los años 80 se estudian, desarrollan y sustituyen productos peligrosos para incorporar a los procesos otros menos tóxicos o contaminantes (Guía AITIM de la Madera 2008).

2.6.2. Métodos de tratamientos preventivos

Los métodos de tratamiento tienen como objeto incrementar de forma artificial la durabilidad de la madera, que se puede lograr utilizando productos químicos o mediante tratamientos físicos o físico químicos. En los tratamientos químicos, los más habituales, se introduce de forma artificial en la madera una cantidad definida de

producto de tal forma que alcance la penetración especificada. Sin embargo, en los tratamientos físicos y físico-químicos se modifica la anatomía de los elementos de la madera para impedir que el agente pueda introducirse físicamente en la madera o se altera su composición química para evitar que pueda ser degradada.

Dentro de los tratamientos químicos los métodos de aplicación según la "Guía de AITIM de la Madera" son:

- Pincelado: el protector se aplica mediante pincel, brocha o rodillo penetrando en la madera por capilaridad consiguiéndose una protección superficial. Para realizar este tratamiento se requiere que la madera esté seca, con un contenido de humedad inferior al 18%.
- Pulverizado: el protector se aplica con pulverizador de forma manual o mecánica consiguiendo una protección superficial. Es más eficaz que el pincelado ya que equivale a tres manos de pincelado.
- Inmersión breve: las piezas se sumergen en la solución protectora durante un periodo de tiempo que oscila entre unos segundos y 10 minutos, penetrando el producto por capilaridad.
- Inmersión prolongada: se sumerge totalmente en un protector hidrosoluble o en disolvente orgánico durante un periodo superior a 10 minutos.
- Autoclave con presión: se fuerza la entrada del protector aplicando presión en un autoclave (cilindro metálico cerrado). Existen dos sistemas: de célula llena y célula vacía, que consiguen una protección profunda. Requiere una humedad inferior al 28% de la madera a tratar.
- Autoclave con doble vacío: se consigue una protección perimetral en la pared celular sin llegar a rellenar el interior o lumen de las células. Primero se realiza un vacío inicial, donde se introduce el protector a presión atmosférica o ligeramente superior, y posteriormente, un vacío final que regule la cantidad de producto introducido. Requiere que una humedad inferior a 18% de la madera.

Los tratamientos físicos y físico - químicos a destacar son:

- Madera termotratada: la madera termotratada es el resultado de someter a la madera a un tratamiento térmico por fases con temperaturas comprendidas entre los 180° y 260°, en una atmósfera inerte o con un bajo contenido en oxígeno. Este procedimiento de pirólisis controlada, aprovecha la experiencia primitiva de que la madera al calentarse o quemarse ligeramente se endurece, densifica y queda así más protegida. Durante el proceso, la estructura celular

de la madera se modifica, adquiere un color más oscuro y obteniéndose mayor durabilidad.

- Madera impregnada: se trata de impregnar la madera de forma superficial como en profundidad. Normalmente se utilizan monómeros u oligoelementos de hidrocarburos de pequeña masa molecular ya que su viscosidad les permite penetrar más fácilmente en las células.
- Madera tratada con alcohol de furfuryl: el procedimiento modifica químicamente las moléculas de celulosa para que sean capaces de absorber el alcohol. Se mejora la durabilidad natural pero tiene el inconveniente de que tiñe la madera de oscuro.
- Madera tratada por oleotermia: este tratamiento consiste en sumergir sucesivamente las piezas de madera en dos baños de aceite, el primero a una temperatura de 130-210°C, y el segundo a temperatura ambiente. El sistema se basa en crear en el seno de las piezas de madera una depresión interna que haga penetrar el protector. Las ventajas de este procedimiento son numerosas: es fácil de aplicar, bajos costes de inversión, es una salida para la reutilización de los aceites de la industria agroalimentaria, utiliza productos de bajo impacto medioambiental y se puede aplicar sobre madera verde.

2.6.3. Antecedentes de los tratamientos mediante termotermia y oleotermia

En los últimos años los estudios y aplicaciones de la madera termotratada han aumentado en Europa, demostrando ser un tratamiento que combina unas características únicas tales como la resistencia al agua, durabilidad y estabilidad dimensional, siendo además un método ecológico que no necesita productos químicos durante el proceso.

Las principales tecnologías de modificación térmicas utilizadas son: Madera termotratada Plato (Holanda), Proceso Retification (Francia), Bois Perdure (Francia), OHT- proceso de termotratado en aceite (Alemania), Thermowood process (Finlandia), y Westwood (EEUU). Todos estos sistemas disponibles en el mercado de modificación térmica mejoran las propiedades de estabilidad dimensional, disminuyen la higroscopicidad y mejoran la durabilidad frente a la biodegradación (Yilgor et. Al., 2001; Kartal et. Al., 2008). La temperatura y duración de estos programas térmicos varían generalmente de 180 a 280°C y el tiempo entre 15 minutos y 24 horas dependiendo del proceso de calentamiento, de la especie, del tamaño de la muestra, la humedad inicial y las propiedades y resistencia deseadas en el producto final (Kamde et al. 2002).

Durante el termotratamiento a alta temperatura, las especies de madera se calientan lentamente hasta alcanzar los 200-230°C en gas inerte húmedo. Este

tratamiento reduce el comportamiento hidrófilo de la madera mediante la modificación química de la estructura de alguno de sus componentes (Raimo et. Al. 1996). Esta modificación es la que previene la absorción de agua, que promueve la descomposición de la madera.

Después de la aplicación de un tratamiento térmico, la madera se vuelve más rígida y frágil, y la resistencia mecánica disminuye (Kortut et al 2008). Dependiendo de los parámetros de tratamiento como la temperatura máxima, la velocidad de calentamiento, el tiempo de mantenimiento de esa temperatura máxima o la humedad del gas de nitrógeno, pueden aparecer grietas y la estructura celular puede ser parcialmente degradada (Kocaefe et al. 2007). Temperaturas superiores a 150°C alteran las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Mitchell P.H., 1998).

Otro tratamiento a destacar y menos conocido es el Shou-sugi-ban, técnica tradicional japonesa que consiste en quemar superficialmente e intensamente la madera de sugi (*Cryptomeria japonica*) para realizar envoltentes de madera duraderas (Touza Vázquez M.C, 2012). Una vez quemada, se trata la superficie con un cepillo de púas y se aplica un aceite vegetal. La madera tratada puede durar hasta 80 años, haciéndola prácticamente independiente de posteriores tratamientos de conservación, siendo además resistente al fuego y a la putrefacción. Akizuki M. (2001) concluyó que carbonizar una superficie suficiente de madera superficialmente es eficaz para frenar la propagación del fuego, y si este espesor se incrementa, el tiempo de penetración del fuego en la madera incrementa significativamente.

En el presente trabajo fin de Máster se ha planteado aplicar distintos tratamientos de Termotratamiento y Oleotermia con el fin de mejorar las propiedades de la madera como son la dureza y la higroscopicidad.

Diversos estudios han sido publicados en la misma dirección del presente estudio:

- Unsal (2003) demostró que la densidad, la hinchazón, y la dureza disminuye con el aumento de la temperatura de tratamiento y duración, mientras que el tratamiento con calor proporciona a la madera un color más oscuro. Las temperaturas utilizadas en este estudio fueron de 120, 150 180°C y cada una de ellas aplicadas durante tres periodos de tiempo distintos: 2, 6 y 10 horas, siendo el tratamiento de 180°C durante 10h donde se experimentó mayores cambios en las propiedades estudiadas.
- Korkut et al. (2013) observó que la densidad, pérdida de peso, rugosidad de la superficie, fuerza de cizallamiento y la dureza de cedro rojo oriental (*Juniperus virginiana* L.) disminuyeron para todas las condiciones de tratamientos (130°C y 160°C durante 3 y 7 horas respectivamente), alcanzando menores reducciones para el tratamiento térmico a 130°C durante 3 horas, y efectos adversos en las propiedades mecánicas de la madera con tratamiento a 160°C aplicado en 7 horas.

- Korkut et al. (2008) sometió madera de la especie *Acer trautvetteri* a un termotratamiento con tres temperaturas diferentes 120, 150 y 180°C y para cada uno de ellos, tres periodos de tratamiento de 2, 6 y 10 horas de duración. Los resultados obtenidos fueron que la densidad, hinchazón y rugosidad de la superficie del arce disminuyó para todas las condiciones de tratamientos, siendo la menor variación en el tratamiento a 120°C y 2 horas de duración.
- Hakkou et al. (2005) realizó un estudio con madera de haya (*Fagus sylvatica*) donde concluyó que la madera hidrófila, llega a ser hidrófoba cuando se le aplica una gama de temperaturas comprendidas entre 130 y 160°C durante 8 horas, probablemente debido a la modificación molecular de los biopolímeros o la plastificación de la lignina.
- Larrea A. et al. (2012), argumenta que el termotratamiento entre otros tratamientos con silicato y urea es el que proporciona mayores valores de dureza (media de 27, 35 kN/cm²) siendo la mejor combinación la de 80°C y 180 minutos. Las temperaturas utilizadas en este estudio fueron 80, 120, 160 y 180°C, y cuatro tiempos de aplicación: 45, 90, 135 y 180 minutos.

Respecto al tratamiento de aceite térmico (OHT) encontramos publicados otros artículos previos a nuestro estudio, que alcanzan las siguientes conclusiones:

- Bak M. & Németh R. (2012) investigó sobre madera de *Populus x euramericana* cv. Pannónia la hinchazón de la madera y los cambios en la tasa de absorción de humedad con dieciocho tratamientos diferentes, tres tipos de aceites (girasol, linaza y colza), dos temperaturas (160°C y 200°C) y tres duraciones (2, 4 y 6 horas), llegando a la conclusión que disminuyó tanto el contenido de humedad de equilibrio como la hinchazón, con el aumento de la duración y la temperatura.
- Fang et al. (2012) aplicó sobre *Populus tremuloides* un tratamiento OHT con 180°C, 200°C y 220°C durante 1, 2, y 3 horas sobre caras densificadas previamente. La dureza de las chapas tratadas con aceite caliente resultó ser de dos a tres veces mayor que la de las chapas no densificadas. Además concluyó que en comparación con la duración del OHT, la temperatura del tratamiento tuvo mayor impacto en la higroscopicidad y las propiedades mecánicas de la madera densificada.
- El estudio realizado por Bazyar B. (2012) sobre *Populus tremula* sobre la resistencia a la descomposición y las propiedades físicas con un tratamiento de OHT realizado con aceite de linaza, tres temperaturas y dos niveles de tiempo concluyó, con una mejor en la resistencia a la pudrición contra hongos blancos (*Coriolus versicolor*) y hongos de la pudrición parda (*Coniophora puteana*) así como una mejora en la estabilidad dimensional de alrededor de un 20,5%. Los resultados aumentaron significativamente con el aumento de la temperatura pero el tiempo pareció no tener efecto sobre las propiedades estudiadas.
- Fang et al. (2011) estudió sobre chapas de *Populus tremuloides* previamente densificada con vapor, calor y presión, la aplicación de un tratamiento OHT a

180°C, 200°C, y 220°C durante 1, 2 y 3 horas. Los resultados mostraron que el OHT mejoró eficazmente la estabilidad dimensional y la reducción de la recuperación por compresión. La temperatura de los OHT en comparación con la duración de éstos obtuvo mayor impacto sobre la hinchazón radial y tangencial.

3. OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar con el presente trabajo son los siguientes:

Objetivo principal:

Desarrollar técnicas de tratamientos con productos naturales para mejorar la estabilidad y durabilidad de maderas de especies poco durables como son los géneros de *Populus* y *Pinus*.

Objetivos específicos:

1. Describir el estado del arte de los tratamientos naturales para la madera y alternativos a los métodos que utilizan productos químicos.
2. Ensayar tratamientos por oleotermia y termotratamientos controlando variables como la duración y temperatura del tratamiento para dos especies diferentes.
3. Analizar la estabilidad dimensional y dureza de las muestras tratadas con los tratamientos planteados.
4. Comparar los métodos de oleotermia y termotratamiento con otros métodos.
5. Incluir los datos obtenidos dentro del programa de investigación realizado por el departamento de maderas de la ETSIA de Palencia sobre "fabricación y caracterización de vigas dúo reforzadas".

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Datos generales del muestreo

El número total de probetas analizadas en este estudio han sido 508 de las cuales, 254 son probetas de madera de *Populus x euramericana* (Dode) Guiner "I-214", originarias del Norte de Palencia. La otra mitad, son de madera de *Pinus pinaster* procedentes de la Meseta Castellana.

El Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid) proporcionó la madera y la transformó mediante aserrado hasta obtener probetas de dimensiones 2x2x6 cm. aproximadamente pudiendo existir diferencias debido a las imperfecciones en el dimensionamiento con la sierra de disco. La siguiente Figura 4.1. muestra las probetas de las dos especies de estudio.



Figura 4.1. Probetas de madera a ensayar (Fuente: propia)

4.2. Equipo de trabajo

4.2.1. Máquina de corte

La máquina de corte utilizada ha sido una sierra de disco mediante la cual se obtuvieron las medidas necesarias para el estudio según normas UNE 56-528-78 "Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayos", así como un material libre de defectos como pueden ser nudos, fendas, acebolladuras, y bolsas de resina.

4.2.2. Máquina Universal de Ensayos

Los ensayos de dureza se han realizado con una máquina universal de ensayos ELIB-100W Ibertest situada en el Laboratorio de Tecnología de la madera.

Este equipo cuenta con una gran bancada metálica resistente, en el que se pueden incorporar diferentes accesorios dependiendo del tipo de ensayo que se quiera aplicar. En la parte inferior colocaremos las probetas de estudio y en la parte superior el cabezal móvil necesario.

La máquina puede realizar diferentes pruebas mecánicas como dureza, compresión, torsión, tensión, etc. Desde el software que dispone el ordenador al que se encuentra conectada la máquina podremos obtener los resultados de los diferentes ensayos.

4.2.3. Productos de impregnación

Los productos aplicados en el estudio han sido:

- Acetato potásico ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$)
- Nitrato magnésico $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
- Aceite para Teca de la marca Xyladecor. En su composición nominal encontramos pigmentos (pigmentos de absorción UV), aglutinantes (resina modificada con aceites naturales) y solventes (hidrocarburo alifático de bajo olor)
- Aceite reciclado de uso alimentario

4.2.4. Estufa

Las estufas fueron utilizadas tanto para los tratamientos térmicos aplicados a las probetas de estudios así como para el secado de éstas y posterior evaluación de la humedad. En la figura 4.2., se muestra la estufa en la que se realizaron los termotratamientos.



Figura 4.2. Estufa donde se aplicaron los termotratamientos (Fuente: propia)

4.2.5. Balanza

La balanza digital con una precisión de 0,1 g. ha sido empleada en las determinaciones de peso y diferencias de humedad en todas las probetas independientemente de los tratamientos realizados.

4.2.6. Calibre pie de Rey

Las dimensiones de las probetas fueron obtenidas con un calibre de precisión 0,05 mm.

4.2.7. Desecador

Se utilizó el desecador al enfriar las probetas recién sacadas de la estufa para estabilizarlas y que no recuperen la humedad.

4.2.8. Calentador de Laboratorio

El calentador de laboratorio ha sido utilizado con el fin de calentar el aceite reciclado a la temperatura adecuada para realizar los distintos tratamientos. El control de la temperatura se calculó mediante un termómetro (Figura 4.3.).



Figura 4.3. Calentador (Fuente: propia)

4.2.9. Otros

Han sido utilizados otros instrumentos como un colador para la limpieza del aceite reciclado, beakers, guantes, pinzas, cepillo de púas, limas, pinceles, termómetro y cajas de plástico.

4.3. Metodología empleada

4.3.1. Preparación y medición de las probetas

La madera tanto de *Populus x euramericana* "I-214" como de *Pinus pinaster* fue aserrada con la sierra de disco en la carpintería del Laboratorio de Maderas hasta obtener las probetas las dimensiones de 2 x 2 x 6 cm. de acuerdo con la norma UNE 56-528-78 "Preparación de probetas para ensayos".

Se estabilizaron a temperatura ambiente, y se seleccionaron un total de 508 probetas con la mejor orientación radial, libres de nudos y otras imperfecciones, siendo seleccionadas 254 de cada especie. De las cuales, 234 se destinaron a los tratamientos, y 20 se dejaron como probetas testigo.

Posteriormente fueron seleccionadas aleatoriamente en diferentes grupos según el tratamiento a someter, numeradas y se obtuvo el peso inicial de todas ellas con la balanza digital (Figura 4.4.)

A causa de las imperfecciones de corte por la sierra es necesaria una medición de cada una de las piezas de estudio con el fin de conocer las dimensiones exactas (altura, anchura y longitud) por medio de un calibre cuya precisión es de 0,05 mm.



Figura 4.4. Balanza digital (Fuente: propia)

4.3.2. Termotratamientos

Los estudios y aplicaciones de la madera termotratada han aumentado en Europa siendo muy eficaces para la obtención de unas buenas características estructurales como son la dureza, estabilidad dimensional y resistencia al agua, ya citadas en el apartado de antecedentes. Para la elección de las temperaturas de estos ensayos, se han tomado como referencia estudios previos donde se sometieron las maderas a temperaturas comprendidas entre los 120°C y 180°C, como puede verse más adelante en el apartado "Tratamientos de la madera", dentro de los antecedentes. Esta clase de tratamientos aplicados en el presente estudio se basan principalmente en someter a elevadas temperaturas las probetas de madera tanto de pino como de chopo en la estufa a distintos grados de temperatura durante el mismo tiempo, unos

45 minutos, con el fin de determinar el efecto que produce sobre la dureza y la higroscopicidad de la madera. Para ello, sometimos a 26 probetas de cada especie de estudio a cada uno los siguientes tratamientos:

- **Termotratamiento 1:** se someten las probetas a 120°C durante 45 minutos y posterior estabilización de 10 minutos en el desecador (Figura 4.2.).



Figura 4.5. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 120°C (Fuente: propia)

- **Termotratamiento 2:** la temperatura alcanzada en este tratamiento es de 160°C mantenida 45 minutos. Estabilización durante 10 minutos (Figura 4.6.).



Figura 4.6. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 160°C (Fuente: propia)

- **Termotratamiento 3:** las probetas se calientan a 180°C durante 45 minutos, y se mantienen en el desecador para su estabilización 10 minutos (Figura 4.7.).



Figura 4.7. Vista de 3 de las 26 probetas ensayadas a 180°C (Fuente: propia)

- **Termotratamiento 4:** la madera se somete a 180°C durante 45 minutos y se estabilizan durante 10 minutos. A diferencia con el tratamiento anterior es que seguidamente, se lijan con un cepillo de púas (Figura 4.8.) y se pincelan con aceite reciclado que se encuentra a temperatura ambiente.



Figura 4.8. Muestra de las probetas ensayadas a 180°C y posterior lijado (Fuente: propia)

4.3.3. Oleotermia

Los tratamientos con oleotermia que se ensayarán en el presente estudio utilizarán aceite reciclado de uso alimentario y aceite para teca. Puede aplicarse el aceite por medio de pincelado, ó por inmersión en este a diferentes temperaturas. El tiempo de la inmersión es de 30 minutos con el fin de obtener una buena absorción por capilaridad, y conseguir una clase de uso 3 según las normas UNE EN 335-1, UNE EN 335-2 y UNE EN 335-3, ahora derogadas por la norma UNE-EN 335:2013. "Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera" además, será constante para todos los tratamientos que la incorporen.

El fin de este estudio es como en el caso anterior valorar el efecto de los distintos métodos que ejercen sobre la dureza superficial y la estabilidad dimensional o

higroscopicidad de la madera. Como en los ensayos anteriores cada uno de los siguientes tratamientos se aplicó a 26 probetas por cada especie:

- **Oleotermia 1:** se pincela cada probeta con aceite reciclado a temperatura ambiente
- **Oleotermia 2:** Inmersión en aceite reciclado a temperatura ambiente durante 30 minutos y estabilización a temperatura ambiente.
- **Oleotermia 3:** se someten las probetas a la inmersión en aceite reciclado una vez alcanzados los 140°C durante 30 minutos, y posterior estabilización a temperatura ambiente (Figura 4.9.).
- **Oleotermia 4:** Inmersión en aceite reciclado alcanzados los 180°C durante 30 minutos. Estabilización a temperatura ambiente.
- **Oleotermia 5:** las probetas son pinceladas con aceite para Teca de la casa Xyladecor compuesta por aceites naturales y resinas a temperatura ambiente (Figura 4.10.).



Figura 4.9. Inmersión de las probetas a 140°C durante 30 minutos (Fuente: propia)



Figura 4.10. Pincelado de las probetas con aceite para teca tras su lijado (Fuente: propia)

El resultado que ejercen los distintos tratamientos sobre el color de la madera, tanto Oleotermia como Termotratamiento pueden verse en las siguientes figuras:

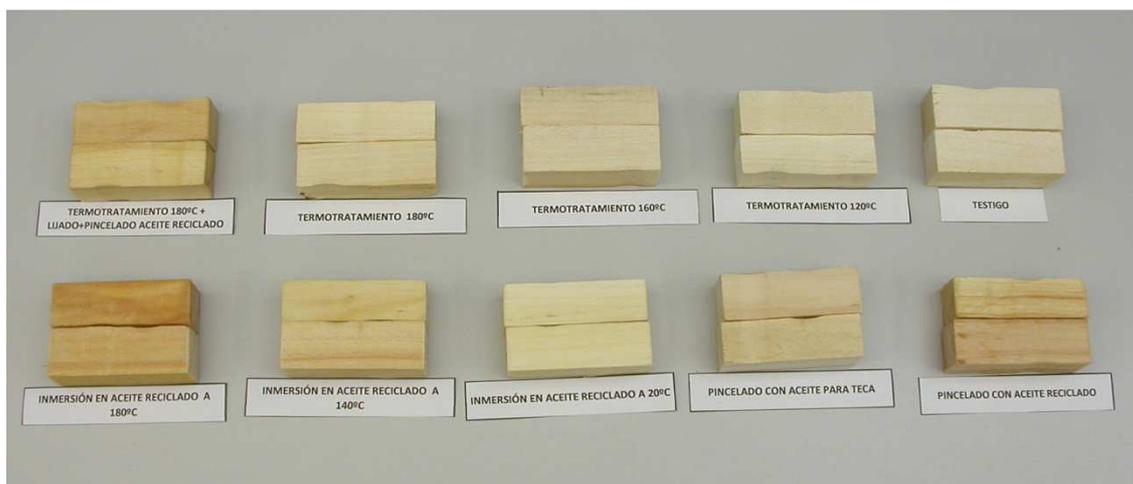


Figura 4.11. Color adquirido por la madera tratada para la especie *Populus x euramericana* clon "I-214"



Figura 4.12. Color adquirido por la madera tratada para la especie *Pinus pinaster*

4.3.4. Estabilización con sales

Este tratamiento consiste en mantener las maderas durante un tiempo aproximado de cuatro semanas en el ambiente que proporcionan las sales de Acetato potásico ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$) al 23% de humedad relativa y el Nitrato magnésico $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ al 52% de humedad relativa.

Para ello, se colocan 6 probetas de cada tratamiento, de cada especie y por cada tratamiento de sales en dos recipientes de plástico donde se encuentra las distintas soluciones sin que éstas tomen contacto directo con la mezcla.

Los envases serán cerrados herméticamente para que la humedad ambiental no afecte al proceso.

Una vez transcurrido el periodo de tiempo necesario, se pesan las probetas y se someten 24 horas a 105°C en la estufa para que pierdan la humedad tomada. Posteriormente, volveremos a pesarlas en la balanza digital y obtendremos el peso anhidro, con el fin de calcular la humedad adquirida por las probetas en los ambientes a las que las hemos sometido.

4.3.5. Determinación de las contracciones lineales y volumétricas

Para el cálculo de las contracciones debidas a la humedad se siguió el procedimiento UNE 56-533-77 "Determinación de las contracciones lineal y volumétrica". Este procedimiento consistió en la inmersión en agua de las probetas, 8 probetas de cada tratamiento y cada especie, en agua a temperatura ambiente durante 24 horas con el fin de que alcancen la humedad de saturación. Se midieron las probetas una vez pasado este tiempo obteniendo el volumen saturado.

Seguidamente las maderas se dejaron a atmósfera ambiente hasta que alcanzaron el estado de equilibrio higroscópico, comprobándose al realizar pesadas sucesivas con intervalos de 24 horas hasta que difirieron en menos de 1/200 de la primera de ellas. Una vez alcanzado el equilibrio se midieron sus dimensiones consiguiendo el volumen de humedad de equilibrio.

Finalmente, las probetas se desecaron en estufa a 105°C durante 24 horas hasta alcanzar el volumen anhidro.

4.4. Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas

A continuación se desarrollan los métodos utilizados para el cálculo de las propiedades físicas objeto de estudio.

4.4.1. Densidad

El cálculo de la densidad en condiciones normales se ha determinado mediante la norma UNE 56-531-77 "Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico". El cálculo de la densidad ρ en kg/m³ queda resuelto mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ : densidad (g/cm³)

m: peso (g)

v: volumen de la probeta (cm³)

El volumen de cada probeta ha sido determinado mediante la medición de altura, anchura y longitud por medio de un calibre, y la siguiente expresión:

$$V = Lhb$$

Donde:

V: volumen de la probeta (cm³)

L: longitud de la probeta (cm)

h: altura de la probeta (cm)

b: anchura de la probeta (cm)

4.4.2. Humedad

El cálculo de la humedad se ha realizado sobre seis probetas de cada especie y todos los tratamientos que hemos sometido a tratamiento con acetato potásico y nitrato magnésico según la norma UNE 56-529-77 "Características físico-mecánicas de la madera, determinación del contenido de humedad por desecación hasta el estado anhidro". Tomamos su peso a la salida del respectivo proceso con estas sales, y posteriormente tras permanecer 24 horas en la estufa. La determinación se ha obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{(Ph - Po)}{Po} \times 100$$

Donde:

H: contenido de humedad de la probeta (%)

Ph: peso húmedo de la probeta (g)

Po: peso anhidro de la probeta (g)

4.4.3. Higroscopicidad

La higroscopicidad viene determinada por la norma 56-532-77 "Determinación de la higroscopicidad". Para su cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$h = \frac{(1 - v) r_{12}}{100}$$

Donde:

h : Higroscopicidad en kilogramos por metro cúbico

v: Coeficiente de contracción volumétrica en porcentaje, determinado según la norma UNE 56-533-77

r₁₂: Peso específico en kilogramos por metro cúbico al 12 % de humedad. El resultado se expresa con aproximación de 0,1 Kg/m³

4.4.4. Contracciones lineales y volumétricas

La determinación de las contracciones lineales y volumétricas viene determinadas por la norma UNE 56-533-77 "Determinación de las contracciones lineal y volumétrica".

El cálculo de la **contracción volumétrica total** se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Cv = \frac{Vs - Vo}{Vo} \times 100$$

Donde:

Cv: Contracción volumétrica total (%)

Vs: Volumen saturado (cm³)

Vo: Volumen anhidro (cm³)

El cálculo de la **contracción lineal total** se realiza mediante la siguiente relación:

$$Cl = \frac{Ls - Lo}{Lo} \times 100$$

Donde:

Cl: Contracción lineal total en la dirección que se considere, longitudinal, radial o tangencial (%)

Ls: Longitud de la probeta en la dirección que se considere para la madera saturada (cm)

Lo: Longitud de la probeta en la dirección que se considere para la madera anhidra (cm)

También calcularemos el **coeficiente de contracción volumétrica** mediante la expresión:

$$V = \frac{Vh - Vo}{Vo \cdot H} \times 100$$

Donde:

V: Coeficiente de contracción volumétrica (%)

Vh: Volumen a la humedad de equilibrio higroscópico (cm³)

Vo: Volumen anhidro (cm³)

H: Humedad de equilibrio higroscópico

4.4.5. Dureza

La determinación de la dureza se realizará mediante la norma UNE 56-534-77 "Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza". Este ensayo consiste en la medición de la profundidad de la huella o penetración en la madera que genera un cilindro de acero de 30 mm de diámetro bajo unas determinadas condiciones de carga (Figura 4.13.). La Máquina Universal de ensayos calibrada empleada es IBERTEST y la fuerza aplicada fue de 2 KN.



Figura 4.13. Esquema ensayo Monnin (Fuente: <http://normadera.tknika.net/es/content/dureza>)

La ecuación que determina la dureza es según la norma UNE 56-534:

$$N = \frac{1}{h}$$

En nuestros ensayos utilizaremos también la fórmula de la dureza Brinell como:

$$Dureza = \frac{F}{S} \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

El valor de la superficie de la huella que marca el indentador sobre la madera se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$S = L \cdot B$$

Donde:

S: Superficie (cm²)

L: longitud del arco de circunferencia marcado (cm)

B: base de la probeta donde penetra el indentador

Una vez conocida la penetración originada en el ensayo, que será variable en este ensayo a fuerza constante, deberemos conocer la longitud del arco. Previamente se determinará el ángulo α que determina dicha longitud. El ángulo se obtiene mediante la relación que existe entre la longitud X y radio de la circunferencia (Figura 4.14.).

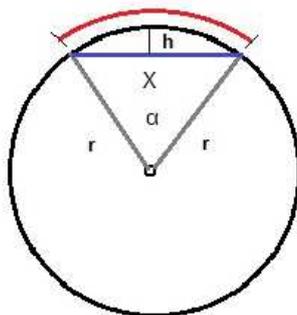


Figura 4.14. Parámetros de cálculo (Fuente: propia)

Conociendo el valor del radio $r = 15 \text{ mm}$, y el valor h (mm) podemos determinar el valor de X por medio de la ecuación:

$$X = 2 \sqrt{(15^2) - (15 - h)^2}$$

Una vez determinado el valor de X , procedemos a calcular el ángulo α por medio de la expresión:

$$\alpha = \frac{2X}{3}$$

Por lo tanto:

$$L = \frac{2\pi r \alpha}{3}$$

4.5. Tratamiento estadístico de los datos

El tratamiento estadístico de los datos en este estudio se realizó por medio del software estadístico "StatGraphics Centurión versión X64". Para ello, se recopilaron los datos en ficheros de Microsoft Excel desde donde se importan al programa estadístico para su análisis.

En primer lugar se realizó la estadística descriptiva para cada una de las variables de estudio, y posteriormente se procedió a una serie de análisis comparativos mediante el análisis de la varianza.

4.5.1. Comparativa

La estadística comparativa tiene como objetivo contrastar diferencias entre grupos en torno a sus medias y varianzas. Sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otros conjuntos de datos.

El procedimiento para comparar estos valores, se basan en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. De forma general, el análisis de la varianza de un factor, también es conocido como ANOVA (Analysis of

variance), se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de mediciones es distinta a la media de otro grupo de mediciones.

Para poder aplicar el ANOVA es necesario que se cumplan tres hipótesis, aunque se aceptan ligeras desviaciones de las condiciones ideales:

- Cada conjunto de datos debe ser independiente del resto.
- Los resultados obtenidos para cada conjunto deben seguir una distribución normal.
- Las varianzas de cada conjunto de datos no deben diferir de forma significativa.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos, de los ensayos efectuados mediante termotratamiento y oleotermia sobre las probetas de madera de *Pinus pinaster* y *Populus x euramericana* "I-214", tras el análisis estadístico.

En este apartado se ha realizado por medio del programa estadístico Statgraphic Centurion X64, y se consideran como variables aleatorias la densidad, absorción de producto, pérdida de peso, humedad tras someter los tratamientos a unas humedades relativas de 23% y 52%, dureza tangencial, radial y media según normas UNE, dureza media, contracción volumétrica total, coeficiente de contracción volumétrica, contracción lineal longitudinal total, contracción lineal tangencial total, contracción lineal radial, así como la higroscopicidad.

5.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En un análisis de la información, el primer paso a realizar es la estadística descriptiva. En este apartado, se representan mediante tablas y gráficos de manera sencilla los estadísticos más importantes que arrojan las variables estudiadas para las distintas probetas de madera.

Realizados los análisis de normalidad de las variables, se puede aceptar que todas proceden de una distribución normal.

5.1.1. Análisis descriptivo de la densidad en las probetas

Se procedió a medir la densidad de un total de 508 probetas, siendo la mitad de ellas de la especie *Pinus pinaster*, y la otra mitad de *Populus x euramericana* "I-214" previamente sometidas a distintos tratamientos:

- Termotratamiento 1: a 120°C durante 45 minutos en estufa.
- Termotratamiento 2: a 160°C durante 45 minutos en estufa.
- Termotratamiento 3: a 180°C durante 45 minutos en estufa.
- Termotratamiento 4: a 180°C durante 45 minutos en estufa, posteriormente lijado con cepillo de púas y pincelado con aceite reciclado.
- Oleotermia 1: pincelado en todas las caras de las probetas con aceite reciclado a temperatura ambiente.
- Oleotermia 2: Inmersión en aceite reciclado a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- Oleotermia 3: Inmersión durante 30 minutos en aceite reciclado a 140°C.

- Oleotermia 4: Inmersión durante 30 minutos en aceite reciclado a 180°C.
- Oleotermia 5: Pincelado en todas las caras de las probetas con aceite para Teca a temperatura ambiente.
- Probetas testigo: no reciben tratamiento.

- **Análisis descriptivo de la densidad en las probetas de *Pinus pinaster***

En la Tabla 5.1. se muestra un resumen de los resultados de las densidades obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos en las probetas de *Pinus pinaster*.

Tabla 5.1. Valores descriptivos de la densidad según los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g/cm ³)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g/cm ³)	Máximo (g/cm ³)
OLEOTERMIA 1	26	0,582	0,065	11,189	0,463	0,722
OLEOTERMIA 2	26	0,564	0,061	10,774	0,440	0,646
OLEOTERMIA 3	26	0,589	0,044	7,565	0,521	0,667
OLEOTERMIA 4	26	0,589	0,050	8,502	0,483	0,667
OLEOTERMIA 5	26	0,586	0,041	7,010	0,501	0,691
TESTIGO	20	0,546	0,090	16,496	0,425	0,723
TRATAMIENTO 1	23	0,568	0,054	9,524	0,468	0,659
TRATAMIENTO 2	26	0,587	0,069	11,759	0,457	0,742
TRATAMIENTO 3	26	0,349	0,040	11,434	0,271	0,421
TRATAMIENTO 4	26	0,599	0,042	7,058	0,521	0,676

La media más alta de las densidades se obtienen sometiendo a las probetas de *Pinus pinaster* al tratamiento de Oleotermia 3 (140°C), y 4 (180°C), así como con el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), similares resultados que los obtenidos por Fang C.-H. (2012) al aplicar tratamiento OHT donde la densidad aumenta al aumentar la temperatura. Por el contrario, los valores más bajos de densidad se alcanzaron al aplicar el Tratamiento 3 (180°C). Estos resultados obtenidos coinciden con otros autores que han aplicado termotratamientos como Korkut et al. (2013), observando que la densidad disminuye con al aumentar la temperatura de los tratamientos. El coeficiente de variación de los distintos tratamientos nos muestra la homogeneidad de los datos, siendo el tratamiento de Oleotermia 5 (Teca) el que posee mayor homogeneidad.

A continuación, en la siguiente Figura 5.1., se muestran los datos de la tabla anterior de forma gráfica:

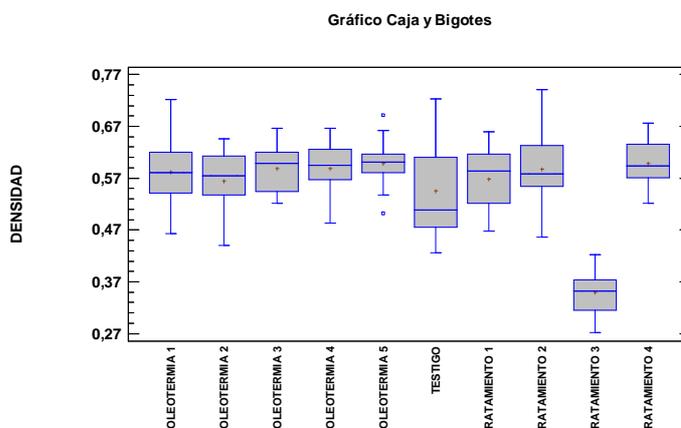


Figura 5.1. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la densidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

Al igual que en el caso de *Pinus pinaster* se analizó la densidad en los distintos tratamientos para la madera de *Populus x euramericana* "I-214". En la siguiente Tabla 5.2., se puede observar que los mayores datos de densidad se producen en los tratamientos de Oleotermia 2 (20°C) y 5 (Teca). El menor de los datos de densidad se encuentra en el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C) y Termotratamiento 4 (180°C). En el caso del chopo, los datos obtenidos respecto a la bibliografía publicada muestran que no hay variación significativa en la densidad para ninguno de los tratamientos realizados con aceite reciclado mediante pincelado o inmersión a distintas temperaturas durante media hora en las muestras de madera de chopo coincidiendo con los resultados de Mukam & Simon (2012) con aceite de palma a 200°C y similar duración en otras especies de madera. Las conclusiones que arroja el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos empleados, es que los datos obtenidos son muy homogéneos, siendo el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado aceite) el que cumple con mayor homogeneidad.

Tabla 5.2. Valores descriptivos de la densidad según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g/cm ³)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g/cm ³)	Máximo (g/cm ³)
OLEOTERMIA 1	26	0,355	0,028	8,006	0,302	0,406
OLEOTERMIA 2	26	0,358	0,032	8,855	0,307	0,431
OLEOTERMIA 3	26	0,335	0,032	9,599	0,291	0,407
OLEOTERMIA 4	26	0,349	0,041	11,869	0,242	0,414

Tabla 5.2. (Cont.) Valores descriptivos de la densidad según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

OLEOTERMIA 5	26	0,357	0,041	11,669	0,278	0,440
TESTIGO	26	0,344	0,034	9,907	0,296	0,414
TRATAMIENTO 1	26	0,347	0,033	9,423	0,286	0,397
TRATAMIENTO 2	26	0,346	0,035	10,146	0,295	0,436
TRATAMIENTO 3	26	0,351	0,040	11,423	0,287	0,433
TRATAMIENTO 4	26	0,336	0,029	8,845	0,291	0,384

En la siguiente Figura 5.2., se muestran de forma gráfica los datos que arroja la tabla anterior.

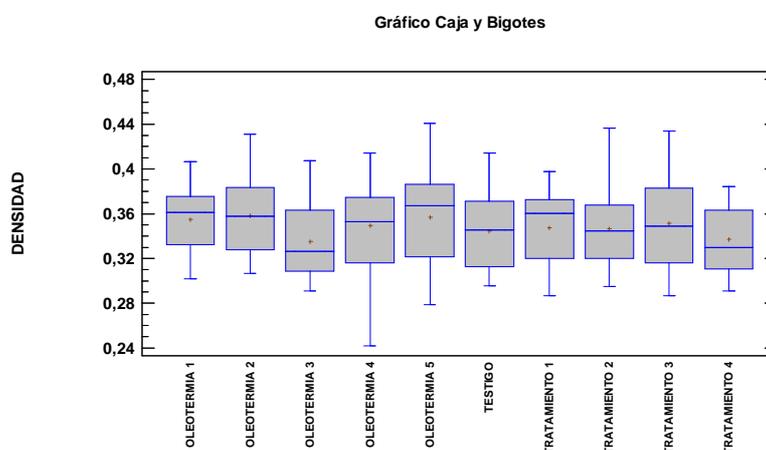


Figura 5.2. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para los tratamientos en el clon "I-214"

5.1.2. Análisis descriptivo de la absorción de producto en las probetas

En este apartado se analizará la absorción por parte de las probetas del producto aplicado en cada tratamiento, y la diferencia que existe entre esta variable para los distintos tratamientos. El análisis descriptivo de la absorción de producto aplicado será estudiado para el Termotratamiento 4, y los tratamientos de Oleotermia 1, 2, 3, 4 y 5.

- **Análisis descriptivo de la absorción de producto en las probetas de *Pinus pinaster***

En la siguiente Tabla 5.3., se muestra el resumen de las probetas que presentan ésta variable de estudio para la especie *Pinus pinaster*.

Tabla 5.3. Valores descriptivos de la absorción de producto según los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)
OLEOTERMIA 1	23	0,565	0,137	24,216	0,4	1,0
OLEOTERMIA 2	22	0,591	0,081	13,727	0,5	0,8
OLEOTERMIA 3	26	0,519	0,489	94,196	-0,4	1,4
OLEOTERMIA 4	24	0,175	0,779	445,584	-1,0	2,4
OLEOTERMIA 5	24	0,392	0,088	22,482	0,3	0,7
TRATAMIENTO 4	25	0,708	0,189	26,712	0,4	1,2

La media más alta de absorción de producto se obtiene con el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), posiblemente debido al lijado aplicado previamente al pincelado. Spear et al (2006) también obtiene un 89,9% y 87,4% de aumento de peso en pino con tratamientos en aceite de linaza a 190°C y 200°C respectivamente. Sin embargo, el menor resultado se ha obtenido al aplicar a las probetas el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C). Atendiendo al coeficiente de variación, se puede decir que los tratamientos con datos más homogéneos han sido Oleotermia 1 (pincelado), 5 (Teca) y el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), y en especial Oleotermia 2 (20°C). Sin embargo, los tratamientos de Oleotermia 3 (140°C) y Oleotermia 4 (180°C), han arrojado datos más heterogéneos.

En la siguiente Figura 5.3., se muestra de forma gráfica los datos anteriormente presentados en la Tabla 5.3.

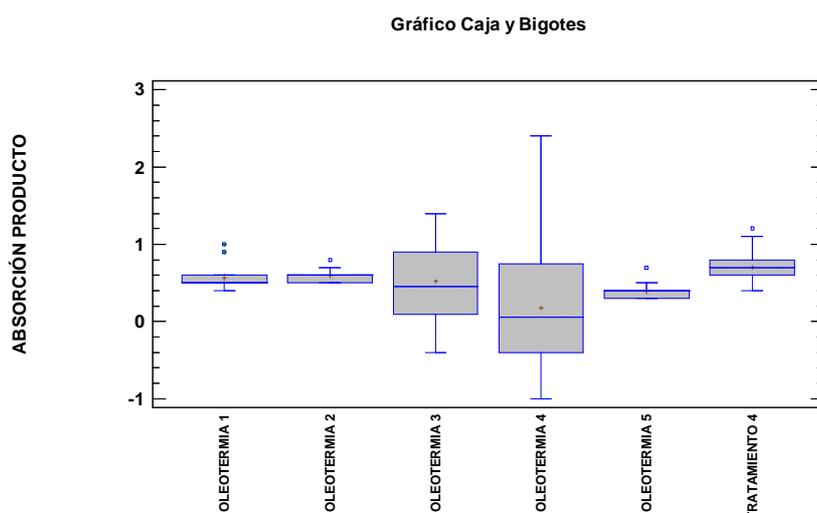


Figura 5.3. Gráfico de caja y bigotes de la absorción de producto para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la absorción de producto en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

Como en el caso anterior, se estudian sobre un total de 154 probetas la absorción de los distintos tratamientos en la madera de *Populus x euramericana*. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Valores descriptivos de la absorción de producto según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)
OLEOTERMIA 1	25	0,828	0,226	27,345	0,400	1,200
OLEOTERMIA 2	26	1,304	0,772	59,189	0,500	3,300
OLEOTERMIA 3	26	3,788	3,308	87,320	1,200	9,500
OLEOTERMIA 4	25	2,524	1,639	64,964	0,800	6,300
OLEOTERMIA 5	26	0,819	0,352	42,986	0,300	1,600
TRATAMIENTO 4	26	1,00	0,238	23,833	0,700	1,500

Analizando la tabla anterior podemos conocer que la media más alta de la absorción de producto en la madera de chopo se obtiene en el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C), que supone un aumento del 45,4% del peso inicial, seguido del tratamiento de inmersión a 180°C con un aumento del 30,3% respecto del peso inicial, estos resultados son menores a los publicados por Bazyar (2012) para esta especie que obtiene aumentos superiores al 83% pero con tratamientos a 220°C y duración de 4, 5 y 6 horas condiciones superiores en temperatura y tiempo empleadas en este trabajo. Por otro lado, el menor resultado se ha obtenido al aplicar a las probetas el tratamiento de Oleotermia 5 (Teca) y 1 (pincelado), siendo éstos dos tratamientos los que menos producto puedan adquirir debido a su tipo de tratamiento.

Atendiendo al coeficiente de variación, los tratamientos con mayor homogeneidad en los datos recogidos han sido Oleotermia 1 (pincelado), 2 (20°C) y en el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado). En los demás casos, los datos son heterogéneos y de manera más destacada con un 87,32% en el tratamiento de Oleotermia 3.

En la siguiente Figura 5.4. podemos ver de forma gráfica los resultados anteriores:

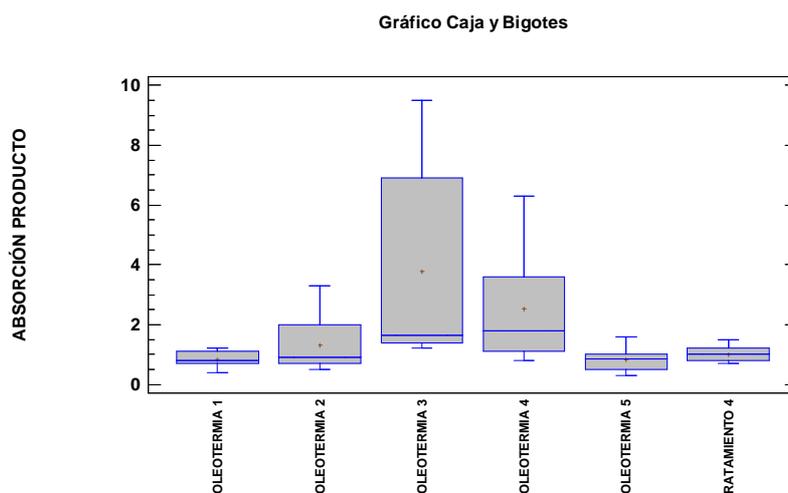


Figura 5.4. Gráfico de caja y bigotes de la absorción de producto para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.3. Análisis descriptivo de la pérdida de peso en las probetas

En este apartado la variable analizada es la pérdida de peso que sufren las probetas al ser aplicado el correspondiente termotratamiento, así se puede analizar la diferencia que existe entre esta variable para los distintos tratamientos. El análisis descriptivo de la pérdida de peso será estudiado en los Termotratamiento 1, 2, 3 y 4.

- **Análisis descriptivo de la pérdida de peso en las probetas de *Pinus pinaster***

Tabla 5.5. Valores descriptivos de la pérdida de peso según los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)
TRATAMIENTO 1	26	0,473	0,104	22,014	0,300	0,700
TRATAMIENTO 2	26	0,969	0,236	24,375	0,400	1,500
TRATAMIENTO 3	26	1,119	0,291	26,021	0,600	1,800
TRATAMIENTO 4	26	1,111	0,203	18,230	0,800	1,500

La media más alta para la variable "pérdida de peso", se obtiene al someter las probetas de *Pinus pinaster* al Termotratamiento 3 (180°C), seguido muy de cerca por el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado). Por el contrario, los valores más bajos de pérdida de peso se alcanzaron al aplicar el Termotratamiento 1 (120°C). Este hecho posiblemente sea por las grandes temperaturas aplicadas, que en este tipo de madera hacen destilar las resinas y componentes de las probetas. La pérdida de peso media según tratamiento son del 5,6%, 6,9% y 7,3% para las temperaturas de 120°C,

160°C y 180°C respectivamente similares a los resultados de Fengel (1966) con pérdida de peso del 0,8% y 15,5% a 120°C y 200°C respectivamente en *Picea abies* y los de Korkurt (2013) con pérdidas de 8,62% y 9,99% tras 3 horas a temperaturas de 130°C y 160°C en *Juniperus virginiana* L. El coeficiente de variación de los distintos tratamientos nos muestra la homogeneidad de los datos, siendo el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), con un 18,23% el más destacado.

En la siguiente Figuras 5.5. se puede ver de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.5.:

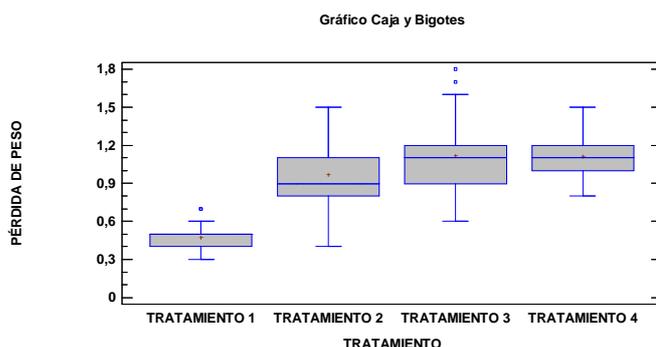


Figura 5.5. Gráfico de caja y bigotes de la pérdida de peso para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la pérdida de peso en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

De la misma forma se procedió al análisis de la variable "pérdida de peso" en madera de *Populus x euramericana* para distinto tratamientos. El resumen obtenido de los resultados se muestra en la Tabla 5.6..

Tabla 5.6. Valores descriptivos de la pérdida de peso según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (g)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)
TRATAMIENTO 1	26	0,461	0,094	20,396	0,300	0,700
TRATAMIENTO 2	26	0,573	0,087	15,258	0,400	0,700
TRATAMIENTO 3	26	0,604	0,092	15,164	0,400	0,700
TRATAMIENTO 4	26	0,461	0,064	13,808	0,300	0,600

La tabla anterior destaca una media más alta para la variable "pérdida de peso" en la madera de chopo para el Termotratamiento 3 (180°C), el tratamiento con más temperatura sin posterior aplicación de producto. Por otro lado, el menor resultado se

ha obtenido al aplicar a las probetas al Termotratamiento 1 (120°C) y el 4 (180°C, lijado y pincelado), siendo el de menor temperatura de todos los tratamientos, y el tratamiento con alta temperatura pero posterior aplicación de aceite reciclado, por lo tanto se obtienen resultado similares a Korkut et al. (2013) donde las mayores pérdidas de peso se producen con mayores temperaturas de tratamiento. Atendiendo al coeficiente de variación, encontramos que todos los Termotratamientos poseen una homogeneidad en los datos arrojados, siendo el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), el más destacado.

La siguiente Figuras 5.6. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.6.:

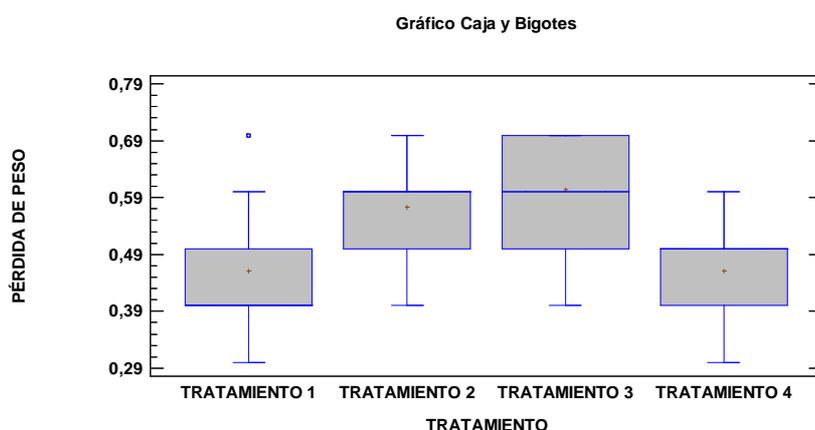


Figura 5.6. Gráfico de caja y bigotes de la pérdida de peso para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.4. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de humedad relativa

La variable analizada en este apartado es la humedad obtenida tras someter a las probetas de madera tanto de *Pinus pinaster* como de *Populus x euramericana* (previamente tratadas con sus distintos tratamientos), con sales de Acetato potásico durante un periodo de tiempo de unos 15 días, al 23% de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de humedad relativa en las probetas de *Pinus pinaster***

En la siguiente Tabla 5.7., se puede observar que los mayores datos medios de humedad se han alcanzado en los tratamientos de Oleotermia 1 (pincelado) y 5 (Teca), siendo lógico este resultado debido a que son los tratamientos más livianos que hemos aplicado en el estudio. El menor de los datos de humedad se encuentra en el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado) ya que es un tratamiento con alta temperatura y buena absorción de producto. En general tanto los termotratamientos

como la aplicación de oleotermia disminuyen la captación de humedad. Las conclusiones que arroja el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos empleados, es que los datos obtenidos son muy homogéneos, siendo el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado) el que cumple con mayor homogeneidad.

Tabla 5.7. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	6	7,387	0,271	3,665	7,092	7,692
OLEOTERMIA 2	6	6,624	1,131	17,082	5,303	8,029
OLEOTERMIA 3	6	5,379	0,571	10,617	4,511	6,164
OLEOTERMIA 4	6	4,792	0,761	15,875	3,649	5,645
OLEOTERMIA 5	6	6,960	0,433	6,221	6,451	7,633
TESTIGO	6	7,257	1,252	17,257	5,555	9,174
TRATAMIENTO 1	6	5,787	0,610	10,549	5,000	6,711
TRATAMIENTO 2	6	4,912	0,615	12,530	4,166	5,839
TRATAMIENTO 3	6	5,733	0,582	10,161	5,072	6,666
TRATAMIENTO 4	6	4,721	0,673	14,260	3,906	5,797

Los datos de la tabla anterior se pueden apreciar de manera gráfica en la Figura 5.7.:

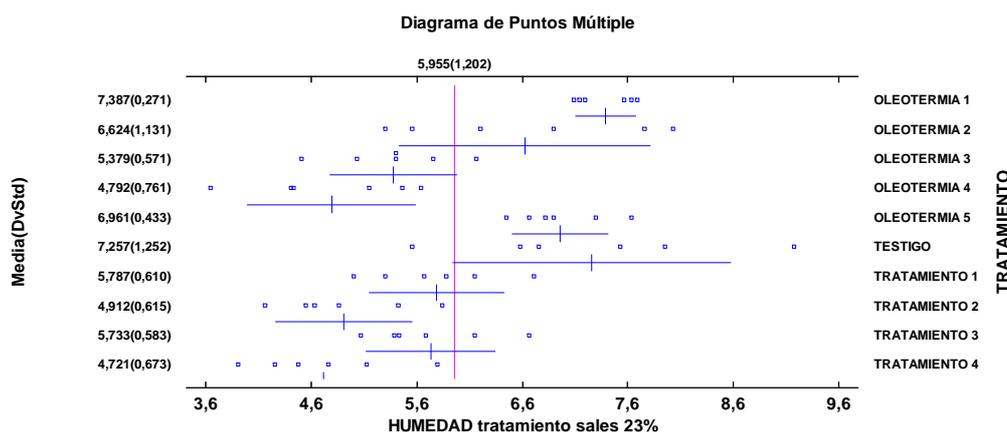


Figura 5.7. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de humedad relativa en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

De la misma forma se procedió a la toma de datos de la variable humedad tras la aplicación del tratamiento con sales al 23% de humedad relativa para las probetas de madera del clon "I-214". En la siguiente Tabla 5.8., se destaca que los mayores datos medios de humedad alcanzados han sido en los tratamientos de Oleotermia 2 (20°C) y 1 (pincelado), bastante lógico al no ser tratamientos muy agresivos en cuanto a temperatura y aplicación de producto. El menor de los datos de humedad media se localiza en el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C), siendo uno de los tratamientos de mayor temperatura aplicados. También se puede decir como en el caso anterior que los tratamientos disminuyen la captación de humedad. Analizando el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos en para esta variable, señala que los datos recogidos son muy homogéneos para todos los casos de estudio, siendo el tratamiento de Oleotermia 5 (Teca) el que cumple con mayor homogeneidad.

Tabla 5.8. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	6	5,752	1,018	17,695	4,545	7,352
OLEOTERMIA 2	6	5,777	0,978	16,925	4,166	7,059
OLEOTERMIA 3	6	4,191	1,557	37,145	1,829	5,494
OLEOTERMIA 4	6	4,676	0,487	10,428	3,787	5,050
OLEOTERMIA 5	6	6,534	0,287	4,404	6,097	6,930
TESTIGO	6	6,453	1,488	23,061	4,477	7,894
TRATAMIENTO 1	5	5,634	1,271	22,556	4,545	7,813
TRATAMIENTO 2	6	5,136	1,079	21,009	3,846	6,849
TRATAMIENTO 3	6	5,238	0,612	11,693	4,687	6,153
TRATAMIENTO 4	6	4,925	0,354	7,198	4,225	5,194

En el siguiente diagrama de puntos múltiple (Figura 5.8.) se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.8.:

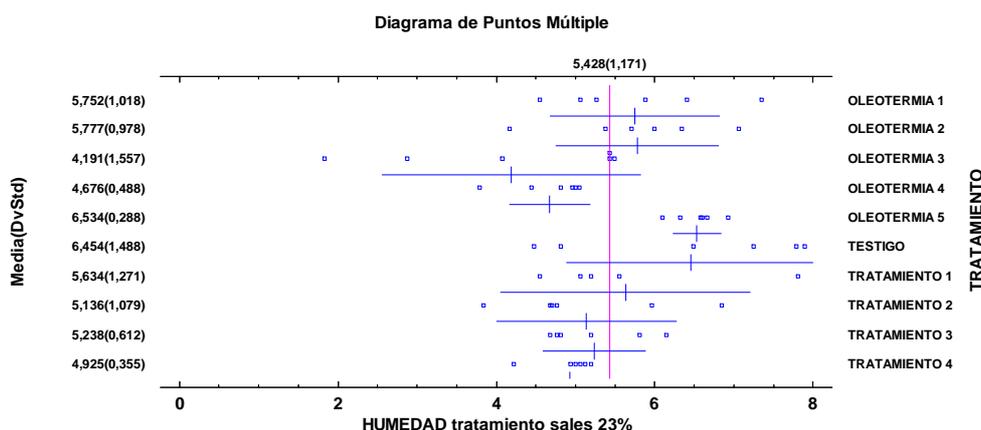


Figura 5.8. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.5. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de humedad relativa

Muy similar que el caso anterior, la variable analizada en este apartado es la humedad obtenida tras someter con sales a las probetas de madera tanto de *Pinus pinaster* como de *Populus x euramericana* (previamente tratadas con sus distintos tratamientos). En este caso, las sales son Nitrato Magnésico al 52% de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de humedad relativa en las probetas de *Pinus pinaster***

Tabla 5.9. Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr según los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	6	9,592	1,179	12,294	7,920	10,791
OLEOTERMIA 2	6	10,513	1,308	12,442	9,271	13,043
OLEOTERMIA 3	6	7,154	0,855	11,949	6,081	8,208
OLEOTERMIA 4	6	6,293	1,525	24,237	4,191	8,333
OLEOTERMIA 5	6	9,055	0,646	7,133	7,950	9,655
TESTIGO	6	9,427	0,232	2,459	9,090	9,803
TRATAMIENTO 1	6	8,444	0,659	7,815	7,692	9,285

Tabla 5.9. (cont.) Valores descriptivos de la humedad tras el tratamiento con sales al 53% de Hr según los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO 2	6	7,404	1,346	18,176	5,590	9,734
TRATAMIENTO 3	6	7,458	1,232	16,519	5,405	8,870
TRATAMIENTO 4	6	6,951	0,507	7,301	6,250	7,575

La tabla anterior muestra una media más alta para la variable de estudio en la madera de *Pinus pinaster* para el tratamiento de Oleotermia 2 (20°C), siendo uno de los tratamientos que aporta menos protección. En caso contrario, con un menor resultado se ha obtenido en el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), siendo el más efectivo de los tratamientos. De forma general podemos decir que todos los termotratamientos son efectivos obteniendo mejores resultado si comparamos con la testigo, aunque de los tratamientos con oleotermia, el 4 destaque como el más efectivo. Atendiendo al coeficiente de variación, encontramos que todos los tratamientos poseen una homogeneidad en los datos obtenidos, siendo en las testigos, el menor.

La siguiente Figuras 5.9. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.9.:

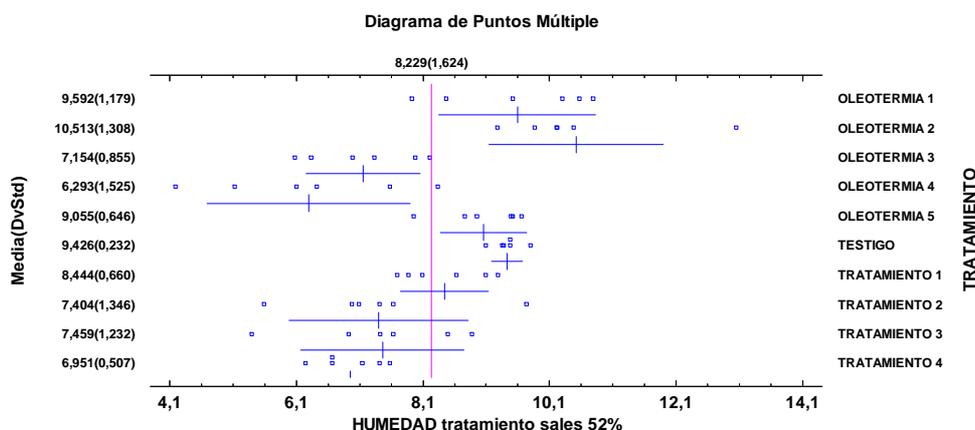


Figura 5.9. Diagrama de puntos múltiple de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de humedad relativa en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

En el análisis de esta variable para las probetas de *Populus x euramericana* se obtiene el siguiente resumen presentado en la siguiente Tabla 5.10., en ella podemos

ver que los mayores datos medios de humedad alcanzados han sido en el tratamiento de Oleotermia 5 (Teca), muy parecidos a los testigo, por lo tanto poco eficiente. El menor de los datos de humedad media se localiza en el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C). Podemos concluir con los resultados, que tanto los tratamientos de oleotermia como los de termotratamiento, muestran efectividad, sin embargo es la oleotermia la que es más destacable. Analizando el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos para esta variable, nos indica que los datos recogidos son muy homogéneos para todos los casos de estudio, siendo los datos de las probetas testigo los que cumple con mayor homogeneidad.

Tanto para el pino como para el chopo tras la estabilización a una humedad relativa del 52% se observa que los tratamientos térmicos a 120°C, 160°C y 180°C reducen la humedad de equilibrio higroscópico de la madera de forma muy similar en todos los casos y con menor humedad de equilibrio en el tratamiento a 180°C que refleja un 6,94% de (HEH) frente al 9,89% de la muestra testigo, estos resultados coinciden con los publicados por Hakkou et al. (2005), Thermowood (2003). Para el caso de los tratamientos con inmersión en aceite reciclado a distintas temperaturas 20°C, 140°C y 180°C también se consigue reducir la humedad de equilibrio higroscópico de forma significativa hasta en un 40% respecto de la muestra testigo y comportándose de forma similar en el rango de temperaturas ensayado, sin embargo en los tratamientos superficiales mediante pincelado con aceite reciclado o con un aceite comercial para teca no se consigue ningún cambio respecto de la HEH alcanzada por las muestras testigo. Estos resultados coincidiendo con trabajos publicados en madera de *Populus* por Bazyar (2012) y Bak & Németh (2012) que reflejan una reducción similar en tratamientos con aceite de linaza a 200°C durante más de 4 horas, Fang et al (2012) obtiene similares reducciones en chapas de madera densificadas y con tratamientos similares, también en otras especies (Mukam & Simon 2012, Dubey et al 2012) señalan una menor humedad de equilibrio higroscópico de la madera tras tratamientos de OHT.

Tabla 5.10. Valores descriptivos de la de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	6	9,196	1,477	16,067	7,608	11,111
OLEOTERMIA 2	6	5,919	3,497	59,089	0,970	9,183
OLEOTERMIA 3	6	5,823	1,563	26,847	3,488	7,692
OLEOTERMIA 4	6	5,898	0,803	13,608	4,487	6,862
OLEOTERMIA 5	6	9,397	0,797	8,480	8,219	10,256
TESTIGO	6	9,891	0,665	6,726	8,974	10,606

Tabla 5.10. (Cont.) Valores descriptivos de la de la humedad tras el tratamiento con sales al 53% de Hr según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO 1	6	8,113	0,557	6,866	7,142	8,823
TRATAMIENTO 2	6	8,452	1,099	13,011	6,756	9,859
TRATAMIENTO 3	6	6,938	0,567	8,183	6,410	7,792
TRATAMIENTO 4	6	7,776	0,899	11,571	6,382	8,988

En el siguiente diagrama de puntos múltiples (Figura 5.10.) se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.10.:

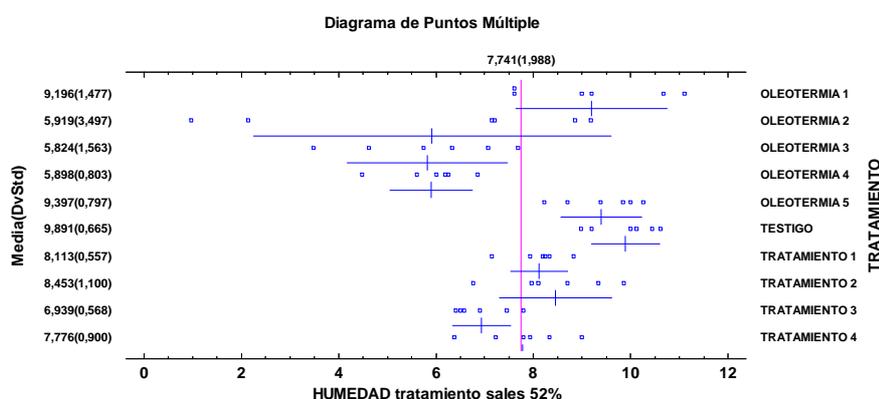


Figura 5.10. Gráfico de caja y bigotes de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.6. Análisis descriptivo de la dureza media tras los tratamientos en las probetas

La variable analizada en este apartado es la dureza media obtenida a partir de la dureza radial y dureza tangencial de las probetas de madera tanto de *Pinus pinaster* como de *Populus x euramericana*.

- **Análisis descriptivo de la dureza media en las probetas de *Pinus pinaster***

En la siguiente Tabla 5.11., se resumen los datos del análisis de la variable "dureza media" donde se muestra que los mayores datos medios de dureza media corresponden con los tratamientos de Oleotermia 5 (Teca). El menor de los datos de dureza se alcanza con el tratamiento de Termotratamiento 2 (160°C). El coeficiente de

variación de los diferentes tratamientos en esta variable, indica que los datos obtenidos son muy heterogéneos en todos los casos de estudio. Los resultados obtenidos en esta variable para el pino, además de ser escasos poseen demasiada variabilidad debido a la falta de precisión en la medición de la escasa huella dejada por el cilindro en el ensayo de dureza.

Tabla 5.11. Valores descriptivos de la dureza media en los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (kN/cm ²)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (kN/cm ²)	Máximo (kN/cm ²)
OLEOTERMIA 1	6	3,854	5,971	154,937	0	11,705
OLEOTERMIA 2	6	-	-	-	0	0
OLEOTERMIA 3	6	6,413	7,143	111,382	0	14,689
OLEOTERMIA 4	6	-	-	-	0	0
OLEOTERMIA 5	6	12,115	15,649	129,174	0	37,861
TESTIGO	6	6,005	10,049	167,353	0	24,026
TRATAMIENTO 1	6	2,001	4,901	244,949	0	12,006
TRATAMIENTO 2	6	1,951	4,778	244,949	0	11,705
TRATAMIENTO 3	6	-	-	-	0	0
TRATAMIENTO 4	6	-	-	-	0	0

Los datos de la tabla anterior se representan de forma gráfica en la Figura 5.11.:

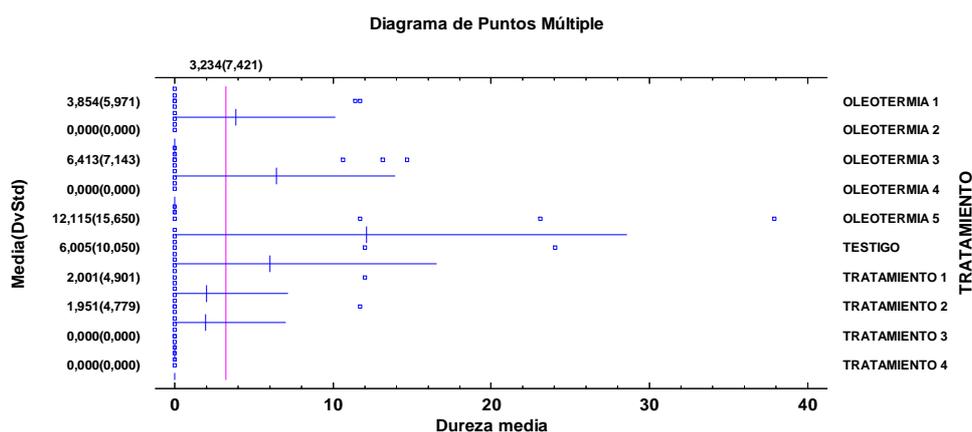


Figura 5.11. Diagrama de puntos múltiples de la dureza media para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la dureza media de en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

De la misma forma se procedió a la toma de datos de la variable "dureza media" en las probetas de madera del clon "I-214". En la siguiente Tabla 5.12., se destaca que los mayores datos medios de dureza media se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado). El menor de los datos de dureza media se localiza en el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C). Estos datos coinciden con la bibliografía donde la variable dureza disminuye para todos los tratamientos según aumenta la temperatura de éstos, siendo la menor reducción en el tratamiento de menor temperatura. Gunduz et al (2009), Kocaefe et al (2007), Korkut et al (2013) indican pérdidas importantes a partir de tratamientos a temperaturas superiores a 160°C y prolongados más de 4 horas.

Analizando el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos en esta variable, cabe señalar que los datos recogidos son muy homogéneos para todos los casos de estudio, siendo el Termotratamiento 1 (120°C) el que cumple con mayor homogeneidad.

Tabla 5.12. Valores descriptivos de dureza media según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (kN/cm ²)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (kN/cm ²)	Máximo (kN/cm ²)
OLEOTERMIA 1	6	23,283	1,212	5,204	21,289	24,710
OLEOTERMIA 2	6	22,180	2,404	10,837	19,594	24,975
OLEOTERMIA 3	6	22,146	3,021	13,643	17,439	24,975
OLEOTERMIA 4	6	16,568	1,639	9,896	14,151	19,037
OLEOTERMIA 5	6	19,579	3,784	19,327	13,871	23,124
TESTIGO	6	17,106	3,299	19,289	14,336	23,125
TRATAMIENTO 1	6	19,543	0,966	4,946	17,923	20,817
TRATAMIENTO 2	6	17,219	2,503	14,534	14,087	19,431
TRATAMIENTO 3	6	18,771	3,125	16,649	15,489	23,410
TRATAMIENTO 4	6	18,259	4,082	22,356	14,443	24,975

La siguiente Figura 5.12. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.12.:

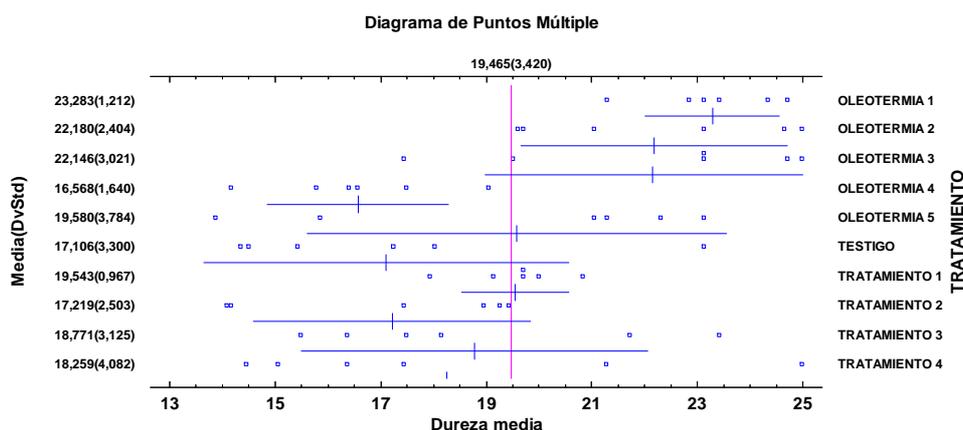


Figura 5.12. Diagrama de puntos múltiples de dureza media para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.7. Análisis descriptivo de la dureza tangencial tras los tratamientos en las probetas según la norma UNE 56-534-77.

La variable dureza en este apartado se ha obtenido aplicando la norma UNE 56-534-77 sobre las probetas de madera de *Populus x euramericana* sometidas previamente a sus tratamientos, la dirección de aplicación de la fuerza corresponde con el plano tangencial de estas piezas.

- **Análisis descriptivo de la dureza tangencial en las probetas según la norma UNE 56-534-77 de *Populus x euramericana* "I-214"**

En la siguiente Tabla 5.13., se aprecia que los mayores datos medios de dureza tangencial para madera de chopo corresponden con los tratamientos de Oleotermia 3 (140°C) y 1 (pincelado). El menor de los datos de dureza tangencial se alcanza con la aplicación del tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), siendo el de mayor temperatura entre los tratamientos de oleotermia. El coeficiente de variación de los diferentes tratamientos en para esta variable, muestra que los datos obtenidos son muy homogéneos en todos los casos, siendo el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado) y 3 (140°C), los de más homogeneidad.

Tabla 5.13. Valores descriptivos de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (mm^{-1})	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (mm^{-1})	Máximo (mm^{-1})
OLEOTERMIA 1	6	1,833	0,408	22,268	1,000	2,000
OLEOTERMIA 2	6	1,667	0,516	30,984	1,000	2,000
OLEOTERMIA 3	6	1,833	0,408	22,268	1,000	2,000
OLEOTERMIA 4	6	0,917	0,204	22,268	0,500	1,000
OLEOTERMIA 5	6	1,583	0,665	41,973	0,500	2,000
TESTIGO	6	1,333	0,516	38,729	1,000	2,000
TRATAMIENTO 1	6	1,667	0,564	30,984	1,000	2,000
TRATAMIENTO 2	6	1,278	0,574	44,925	0,667	2,000
TRATAMIENTO 3	6	1,444	0,620	42,959	0,667	2,000
TRATAMIENTO 4	6	1,278	0,574	44,925	0,667	2,000

En el siguiente gráfico de caja y bigotes (Figura 5.13.) se aprecia de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.13.:

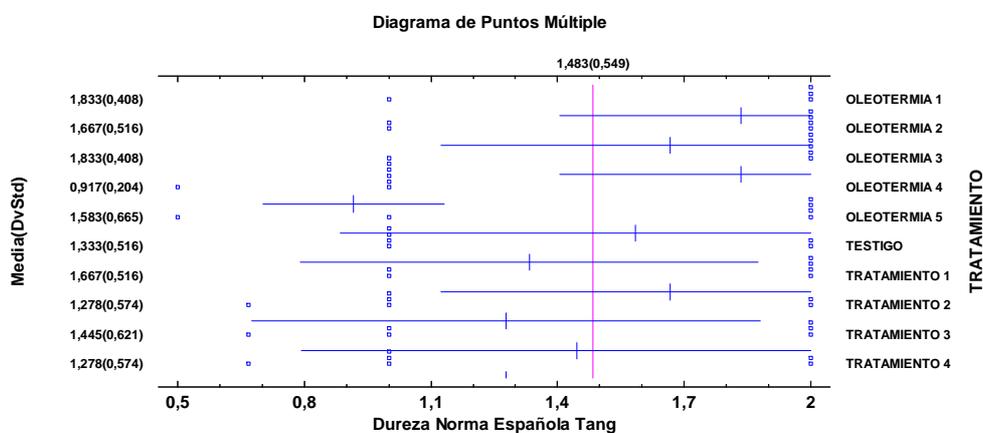


Figura 5.13. Diagrama de puntos múltiples de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.8. Análisis descriptivo de la dureza radial los tratamientos en las probetas según la norma UNE 56-534-77.

En este apartado, la variable dureza analizada se ha obtenido aplicando la norma UNE 56-534-77 sobre las probetas de madera de *Populus x euramericana*

sometidas previamente a sus tratamientos, la dirección de aplicación de la fuerza corresponde con el plano radial de estas piezas.

- **Análisis descriptivo de la dureza radial en las probetas según la norma UNE 56-534 de *Populus x euramericana* "I-214"**

En la siguiente Tabla 5.14., se aprecia que los mayores datos medios de dureza radial para madera de chopo corresponden con los tratamientos de Oleotermia 3 (140°C) y 2 (20°C). El menor de los datos de dureza radial se alcanza con la aplicación del tratamiento de Termotratamiento 2 (160°C). El coeficiente de variación de los diferentes tratamientos en esta variable, muestra que los datos obtenidos son muy homogéneos en todos los casos.

Tabla 5.14. Valores descriptivos de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (mm^{-1})	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (mm^{-1})	Máximo (mm^{-1})
OLEOTERMIA 1	6	2,000	0	0	2,000	2,000
OLEOTERMIA 2	6	1,833	0,408	22,268	1,000	2,000
OLEOTERMIA 3	6	1,667	0,516	30,984	1,000	2,000
OLEOTERMIA 4	6	1,167	0,408	34,993	1,000	2,000
OLEOTERMIA 5	6	1,278	0,574	44,925	0,667	2,000
TESTIGO	6	1,000	0,516	51,618	0,667	2,000
TRATAMIENTO 1	6	1,167	0,408	34,993	1,000	2,000
TRATAMIENTO 2	6	0,972	0,541	55,711	0,500	2,000
TRATAMIENTO 3	6	1,112	0,455	40,979	0,667	2,000
TRATAMIENTO 4	6	1,056	0,490	46,468	0,667	2,000

En el siguiente diagrama de puntos múltiples (Figura 5.14.) se aprecia de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.14.:

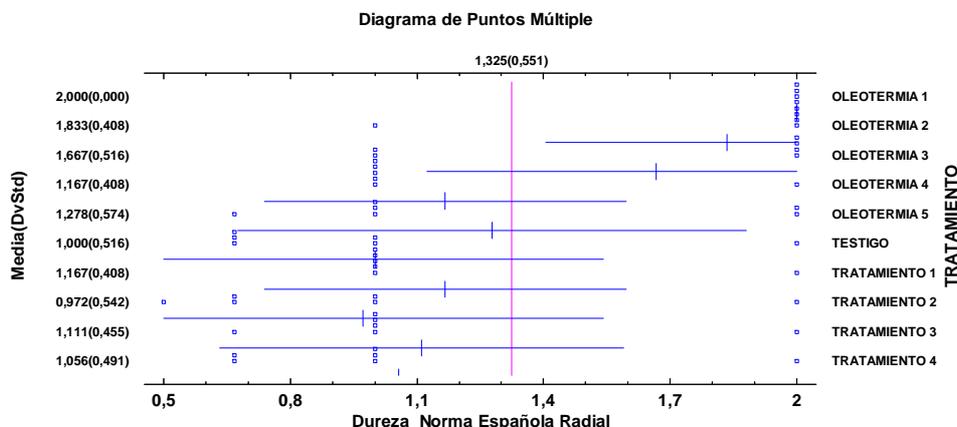


Figura 5.14. Diagrama de puntos múltiples de la dureza radial según la norma UNE 56-534 para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.9. Análisis descriptivo de la dureza media tras los tratamientos en las probetas según la norma UNE 56-534-77.

En este apartado, la variable dureza analizada se ha obtenido aplicando la norma 56-534-77 sobre las probetas de madera de *Populus x euramericana* sometidas previamente a sus tratamientos, la dirección de aplicación de la fuerza corresponde con la media entre los dos planos anteriores analizados.

- **Análisis descriptivo de la dureza media en las probetas según la norma UNE 56-534-77 de *Populus x euramericana* "I-214"**

En la siguiente Tabla 5.15., se aprecia que los mayores datos medios de dureza media para madera de chopo corresponden con los tratamientos de Oleotermia 1 (pincelado), seguido de Oleotermia 2 (20°C) y 3 (140°C), que parecen mejorar esta propiedad. El menor de los datos de dureza se alcanza con la aplicación del tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), coincidiendo con la bibliografía estudiada por la que aumentar la temperatura puede tener efectos adversos en la dureza. El coeficiente de variación de los diferentes tratamientos en esta variable, muestra que los datos obtenidos son muy homogéneos en todos los casos, siendo el tratamiento de Oleotermia 1, el de más homogeneidad.

Tabla 5.15. Valores descriptivos de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (mm^{-1})	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (mm^{-1})	Máximo (mm^{-1})
OLEOTERMIA 1	6	1,917	0,204	10,650	1,500	2,000
OLEOTERMIA 2	6	1,750	0,274	15,649	1,500	2,000
OLEOTERMIA 3	6	1,750	0,418	23,905	1,000	2,000
OLEOTERMIA 4	6	1,042	0,246	23,597	0,750	1,500
OLEOTERMIA 5	6	1,430	0,544	38,012	0,750	2,000
TESTIGO	6	1,166	0,447	38,344	0,833	2,000
TRATAMIENTO 1	6	1,417	0,204	14,409	1,000	1,500
TRATAMIENTO 2	6	1,125	0,372	33,033	0,667	1,500
TRATAMIENTO 3	6	1,278	0,430	33,686	0,833	2,000
TRATAMIENTO 4	6	1,167	0,494	42,376	0,667	2,000

En el siguiente diagrama de puntos múltiples (Figura 5.15.) se aprecia de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.15.:

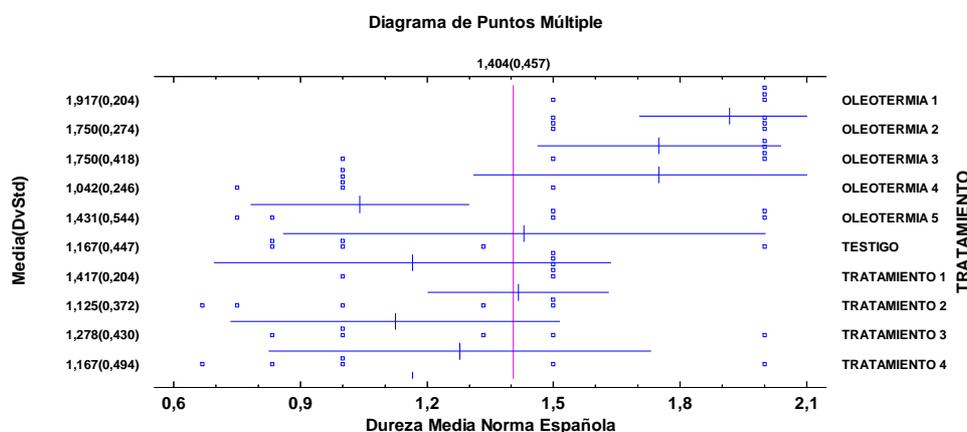


Figura 5.15. Diagrama de puntos múltiples de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.10. Análisis descriptivo de la contracción volumétrica total, del coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial tras los tratamientos en las probetas

En este apartado se analizarán diversas variables para ser comparadas fácilmente. La variable "Contracción volumétrica total" se obtiene mediante la comparación del volumen saturado en agua durante 24 horas de las probetas de madera tanto de *Pinus pinaster* como de *Populus x euramericana* tratadas con sus correspondientes tratamientos, y el volumen anhidro de las mismas.

La variable "Coeficiente de contracción volumétrica" es obtenida mediante la aplicación de una fórmula en la que se recogen otras variables tomadas a las probetas de estudio una vez aplicadas el tratamiento correspondiente en cada caso. Estas variables son: el volumen de las probetas secas en condiciones ambientales atmosféricas, el volumen anhidro, y el contenido de humedad de dichas probetas.

En el caso de la variable "Contracción lineal longitudinal" se obtiene mediante la diferencia obtenida entre las longitudes de la probeta en la dirección longitudinal considerada de la madera saturada y la madera anhidra.

La variable "Contracción lineal radial" se obtiene de la misma forma que el apartado anterior, sin embargo la dirección considerada es la radial en las probetas de ensayo.

Por último, de forma idéntica a los dos anteriores apartados, la variable "Contracción lineal tangencial" se toma en función de la dirección considerada como tangencial en la pieza de estudio.

- **Análisis descriptivo de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, radial y tangencial en las probetas de *Pinus pinaster***

Tabla 5.16. Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTOS	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCIÓN TANGENCIAL
OLEOTERMIA 1					
Media (%)	7,185	0,270	1,056	4,254	2,707
Nº datos	8	8	8	3	3
Coef. variación	24,451	71,654	71,174	35,846	102,733
OLEOTERMIA 2					
Media (%)	8,929	0,271	1,482	4,500	2,553
Nº datos	8	8	8	5	5
Coef. variación	20,219	49,203	50,741	24,845	69,319
OLEOTERMIA 3					
Media (%)	8,496	0,316	0,086	3,918	4,000
Nº datos	8	8	8	5	5
Coef. variación	38,639	53,607	40,053	32,852	34,233

Tabla 5.16. (Cont.) Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTOS	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCIÓN TANGENCIAL
OLEOTERMIA 4					
Media (%)	5,764	0,165	0,057	3,125	3,125
Nº datos	8	8	8	4	4
Coef. variación	50,518	132,623	50,498	76,594	40,000
OLEOTERMIA 5					
Media (%)	8,554	0,424	1,057	3,782	3,983
Nº datos	8	8	8	2	2
Coef. variación	41,557	43,293	70,957	45,542	45,457
TRATAMIENTO 1					
Media (%)	6,619	0,345	0,735	1,667	3,504
Nº datos	8	8	8	6	6
Coef. variación	51,104	71,572	73,244	154,919	39,589
TRATAMIENTO 2					
Media (%)	7,705	0,590	0,945	3,739	2,516
Nº datos	8	8	8	4	4
Coef. variación	39,392	109,048	32,038	70,506	81,140
TRATAMIENTO 3					
Media (%)	7,875	0,535	1,064	3,929	2,628
Nº datos	8	8	8	7	3
Coef. variación	36,602	126,145	84,289	61,064	141,250
TRATAMIENTO 4					
Media (%)	6,141	0,309	1,052	1,525	3,000
Nº datos	8	8	8	5	5
Coef. variación	29,088	72,598	56,687	91,303	69,722

En la tabla anterior (Tabla 5.16.), se resumen los datos del análisis de la variable Contracción Volumétrica total, el Coeficiente de contracción volumétrica y las Contracciones lineales longitudinales, radiales y tangenciales.

Cabe destacar que todos los tratamientos propuestos suponen una menor contracción volumétrica comparando con las muestras testigo y con valores muy similares en todos los tratamientos, lo cual coincide con otros ensayos de termotratamiento a temperaturas similares de Korkut & Guller (2008), Unsal et al (2003) si bien en ese caso la duración del tratamiento fue más prolongada, de 2 a 10 horas. En relación a los tratamientos ensayados de OHT la menor contracción volumétrica se consigue con la temperatura de 140°C con un 7,8% frente a 12,2% en la muestra testigo, Bazzyar (2012) consiguió una reducción del 20% en la contracción volumétrica con tratamientos a 205°C más de 4 horas, y en otras especies (Sailer & Rapp 2001, Wang and Cooper 2005, Salim et al 2010, Mukam & Simon 2012, Dubey et al 2012) que señalan una menor contracción de la madera tras tratamientos de OHT.

Para el caso de la variable "Contracción volumétrica total" en madera de *Pinus pinaster*, se muestra que los mayores datos medios para esta variable corresponden

con los tratamientos de Oleotermia 2 (20°C), 3 (140°C), 5 (Teca), así como en los tratamientos de Termotratamiento 2 (160°C) y 3 (180°C). El menor de los datos de contracción volumétrica se alcanza con el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C). De forma general podemos ver que ambos tratamientos, la oleotermia y el termotratamiento disminuyen la contracción volumétrica. Además, podemos apreciar que dentro de los termotratamientos, los menores resultados medios se obtienen en los casos de menor temperatura.

En el caso de la variable "Coeficiente de contracción volumétrica" los mayores datos medios corresponden con los tratamientos de Termotratamiento 2 (160°C). El menor de los datos de contracción volumétrica se alcanza con el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), siendo para el *Pinus pinaster* los tratamientos oleotermia los que de forma general reducen el coeficiente de contracción.

Los resultados del análisis de la variable "Contracción lineal longitudinal" muestra que los mayores datos medios de corresponden con los tratamientos de Oleotermia 2 (20°C), mientras que el menor de los datos de para esta variable se alcanza con el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C) y 3 (140°C).

En el caso del análisis de la variable "Contracción lineal radial" arroja que el mayor dato medio para esta variable se alcanza en el tratamiento de Oleotermia 2 (20°C), siendo de manera general los tratamientos con oleotermia los que mayores datos medios alcanzan. Sin embargo, los termotratamientos poseen los menores datos en general para esta variable, siendo el tratamiento de Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado), el menor y más destacable.

Por último, la variable de estudio "Contracción lineal tangencial" en la madera de *Pinus pinaster* alcanza un valor medio mayor para el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C). En caso contrario, con un menor resultado se ha obtenido aplicando el tratamiento de Termotratamiento 2 (160°C). Ambos tipos de tratamientos parecen reducir la contracción lineal tangencial de las probetas estudiadas.

La siguientes Figuras 5.16., 5.17., y 5.18., se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.16.:

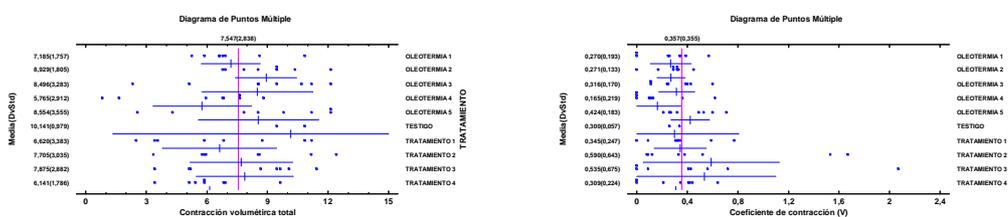


Figura 5.16. Diagrama de puntos múltiple de la contracción volumétrica total y el coeficiente de contracción volumétrica para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

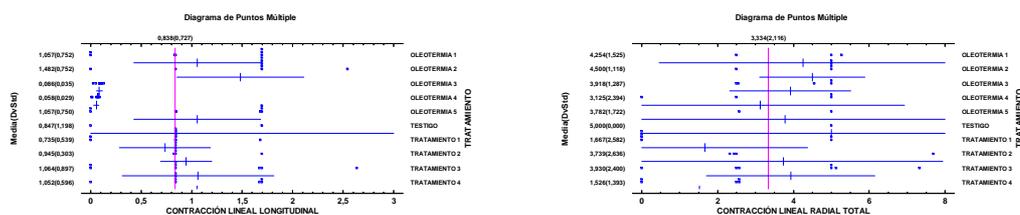


Figura 5.17. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal longitudinal y radial para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

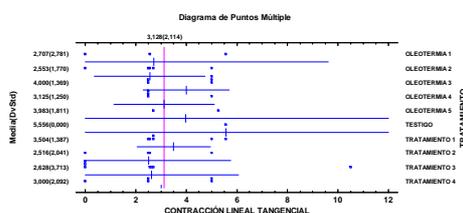


Figura 5.18. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal tangencial para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, radial y tangencial en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

Al igual que para las probetas de madera de *Pinus pinaster*, se procedió a la toma de datos de las variables "Contracción volumétrica total", "Coeficiente de contracción volumétrica", "Contracción lineal longitudinal", "Contracción lineal radial" y la "Contracción lineales tangencial" en las probetas de madera del clon "I-214".

En la siguiente Tabla 5.17., se destaca que los mayores datos medios de Contracción volumétrica total se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado). Los menores de los datos se localizan en el tratamiento de Oleotermia 2 (20°C), así como el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado). Ambos tipos de tratamiento parecen disminuir en chopo la contracción volumétrica, siendo para los tratamientos de oleotermia el menor dato el de mayor temperatura, coincidiendo con la bibliografía. Korkut & Guller (2008), Unsal et al (2003), Bak & Németh (2012) consiguió una reducción del 20% en la contracción volumétrica con tratamientos a 205°C y más de 4 horas. Es destacable el Termotratamiento 4 que dentro de los termotratamientos también aplica aceite reciclado, obteniendo el valor más destacable.

Los mayores datos medios para el Coeficiente de contracción se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C), mientras que los menores datos medios se localizan en los tratamientos de Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado).

En el caso de la variable "Contracción lineal longitudinal" en las probetas de madera de *Populus x euramericana*, se muestra que los mayores datos medios se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 5 (Teca). Los menores de los datos se localizan en los tratamientos de Oleotermia 4 (180°C).

Para la variable "Contracción lineal radial" se destaca que los mayores datos medios se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 1 (pincelado). Los menores de los datos se localizan en los tratamientos de Oleotermia 4 (180°C), así como el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado).

Por último se procedió a la toma de datos de la variable "Contracción lineal tangencial" en las probetas de madera *Populus x euramericana*. Los resultados fueron que los mayores datos medios de contracción tangencial lineal se alcanzan en el tratamiento de Termotratamiento 3 (180°C), sin embargo los menores datos medios se localizan en los tratamientos de Oleotermia 3 (140°C).

Tabla 5.17. Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTOS	CONTRACCION VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCION TANGENCIAL
OLEOTERMIA 1					
Media (%)	10,870	0,569	0,515	6,249	3,830
Nº datos	8	8	8	7	7
Coef. variación	15,455	31,006	82,822	24,445	40,003
OLEOTERMIA 2					
Media (%)	8,4539	0,397	0,417	5,354	2,711
Nº datos	8	8	8	5	5
Coef. variación	15,204	52,629	106,928	35,904	3,902
OLEOTERMIA 3					
Testigo					
Media (%)	7,796	0,784	0,516	4,845	1,746
Nº datos	8	8	8	6	6
Coef. variación	27,959	68,364	82,808	24,632	77,657
OLEOTERMIA 4					
Media (%)	8,803	0,402	0,088	4,258	2,778
Nº datos	8	8	8	3	3
Coef. variación	33,704	93,024	33,723	33,382	100,00
OLEOTERMIA 5					
Media (%)	9,271	0,442	0,625	4,722	3,146
Nº datos	8	8	8	5	5
Coef. variación	37,570	56,229	118,189	47,473	70,144
TRATAMIENTO 1					
Media (%)	8,942	0,417	0,207	5,096	3,438
Nº datos	8	8	8	6	6
Coef. variación	25,552	44,714	185,164	30,717	62,161

Tabla 5.17. (Cont.) Valores descriptivos de la contracción volumétrica total, el coeficiente de contracción volumétrica, la contracción lineal longitudinal, la contracción lineal radial y la contracción lineal tangencial en los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTOS	CONTRACCION VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCION TANGENCIAL
TRATAMIENTO 2 Testigo Media (%) Nº datos Coef. variación	9,075 8 25,699	0,426 8 56,679	0,415 8 151,504	5,315 7 33,048	2,824 7 30,875
TRATAMIENTO 3 Media (%) Nº datos Coef. variación	10,27 8 25,101	0,447 8 49,187	0,312 8 138,029	4,489 4 71,926	4,630 4 28,183
TRATAMIENTO 4 Media (%) Nº datos Coef. variación	8,078 8 42,456	0,315 8 67,578	0,207 8 185,164	4,423 4 72,579	1,910 4 66,927

En las siguientes Figuras 5.19., 5.20., y 5.21., se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.17.:

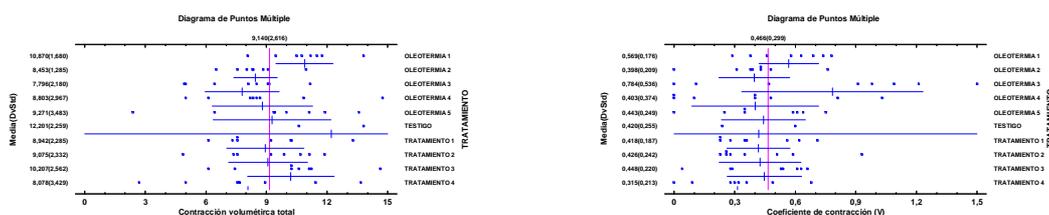


Figura 5.19. Diagrama de puntos múltiple de la contracción volumétrica total y el coeficiente de contracción volumétrica para los tratamientos en el clon "I-214".

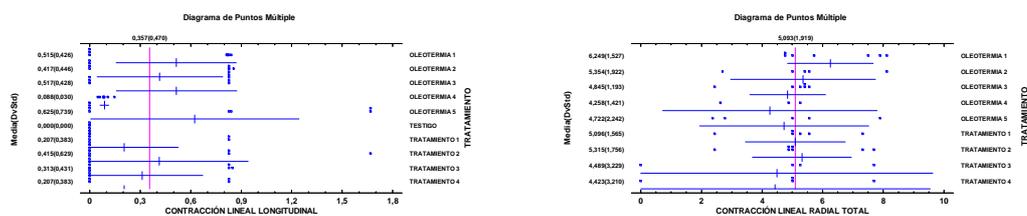


Figura 5.20. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal longitudinal y la contracción lineal radial para los tratamientos en el clon "I-214".

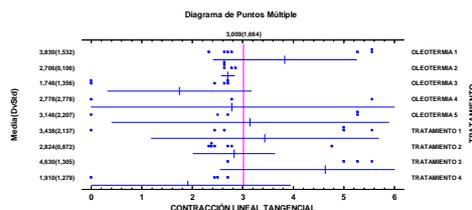


Figura 5.21. Diagrama de puntos múltiple de la contracción lineal tangencial para los tratamientos en el clon "I-214".

5.1.11. Análisis descriptivo de la higroscopicidad de los tratamientos en las probetas

En este apartado la variable de estudio "Higroscopicidad" se ha calculado según la norma UNE 56-532.

- Análisis descriptivo de la higroscopicidad en las probetas de *Pinus pinaster*

Tabla 5.18. Valores descriptivos de higroscopicidad en los tratamientos en la madera de *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	8	4,607	1,048	22,755	2,590	5,980
OLEOTERMIA 2	8	4,524	0,833	18,414	3,840	6,380
OLEOTERMIA 3	8	4,232	1,206	28,485	2,170	5,510
OLEOTERMIA 4	8	5,326	1,458	27,377	2,500	6,730
OLEOTERMIA 5	8	3,346	1,057	31,578	1,890	4,510
TRATAMIENTO 1	8	3,686	1,648	44,718	1,180	6,460
TRATAMIENTO 2	8	2,560	3,695	144,340	-3,170	5,950
TRATAMIENTO 3	7	3,891	1,857	47,745	1,690	6,990
TRATAMIENTO 4	8	5,215	1,523	36,133	2,210	6,830

En la tabla anterior se muestra una media más alta para la variable de estudio en la madera de *Pinus pinaster* para el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C). El menor resultado se ha obtenido aplicando el tratamiento de Termotratamiento 2 (160°C). Estos resultados nos llevan a la conclusión que la higroscopicidad es menor en los termotratamientos con temperaturas más bajas, y en los tratamientos con oleotermia disminuye con el aumento de temperatura. Atendiendo al coeficiente de variación,

encontramos que todos los tratamientos poseen una homogeneidad excepto en los datos del Tratamiento 2, donde encontramos los datos muy sesgados.

En la siguiente Figuras 5.22. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.18.:

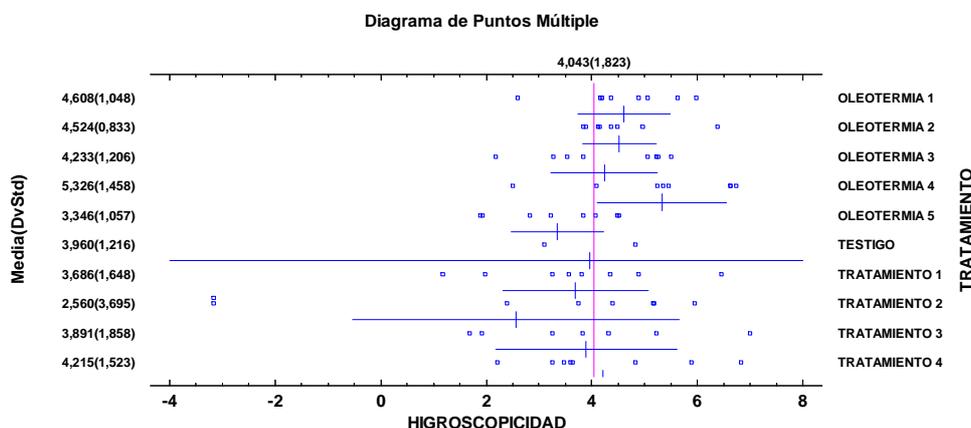


Figura 5.22. Diagrama de puntos múltiples de higroscopicidad para los tratamientos en *Pinus pinaster*.

- **Análisis descriptivo de la higroscopicidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

Se aplicó el mismo procedimiento en las probetas de madera de chopo. En la siguiente Tabla 5.19., se destaca que los mayores datos medios de higroscopicidad se alcanzan en el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C). Los menores de los datos se localizan en los tratamientos de Oleotermia 3 (140°C), siendo el mejor resultado entre los tratamientos aplicados. Analizando el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos para esta variable, señala que los datos recogidos son homogéneos para todos los tratamientos, excepto en el caso del tratamiento de Oleotermia 3 (140°C) y 4 (180°C).

Tabla 5.19. Valores descriptivos de la higroscopicidad de producto según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

TRATAMIENTO	Nº ENSAYOS	MEDIA (%)	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
OLEOTERMIA 1	8	1,636	0,784	47,904	0,870	2,940
OLEOTERMIA 2	8	2,451	0,972	39,675	0,760	4,220
OLEOTERMIA 3	8	0,587	2,426	412,982	-3,100	3,900

Tabla 5.19. (Cont.) Valores descriptivos de la higroscopicidad de producto según los tratamientos en la madera del clon "I-214"

OLEOTERMIA 4	8	3,052	2,383	78,070	-0,170	6,590
OLEOTERMIA 5	8	1,938	0,845	43,052	0,880	3,240
TRATAMIENTO 1	8	2,060	0,775	37,639	0,910	2,840
TRATAMIENTO 2	8	1,955	0,831	42,491	0,290	2,790
TRATAMIENTO 3	8	2,062	0,901	43,667	1,190	3,610
TRATAMIENTO 4	8	2,522	0,832	32,986	1,150	3,640

En la siguiente Figuras 5.23. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 5.19.:

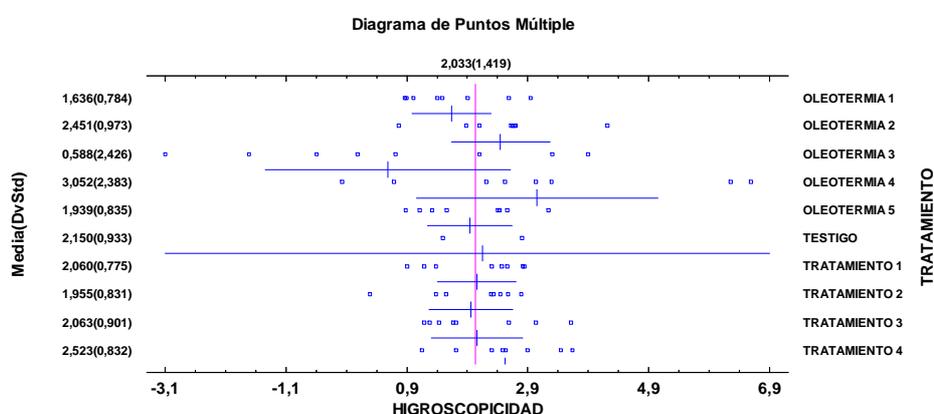


Figura 5.23. Diagrama de puntos múltiples de la higroscopicidad para los tratamientos en el clon "I-214".

5.2. ESTADÍSTICA COMPARATIVA

La estadística comparativa es una herramienta de análisis que se utiliza para comparar valores y conocer si un conjunto de datos numéricos son significativamente diferentes, a los de otro o más conjunto de datos. Para ello, se realizó un análisis de la varianza por comparación de medias y varianzas.

5.2.1. Comparación variable densidad.

En este apartado se realizará la comparación entre la variable densidad entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.20., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que estos factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.20. Análisis de la varianza para la variable densidad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	5,495	1	5,495	2473,60	0,0000
B: Tratamiento	0,637	9	0,071	31,86	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,685	9	0,076	34,26	0,0000
RESIDUOS	1,078	485	0,002		
TOTAL (CORREGIDO)	7,934	504			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable densidad entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable densidad. En la Tabla 5.21., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas especies se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la densidad para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.21. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable densidad por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	254	0,3482	0,00297	A
<i>Pinus pinaster</i>	251	0,5575	0,00298	B

A continuación en la Figura 5.24., se observa gráficamente los dos grupos que desvela la tabla anterior. Fácilmente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la densidad en el *Pinus pinaster* más elevada, ya que es una madera más dura, que para el *Populus x euramericana* cuya madera es clasificada dentro de las maderas blandas.

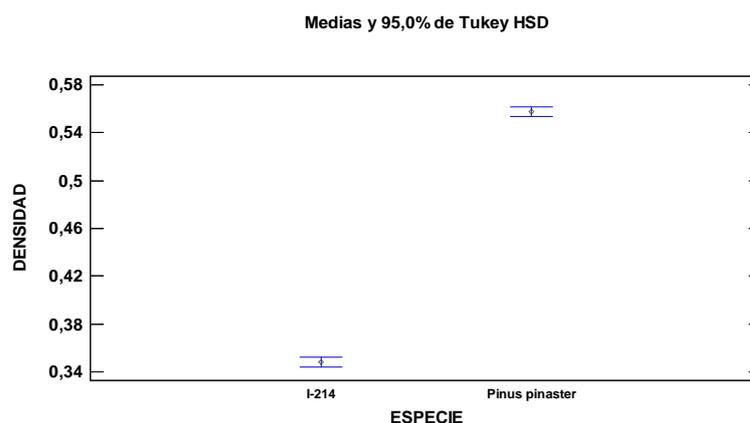


Figura 5.24. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable densidad por especie

- **Comparación variable densidad entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable densidad entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.22., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cuatro grupos diferentes. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos de Oleotermia 1, 2, 3, 4, son significativamente iguales. Sin embargo el Termotratamiento 3 (180°C), es significativamente diferente al resto de tratamientos.

Tabla 5.22. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable densidad por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 3	52	0,3507	0,0065	A
Testigo	40	0,4452	0,0074	B
Tratamiento1	49	0,4579	0,0067	BC
Oleotermia 2	52	0,4616	0,0065	BC
Oleotermia 3	52	0,4623	0,0065	BC
Tratamiento 2	52	0,4669	0,0065	BC
Tratamiento 4	52	0,4679	0,0065	BC
Oleotermia 1	52	0,4686	0,0065	BC
Oleotermia 4	52	0,4691	0,0065	BC
Oleotermia 5	52	0,4779	0,0065	C

En la Figura 5.25., se observa gráficamente la tabla anterior. Claramente podemos ver que con el Termotratamiento 3 (180°C), se obtienen densidades más bajas que en el resto de los tratamientos. Esto se debe, como se indicó anteriormente y como la bibliografía consultada arroja, altas temperaturas disminuyen la densidad de la madera tratada.

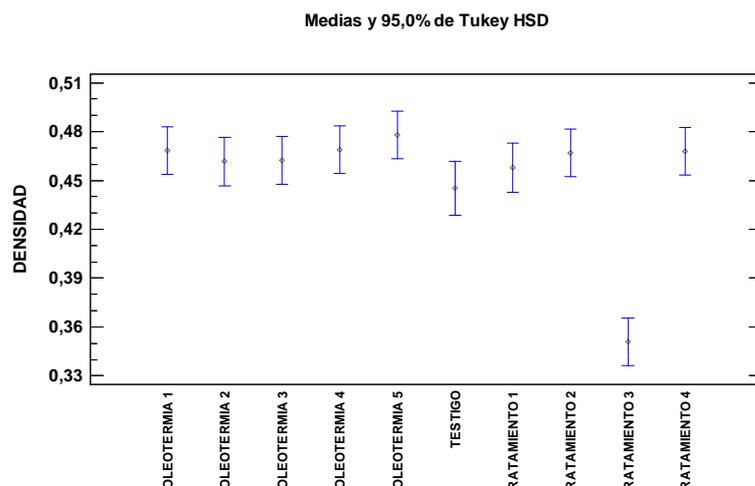


Figura 5.25. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable densidad por tratamiento

- **Interacción especie - tratamiento para la variable densidad**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.20. en las interacciones, resulta ser menor de $p < 0,05$, por lo tanto podemos afirmar que existe una interacción entre los factores de estudio. En la siguiente Figura 5.26., podemos ver con claridad la interacción entre especies para el Tratamiento 3, es decir, para el Termorreatamiento 3, no existen diferencias significativas entre especies. De la misma forma, la Figura 5.27. nos lleva a la misma conclusión:

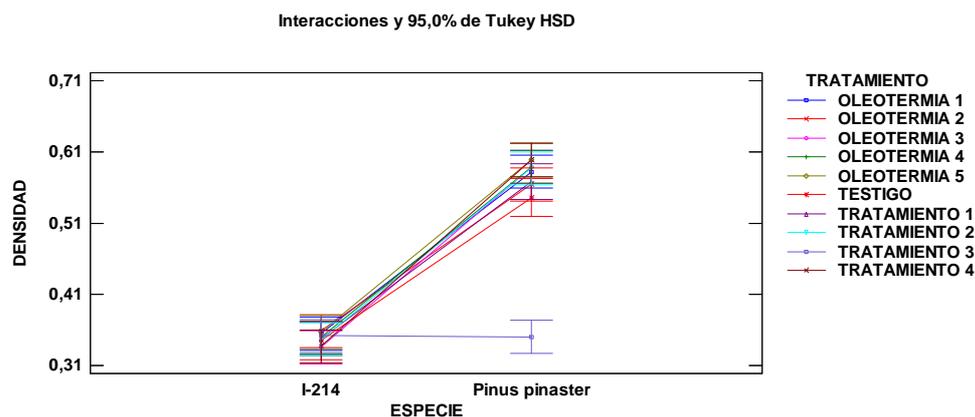


Figura 5.26. Gráfico de interacciones Tukey HSD al 95% para la variable densidad por especies

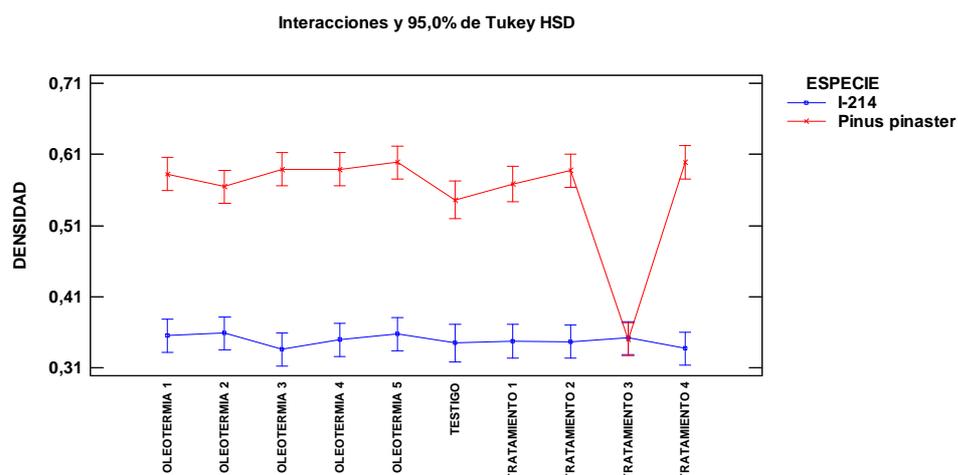


Figura 5.27. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable densidad por tratamientos

5.2.2. Comparación variable absorción de producto.

En este apartado se realizará la comparación entre la variable absorción de producto entre especies, entre tratamientos y la interacción que existe entre las especies y tratamientos.

En la Tabla 5.23., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. El Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, por lo tanto, se puede decir que estos factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la absorción de producto con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.23. Análisis de la varianza para la absorción de producto

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	110,3800	1	110,38	93,01	0,0000
B: Tratamiento	84,9678	5	16,9936	12,78	0,0000
INTERACCIONES					
AB	103,032	5	20,6063	15,50	0,0000
RESIDUOS	380,305	286	1,3297		
TOTAL (CORREGIDO)	681,488	297			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable absorción de producto entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable absorción de producto. En la Tabla 5.24., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos diferentes. Podremos afirmar así, que el comportamiento de la absorción de producto para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.24. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable absorción de producto por especies

<i>Especie</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Pinus pinaster	144	0,4917	0,0962	A
I- 214	154	1,7106	0,0929	B

A continuación en la Figura 5.28., se observan los dos grupos que la tabla anterior anuncia de forma gráfica. Se pueden diferenciar sencillamente los dos grupos, donde la absorción de producto es más elevada en el caso de *Populus x euramericana*, mientras que la especie con menos facilidad de absorción de producto es el *Pinus pinaster*.

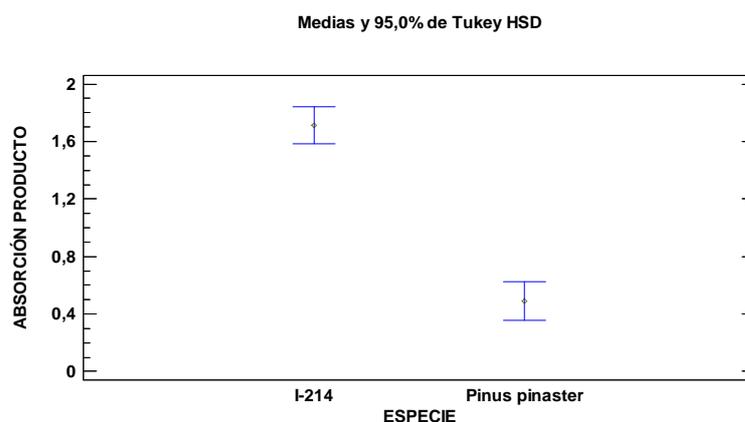


Figura 5.28. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable absorción de producto por especie

- **Comparación variable absorción de productos entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable absorción de producto entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.25., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cuatro grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre sí. En este caso, los tratamientos de Oleotermia 1 y 2, junto con el Termotratamiento 4 son significativamente iguales y tendrán la misma influencia sobre

la absorción de producto. Por otro lado por ejemplo, el tratamiento de Oleotermia 3 es significativamente diferente, ejerciendo distinta influencia en la absorción de producto.

Tabla 5.25. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable absorción de producto por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 5	50	0,6055	0,1632	A
Oleotermia 1	48	0,6966	0,1666	AB
Tratamiento 4	51	0,8540	0,1615	AB
Oleotermia 2	48	0,9474	0,1670	AB
Oleotermia 4	49	1,3495	0,1648	B
Oleotermia 3	52	2,1538	0,1599	C

En la Figura 5.29., podemos apreciar de forma gráfica los datos de la tabla anterior donde claramente podemos ver que el tratamiento de Oleotermia 3 (140°C), obtienen absorciones de producto mayores que con la aplicación del resto de los tratamientos.

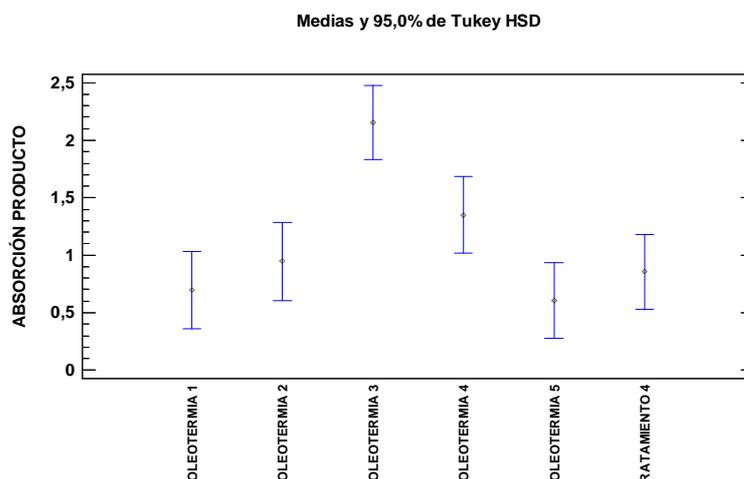


Figura 5.29. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para variable absorción de producto por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable absorción de producto**

Analizando las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies de la variable absorción de producto, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.23. en las interacciones, resulta ser menor de $p < 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que existe una interacción entre los factores de estudio. En las siguientes figuras podemos apreciar las interacciones entre especies para los tratamientos de Oleotermia 1 (pincelado a 20°C), 2 (inmersión a 20°C) y 5 (Teca), y el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado).

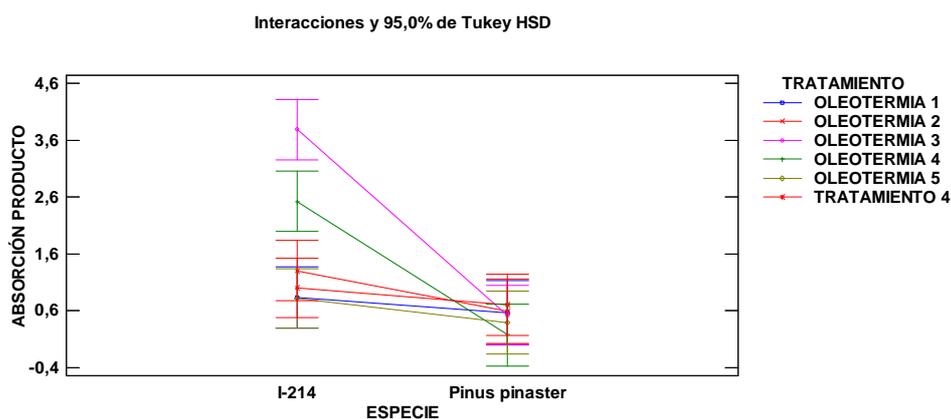


Figura 5.30. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable absorción de producto por especie

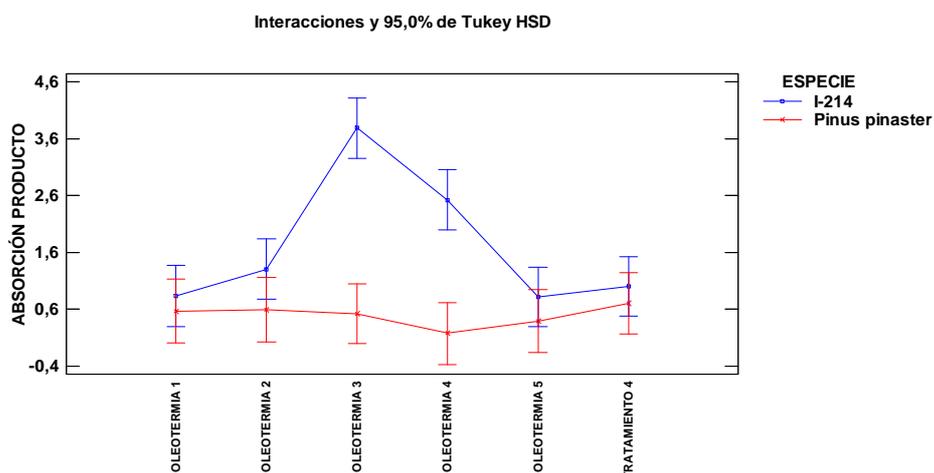


Figura 5.31. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable absorción de producto por tratamientos

5.2.3. Comparación de la variable pérdida de peso.

A continuación se realizará la comparación entre la variable pérdida de peso entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.26., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.26. Análisis de la varianza para la variable pérdida de peso

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	8,0424	1	8,0424	290,48	0,0000
B: Tratamiento	4,7278	3	1,5759	56,92	0,0000
INTERACCIONES					
AB	2,9451	3	0,9817	35,46	0,0000
RESIDUOS	5,5373	200	0,0277		
TOTAL (CORREGIDO)	21,2526	207			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable pérdida de peso entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable pérdida de estudio. En la Tabla 5.27., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas especies se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la pérdida de peso para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.27. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable pérdida de peso por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	104	0,525	0,0163	A
Pinus pinaster	104	0,9183	0,0163	B

A continuación en la Figura 5.32., se observa gráficamente los dos grupos que anunciaba la tabla anterior. Claramente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la pérdida de peso en el *Pinus pinaster* más elevada, posiblemente por la destilación de resinas y otras sustancias, mientras que para el *Populus x euramericana* la pérdida de peso es menor.

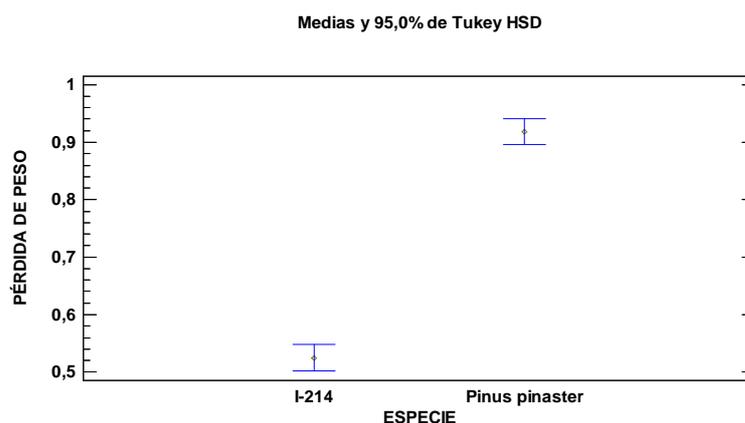


Figura 5.32. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable pérdida de peso por especie

- **Comparación variable pérdida de peso entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable pérdida de peso entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.28., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cuatro grupos diferentes, quedando los cuatro tratamientos en distintos grupos, por lo tanto poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Por ejemplo, el Termotratamiento 1 (120°C) es significativamente diferente al resto de tratamientos.

Tabla 5.28. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable pérdida de peso por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 1	52	0,4673	0,0231	A
Tratamiento 2	52	0,7711	0,0231	B
Tratamiento 4	52	0,7865	0,0231	BC
Tratamiento 3	52	0,8615	0,0231	C

En la Figura 5.33., se observa gráficamente la tabla anterior. Fácilmente podemos ver que con la aplicación del Termotratamiento 1 (120°C), se obtienen pérdidas de peso menores que en el resto de los tratamientos.

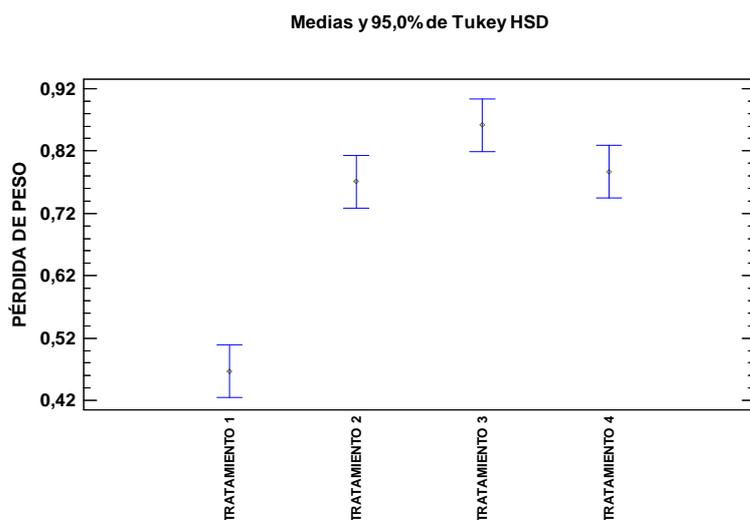


Figura 5.33. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable pérdida de peso por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable pérdida de peso**

En cuanto a las interacciones que existen entre especies y los distintos tratamientos, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.26. en las interacciones, resulta ser menor de $p < 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que existe una interacción entre los factores de estudio. En la siguiente Figura 5.34., podemos ver con claridad la interacción entre especies para el Tratamiento 1, es decir, para este tratamiento, no existen diferencias significativas entre especies. De la misma forma, la Figura 5.35. nos lleva a la misma conclusión:

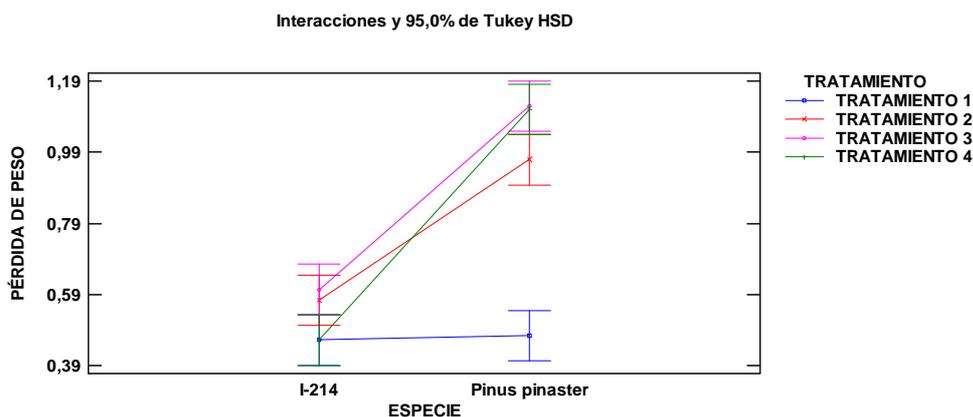


Figura 5.34. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable pérdida de peso por especie

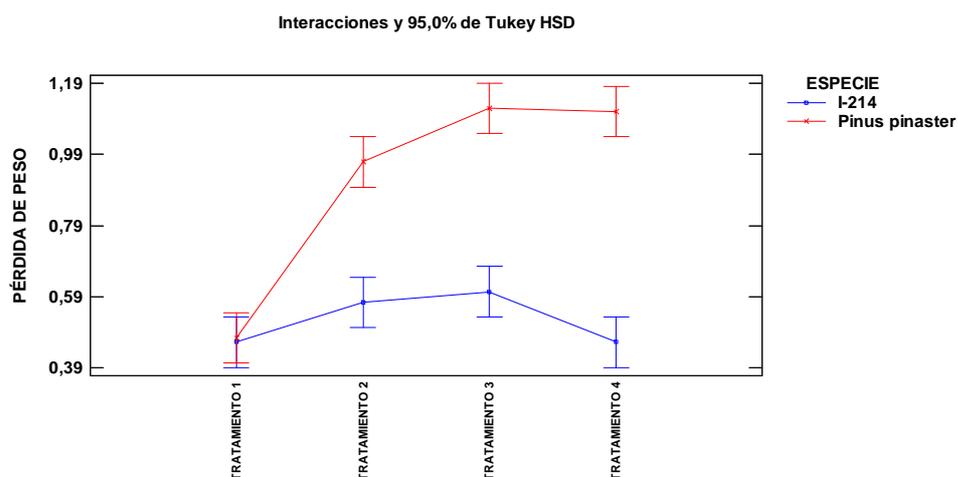


Figura 5.35. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable pérdida de peso por tratamiento

5.2.4. Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% de humedad relativa.

En este apartado se realizará la comparación entre la variable Humedad tras tratamiento con sales de Acetato potásico al 23% de humedad relativa de las probetas entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.29., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores (especie y tratamiento), que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad al 23% con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.29. Análisis de la varianza para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% Hr

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	8,1397	1	8,1396	10,42	0,0017
B: Tratamiento	77,7691	9	8,6410	11,06	0,0000
INTERACCIONES					
AB	9,7469	9	1,083	1,39	0,2044
RESIDUOS	77,3312	99	0,7811		
TOTAL (CORREGIDO)	173,103	118			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-

significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable Humedad al 23% entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa. En la Tabla 5.30., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.30. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	59	5,4317	0,1152	A
Pinus pinaster	60	5,9552	0,1141	B

A continuación en la Figura 5.36., se observa gráficamente los dos grupos que arroja la tabla anterior. Fácilmente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la humedad al 23% en el *Pinus pinaster* más elevada, que para el caso de la especie *Populus x euramericana*.

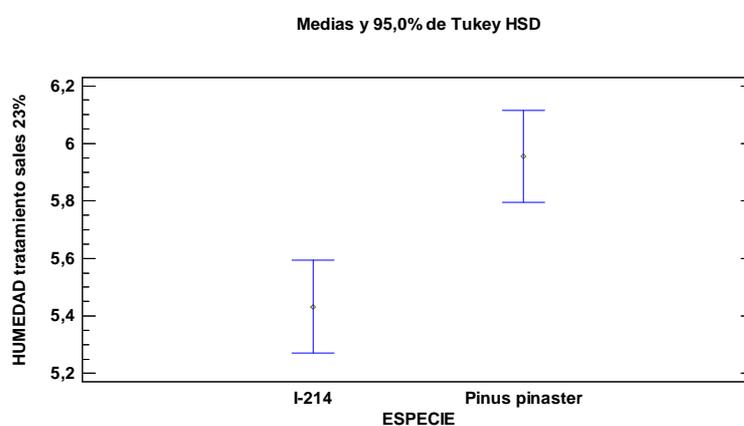


Figura 5.36. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por especies

- **Comparación variable Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.31., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cinco grupos diferentes. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos de Oleotermia 4 y 3, y Termotratamientos 2 y 4, son significativamente iguales. Sin embargo el tratamiento de Oleotermia 5, es significativamente al resto de tratamientos.

Tabla 5.31. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable Humedad al 23% por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 4	12	4,734	0,2551	A
Oleotermia 3	12	4,785	0,2551	A
Tratamiento 4	12	4,823	0,2551	A
Tratamiento 2	12	5,024	0,2551	A
Tratamiento 3	12	5,486	0,2551	AB
Tratamiento 1	12	5,711	0,2551	ABC
Oleotermia 2	12	6,201	0,2551	BC
Oleotermia 1	12	6,569	0,2551	BC
Oleotermia 5	12	6,747	0,2551	C
Testigo	12	6,855	0,2551	C

En la Figura 5.37., se observa gráficamente la tabla anterior. Claramente podemos ver que con los tratamientos de Oleotermia 3 y 4 se obtienen valores medios en la variable de estudio más bajas que aplicando el resto de los tratamientos.

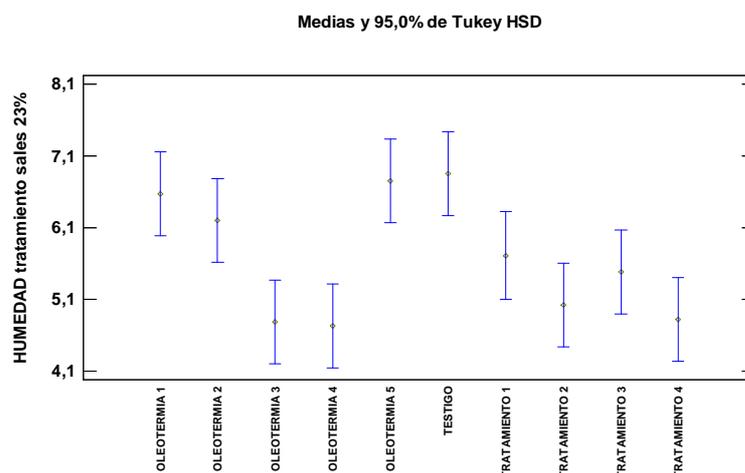


Figura 5.37. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr entre tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.29. en las interacciones, resulta ser $p > 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que no existe interacción entre las especies y los distintos tratamientos. De la misma forma, la Figura 5.38., y 5.39. nos llevan a la misma conclusión:

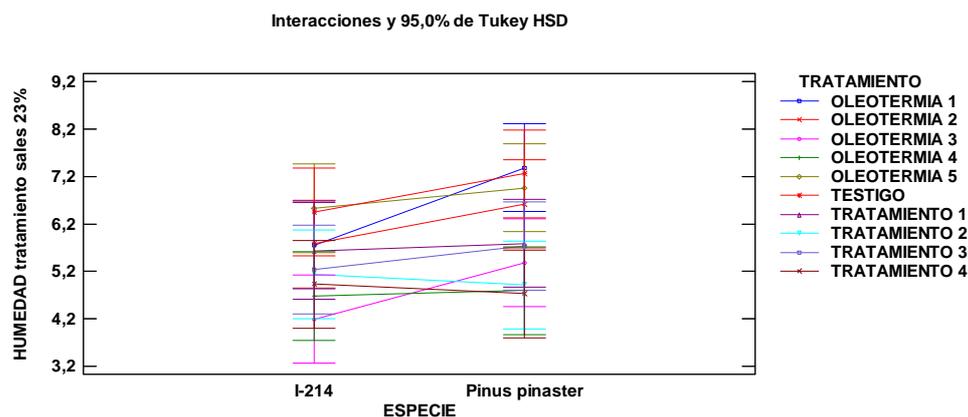


Figura 5.38. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por especies

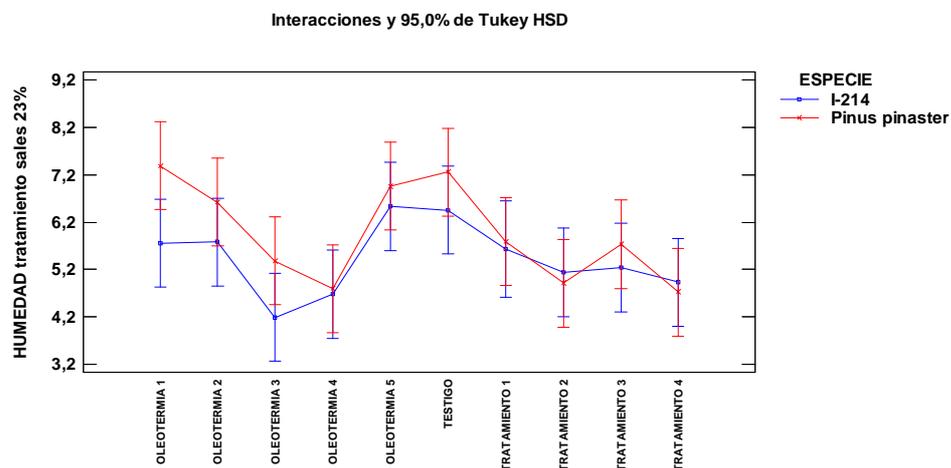


Figura 5.39. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 23% de Hr por tratamiento

5.2.5. Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 52% de humedad relativa.

En este apartado se realizará la comparación entre la variable Humedad tras el tratamiento con sales de Nitrato magnésico al 52% de humedad relativa entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.32., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.32. Análisis de la varianza para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	7,1643	1	7,1643	4,49	0,0365
B: Tratamiento	159,374	9	17,7083	11,11	0,0000
INTERACCIONES					
AB	69,888	9	7,7653	4,87	0,0000
RESIDUOS	159,424	100	1,5942		
TOTAL (CORREGIDO)	395,85	119			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa. En la Tabla 5.33., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.33. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	60	7,7405	0,1630	A
Pinus pinaster	60	8,2292	0,1630	B

A continuación en la Figura 5.40., se observa gráficamente los dos grupos que desvela la tabla anterior para las especies. De manera sencilla, se pueden diferenciar los dos grupos, siendo los datos medios para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa en el *Pinus pinaster* más elevada, que para el *Populus x euramericana*.

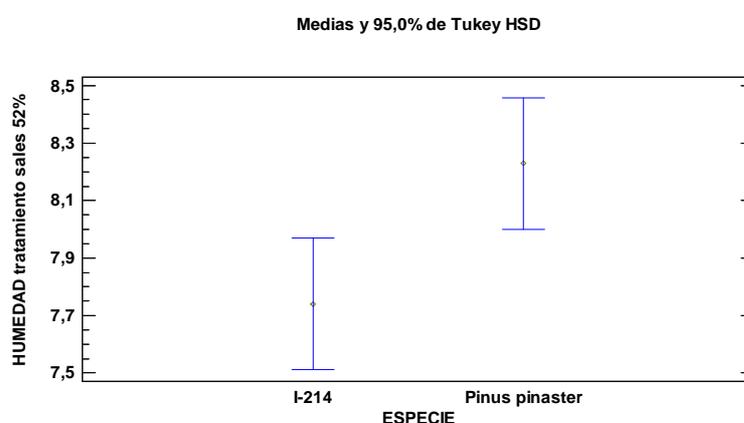


Figura 5.40. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% de la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por especies

- **Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 52% de humedad relativa entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.34., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen siete grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos de Termotratamiento 3 (180°C) y 4 (180°C, lijado y pincelado), son significativamente iguales. Sin embargo el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), es significativamente al resto de tratamientos.

Tabla 5.34. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 4	12	6,096	0,3645	A
Oleotermia 3	12	6,4887	0,3645	AB
Tratamiento 3	12	7,1987	0,3645	ABC
Tratamiento 4	12	7,3637	0,3645	ABC
Tratamiento 2	12	7,9284	0,3645	BCD
Oleotermia 2	12	8,2158	0,3645	CDE
Tratamiento 1	12	8,2782	0,3645	CDE
Oleotermia 5	12	9,226	0,3645	DE
Oleotermia 1	12	9,394	0,3645	DE
Testigo	12	9,6589	0,3645	E

En la Figura 5.41., se observa gráficamente la tabla anterior. Claramente podemos ver que con la aplicación de los tratamientos de Oleotermia 4 y 3 se obtienen valores de la variable de estudio más bajas que en el resto de los tratamientos aplicados.

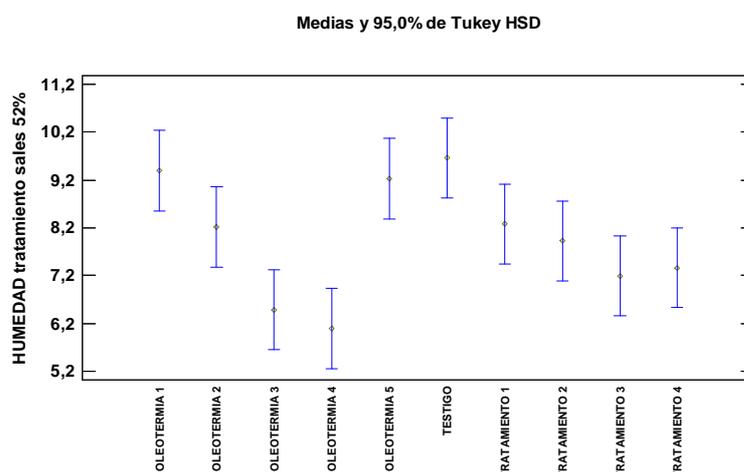


Figura 5.41. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% de la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 52% de humedad relativa**

En cuanto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.32. en las interacciones, resulta ser menor de $p < 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que existe una interacción entre los factores de estudio. En la siguiente Figura 5.42., podemos ver con claridad la interacción entre especies para distintos tratamientos. De la misma forma, la Figura 5.43. nos lleva a la misma conclusión:

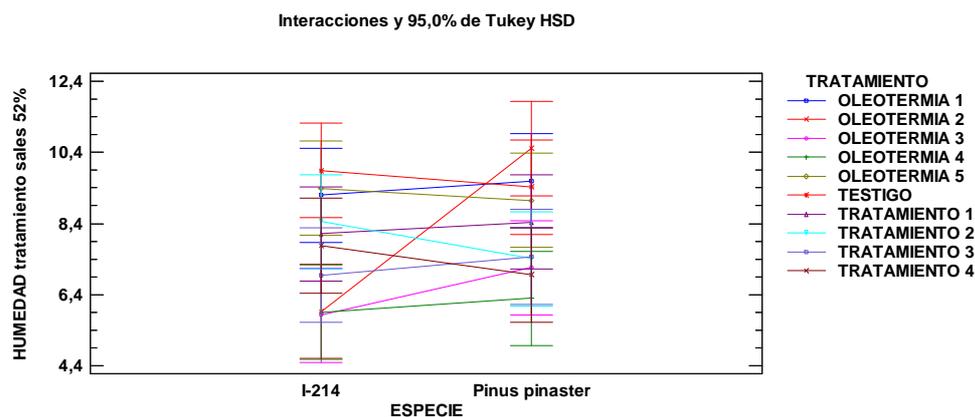


Figura 5.42. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% de la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por especies

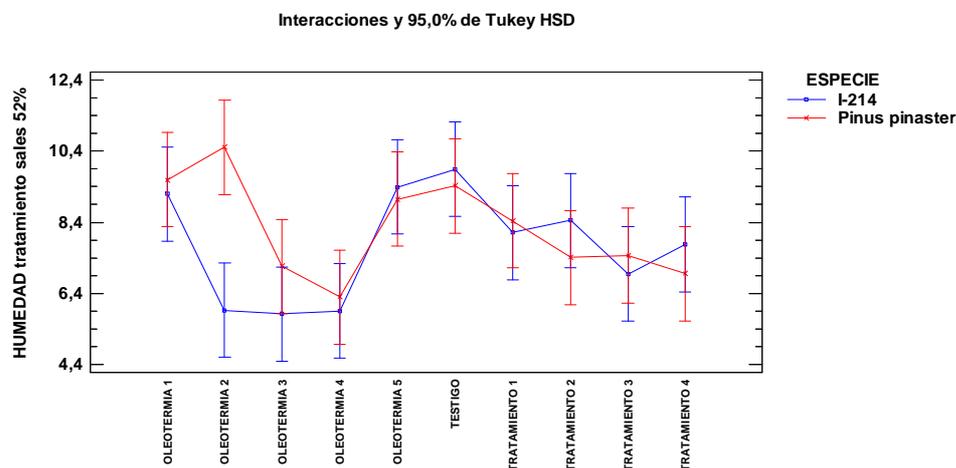


Figura 5.43. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% de la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr por tratamientos

5.2.6. Comparación variable dureza media

A continuación se realizará la comparación entre la variable dureza media entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.35., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que los factores de especie y tratamiento tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza media con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.35. Análisis de la varianza para la variable dureza media

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	7903,88	1	7903,88	283,62	0,0000
B: Tratamiento	665,773	9	73,9748	2,65	0,0084
INTERACCIONES					
AB	487,095	9	54,1217	1,94	0,0543
RESIDUOS	2786,76	100	27,8676		
TOTAL (CORREGIDO)	11843,5	119			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable dureza media entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable dureza media. En la Tabla 5.36., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas especies se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la dureza media para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.36. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable dureza media por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Pinus pinaster	60	3,2339	0,6815	A
I- 214	60	19,4655	0,6815	B

A continuación en la Figura 5.44., se observan los dos grupos que desvela la tabla anterior de forma gráfica. Se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la dureza media en el *Populus x euramericana* más elevada, que para el *Pinus pinaster*, esto es debido a la falta de datos para el caso del pino en la toma de datos.

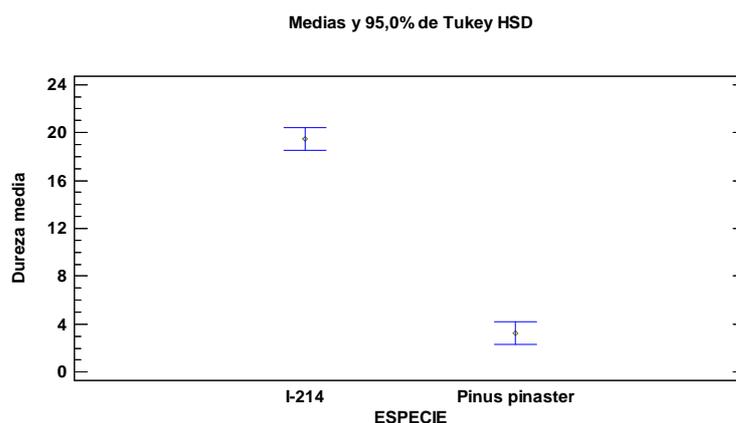


Figura 5.44. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la dureza media por especies

- **Comparación variable dureza media entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable dureza media entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.37., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen tres grupos diferentes. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre sí. De tal manera que los tratamientos de Termotratamiento 4, 3, 2, 1, y Oleotermia 1, 2 y 3, son significativamente iguales. Sin embargo, los tratamientos de Oleotermia 4 y 5 son significativamente al resto de tratamientos.

Tabla 5.37. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable dureza media por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 4	12	8,2838	1,5239	A
Tratamiento 4	12	9,1293	1,5239	AB
Tratamiento 3	12	9,3857	1,5239	AB
Tratamiento 2	12	9,5851	1,5239	AB
Tratamiento 1	12	10,7721	1,5239	AB
Oleotermia 2	12	11,09	1,5239	AB
Testigo	12	11,5556	1,5239	AB
Oleotermia 1	12	13,5687	1,5239	AB
Oleotermia 3	12	14,2796	1,5239	AB
Oleotermia 5	12	15,8473	1,5239	B

En la Figura 5.45., se observa gráficamente la tabla anterior. Podemos observar que con el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), se obtiene la dureza media más baja que con el resto de los tratamientos. Mientras que con la aplicación del tratamiento de Oleotermia 5, el mayor valor.

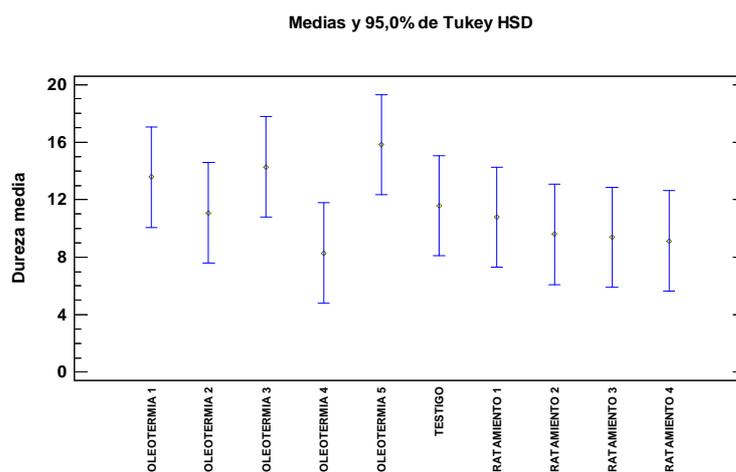


Figura 5.45. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable Dureza media por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable dureza media**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.35. en las interacciones, resulta ser de $p > 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que no existe una interacción entre los factores de estudio. En la siguiente Figura 5.46., podemos ver con claridad este hecho de forma gráfica, y de la misma forma pero para los tratamientos en la Figura 5.47.:

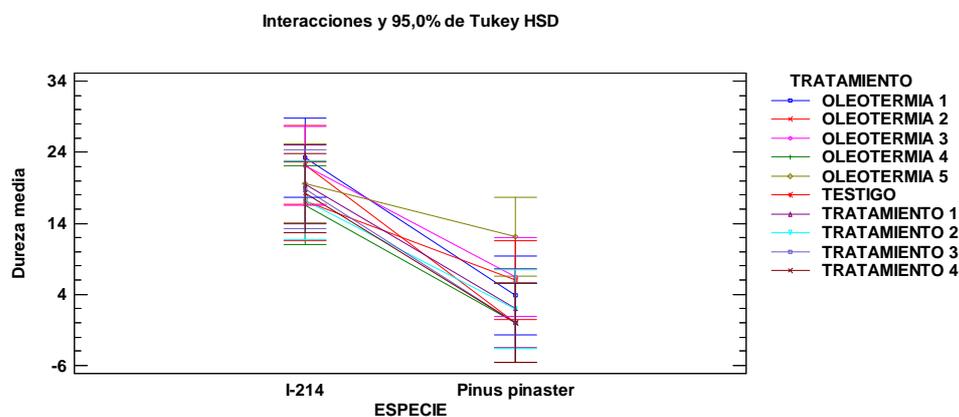


Figura 5.46. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable dureza media por especies

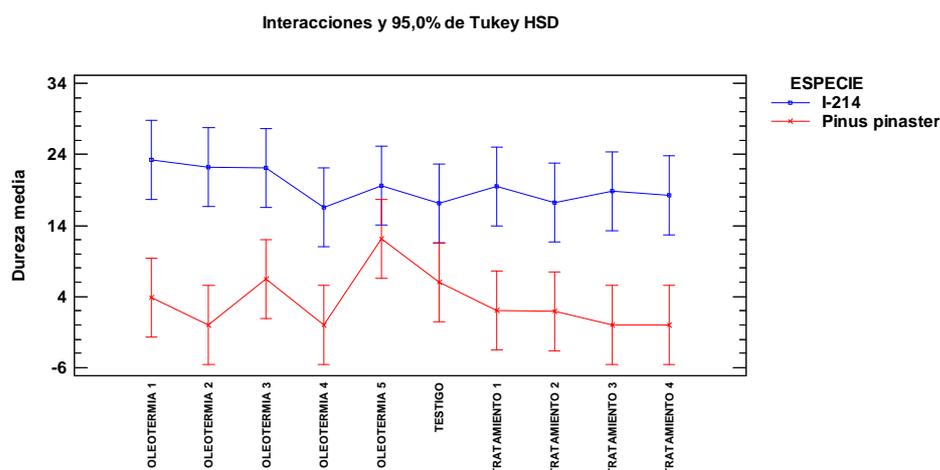


Figura 5.47. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable dureza media por tratamientos

5.2.7. Comparación variable Contracción volumétrica

En este apartado se realizará la comparación entre la variable Contracción volumétrica entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre estas especies y sus tratamientos.

En la Tabla 5.38., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie es menor de 0,05, se puede decir que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la Contracción volumétrica con un 95% de nivel de confianza. Sin embargo el Valor-P para el factor tratamiento, por el contrario, es mayor que 0,05, no teniendo un efecto significativo sobre la Contracción volumétrica.

Tabla 5.38. Análisis de la varianza para la variable Contracción volumétrica

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	81,5879	1	81,5879	11,44	0,0010
B: Tratamiento	102,417	9	11,3796	1,60	0,1231
INTERACCIONES					
AB	72,283	9	8,0314	1,13	0,3491
RESIDUOS	912,863	128	7,1317		
TOTAL (CORREGIDO)	1181,51	147			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable contracción volumétrica entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción volumétrica. En la Tabla 5.39., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la contracción volumétrica para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.39. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción volumétrica por especies

<i>Especie</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Pinus pinaster	60	7,7412	0,3404	A
I- 214	60	9,3695	0,3404	B

A continuación en la Figura 5.48., se observa gráficamente los dos grupos que la tabla anterior nos muestra, siendo la Contracción volumétrica en el caso de la especie *Populus x euramericana* más elevada, que en el caso de la especie *Pinus pinaster*.

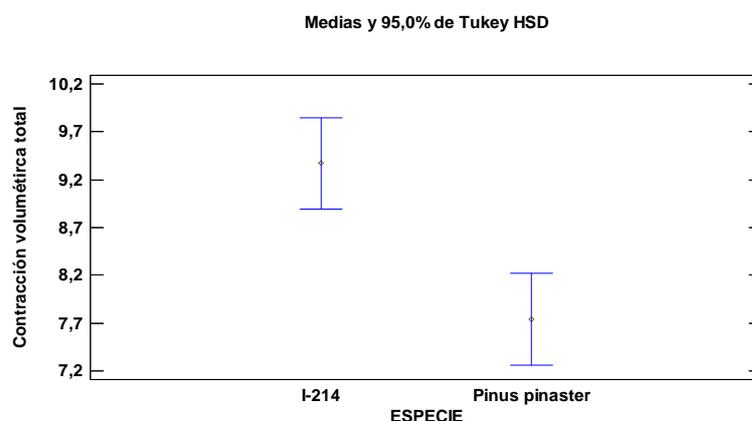


Figura 5.48. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por especie

- **Comparación variable contracción volumétrica entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción volumétrica entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.40., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtiene un único grupo. Al pertenecer al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Tabla 5.40. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción volumétrica por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 4	16	7,1094	0,6676	A
Oleotermia 4	16	7,2839	0,6676	A
Tratamiento 1	16	7,7808	0,6676	A
Oleotermia 3	16	8,1461	0,6676	A
Tratamiento 2	16	8,3902	0,6676	A
Oleotermia 2	16	8,6912	0,6676	A
Oleotermia 5	16	8,9125	0,6676	A
Oleotermia 1	16	9,0278	0,6676	A
Tratamiento 3	16	9,0409	0,6676	A
Testigo	4	11,1708	1,3353	A

En la Figura 5.49., se muestra la tabla anterior de forma gráfica. Los menores datos medios de contracción volumétrica son los tratamientos de Oleotermia 4 y Termotratamiento 4.

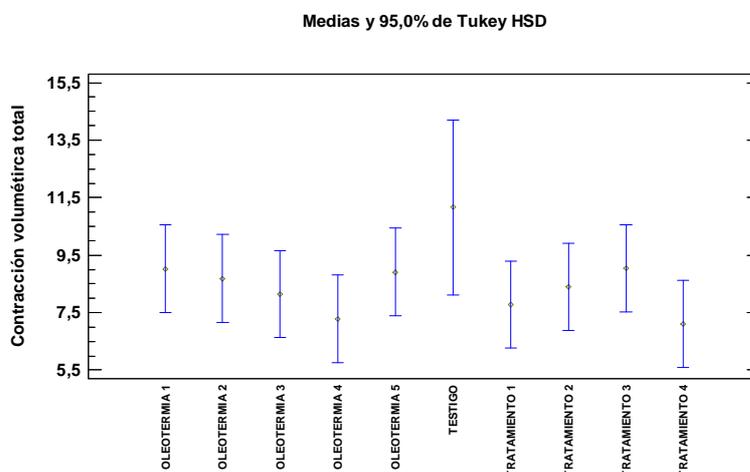


Figura 5.49. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por tratamiento

- **Interacción especie - tratamiento para la variable contracción volumétrica**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.38. en las interacciones, resulta ser menor de $p > 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que no existe una interacción entre los factores de estudio. En la siguientes Figura 5.50. y 5.51, podemos ver lo que de manera numérica aparece en las tablas.

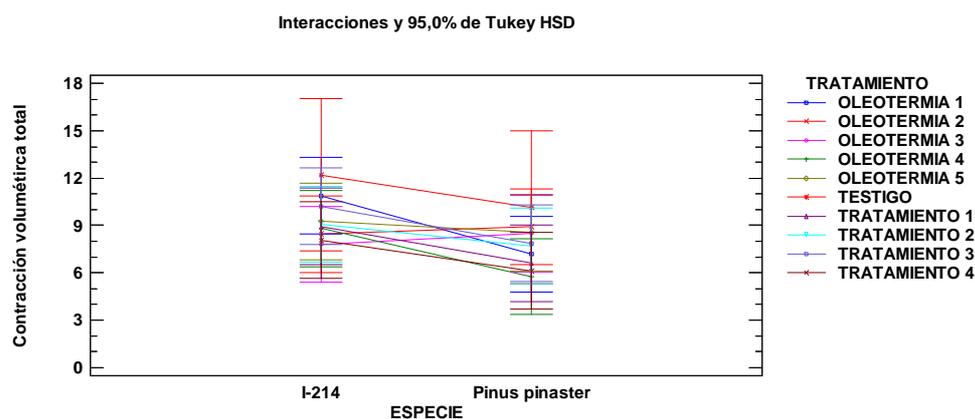


Figura 5.50. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por especie

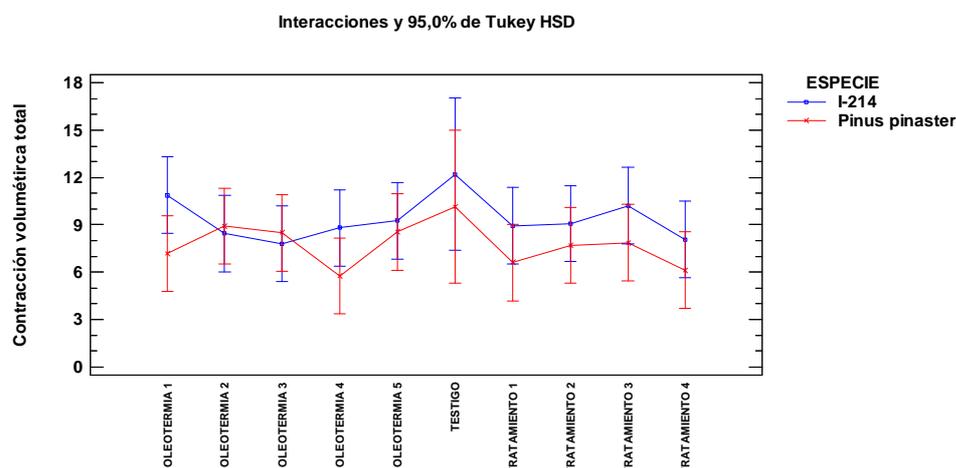


Figura 5.51. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable contracción volumétrica por tratamiento

5.2.8. Comparación variable Coeficiente de Contracción Volumétrica

A continuación se realizará la comparación entre la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre las distintas especies y tratamientos.

En la Tabla 5.41., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es mayor de 0,05, se puede decir que este factor no posee un efecto estadísticamente significativo sobre la variable coeficiente de contracción volumétrica con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.41. Análisis de la varianza para la variable Coeficiente de contracción volumétrica

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	0,3698	1	0,3698	3,55	0,0620
B: Tratamiento	1,1069	9	0,1229	1,18	0,3136
INTERACCIONES					
AB	1,2576	9	0,1397	1,34	0,2227
RESIDUOS	13,3482	128	0,1043		
TOTAL (CORREGIDO)	16,1505	147			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable coeficiente de contracción volumétrica entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable coeficiente de contracción volumétrica. En la Tabla 5.42., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen un único grupo. Se puede decir que el comportamiento de la variable coeficiente de contracción volumétrica para las distintas especies no es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.42. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable coeficiente de contracción volumétrica por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Pinus pinaster	74	0,3525	0,0412	A
I- 214	74	0,4621	0,0412	A

A continuación en la Figura 5.52., se observa gráficamente que no existe diferencia significativa entre especies. El coeficiente de contracción volumétrica en el *Pinus pinaster* es menor, y más elevada para la especie *Populus x euramericana*.

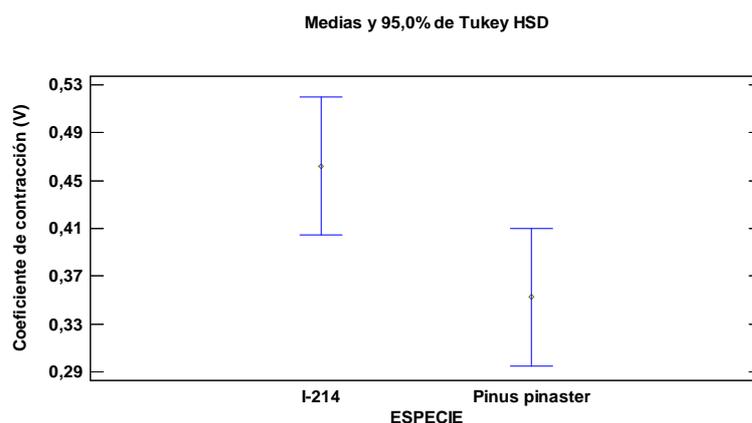


Figura 5.52. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable coeficiente de contracción volumétrica por especies

- **Comparación variable coeficiente de contracción volumétrica entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable coeficiente de contracción volumétrica entre tratamientos queda reflejada en la siguiente Tabla 5.43., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen un único grupo homogéneos donde no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Tabla 5.43. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable coeficiente de contracción volumétrica por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 4	16	0,2837	0,0807	A
Tratamiento 4	16	0,3119	0,0807	A
Oleotermia 2	16	0,3344	0,0807	A
Testigo	4	0,36	0,1615	A
Tratamiento 1	16	0,3813	0,0807	A
Oleotermia 1	16	0,4194	0,0807	A
Oleotermia 5	16	0,4331	0,0807	A
Tratamiento 3	16	0,4912	0,0807	A
Tratamiento 2	16	0,5081	0,0807	A
Oleotermia 3	16	0,55	0,0807	A

En la Figura 5.53., se observa gráficamente la tabla anterior, donde se aprecia de forma gráfica que los distintos tratamientos no diferencian entre sí de forma significativa.

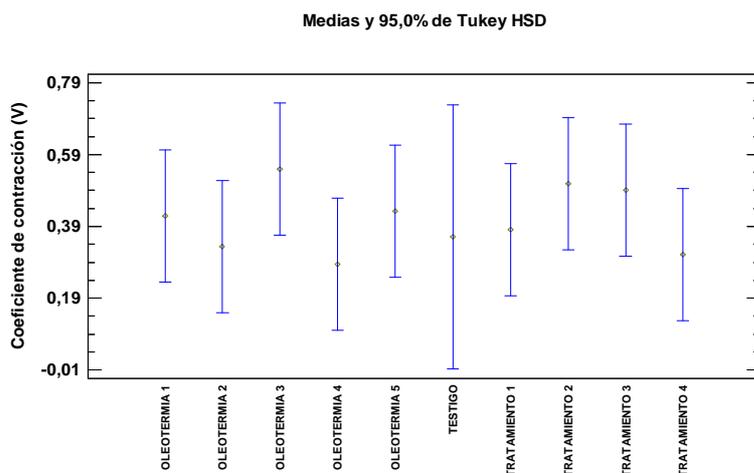


Figura 5.53. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para variable coeficiente de contracción volumétrica por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable coeficiente de contracción volumétrica**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.41. en las interacciones, resulta ser mayor que 0,05, por lo tanto podemos afirmar que no existe una interacción entre los factores de estudio. Las siguientes figuras muestran esta conclusión de forma gráfica:

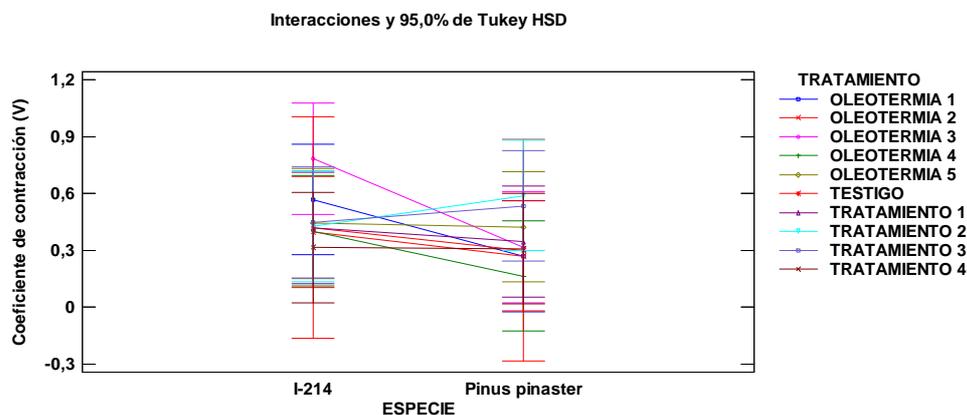


Figura 5.54. Gráfico de interacción Turkey HSD al 95% de la variable coeficiente de contracción volumétrica por especies

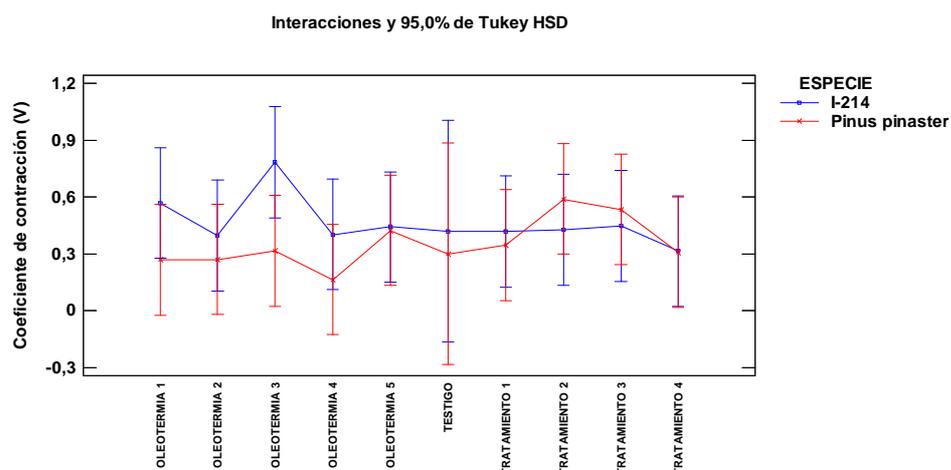


Figura 5.55. Gráfico de interacción Turkey HSD al 95% para la variable coeficiente de contracción volumétrica por tratamientos

5.2.9. Comparación variable contracción lineal longitudinal

En este apartado se realizará la comparación entre la variable contracción lineal longitudinal entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.44., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de ellos. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que ambos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la contracción lineal longitudinal con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.44. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal longitudinal

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	7,9468	1	7,9468	26,78	0,0000
B: Tratamiento	9,9392	9	1,1044	3,72	0,0004
INTERACCIONES					
AB	6,7367	9	0,7485	2,52	0,0108
RESIDUOS	37,9871	128	0,2968		
TOTAL (CORREGIDO)	63,2125	147			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable contracción lineal longitudinal entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción lineal longitudinal. En la Tabla 5.45., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos distintos. Se puede decir que el comportamiento de la contracción lineal longitudinal para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.45. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal longitudinal por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	74	0,3302	0,0695	A
Pinus pinaster	74	0,8384	0,0695	B

A continuación en la Figura 5.56., se observa gráficamente los dos grupos que adelanta la tabla anterior. Fácilmente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la contracción lineal longitudinal en el *Pinus pinaster* más elevada que para el caso de la especie *Populus x euramericana*.

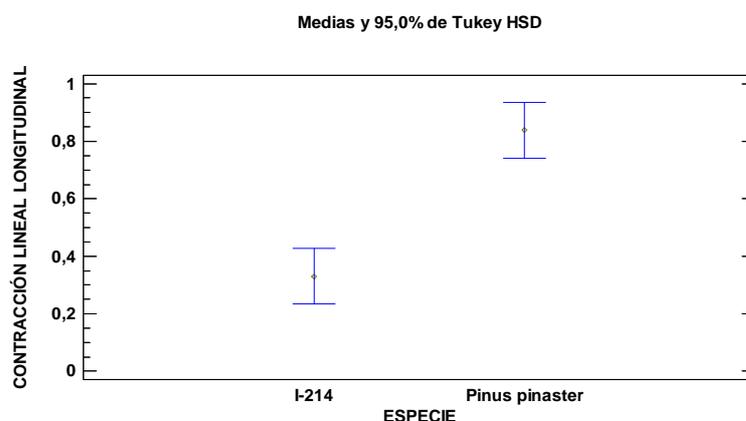


Figura 5.56. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por especies

- **Comparación variable contracción lineal longitudinal entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable densidad entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.46., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cinco grupos homogéneos distintos. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los

tratamientos de Termotratamiento 1, 2, 3, 4, son significativamente iguales. Sin embargo el tratamiento de Oleotermia 4, es significativamente diferente al resto de tratamientos.

Tabla 5.46. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Oleotermia 4	16	0,0728	0,1362	A
Oleotermia 3	16	0,3013	0,1362	AB
Testigo	4	0,4237	0,2724	ABC
Tratamiento 1	16	0,4709	0,1362	ABC
Tratamiento 4	16	0,6294	0,1362	ABC
Tratamiento 2	16	0,6802	0,1362	ABC
Tratamiento 3	16	0,6884	0,1362	ABC
Oleotermia 1	16	0,7858	0,1362	BC
Oleotermia 5	16	0,8408	0,1362	BC
Oleotermia 2	16	0,9495	0,1362	C

En la Figura 5.57., se observa gráficamente los datos de la tabla anterior. Se puede ver que con los tratamientos de Oleotermia 4 y 3, se obtienen valores medios para esta variable de estudio más bajas que con la aplicación del resto de los tratamientos.

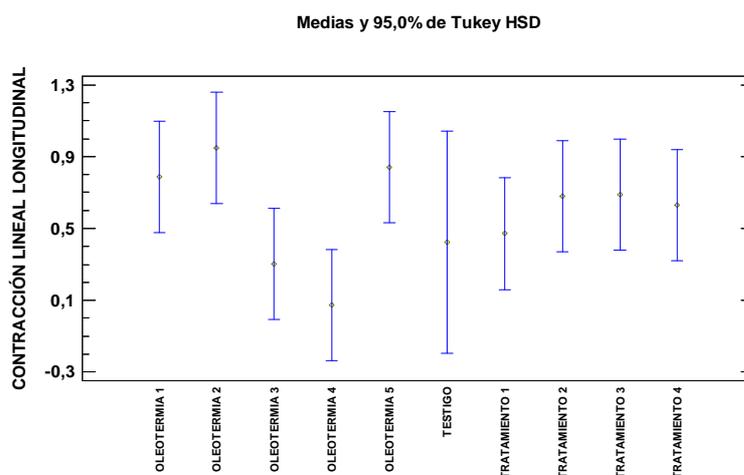


Figura 5.57. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos

- **Interacción especie - tratamiento para la variable contracción lineal longitudinal**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.44. en las interacciones, resulta ser menor de $p < 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que existe

una interacción entre los factores de estudio para esta variable. Las siguientes figuras muestran ésta conclusión:

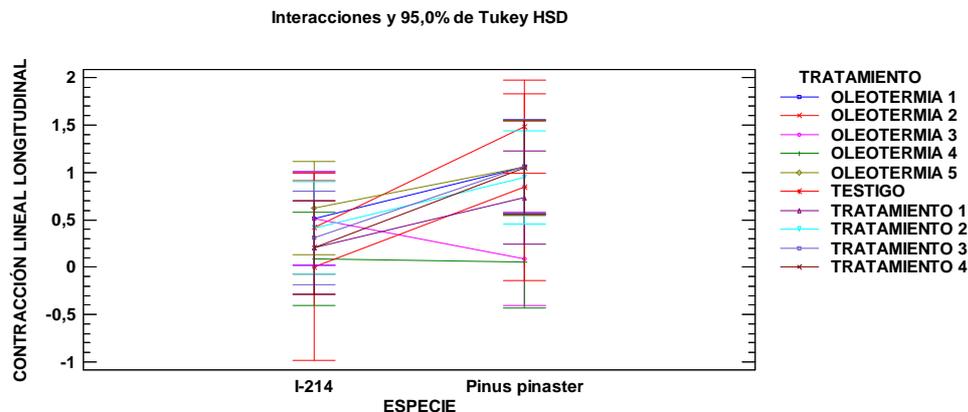


Figura 5.58. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por especies

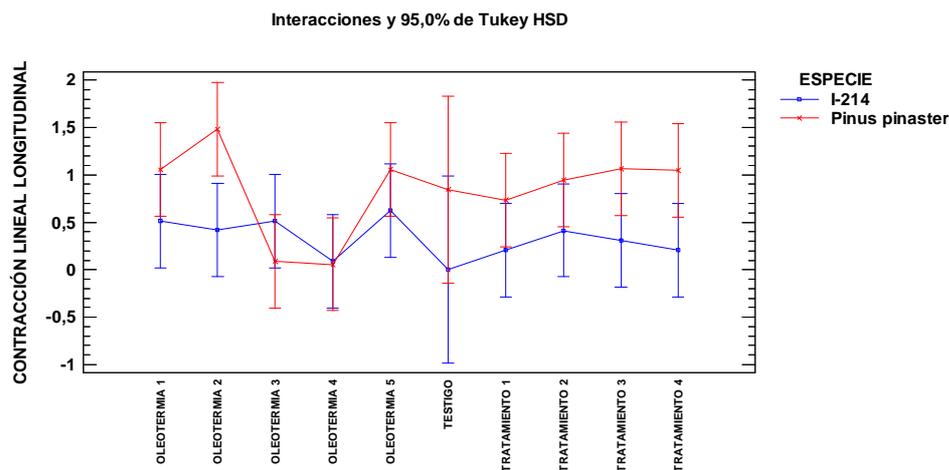


Figura 5.59. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal longitudinal por tratamientos

5.2.10. Comparación variable contracción lineal radial

En este apartado se realizará la comparación entre la variable contracción lineal radial entre especies, y entre tratamientos.

En la Tabla 5.47., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie es menor de 0,05, se puede decir que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la contracción lineal radial con un

95% de nivel de confianza. Por otro lado el factor tratamiento el Valor-P es mayor que 0,05, por lo que podemos afirmar que éste factor no ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de estudio con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.47. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal radial

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	56,5893	1	56,5893	14,41	0,0003
B: Tratamiento	46,577	9	5,1752	1,32	0,2416
RESIDUOS	306,363	78	3,9277		
TOTAL (CORREGIDO)	421,624	88			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable contracción lineal radial entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción lineal radial. En la Tabla 5.48., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la contracción lineal radial para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.48. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal radial media por especie

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Pinus pinaster	42	3,5160	0,3476	A
I -214	47	5,1661	0,3566	B

A continuación en la Figura 5.60., se observa gráficamente los dos grupos que desvela la tabla anterior de forma gráfica. Fácilmente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo la contracción lineal radial en el *Pinus pinaster* menor, que para el *Populus x euramericana*.

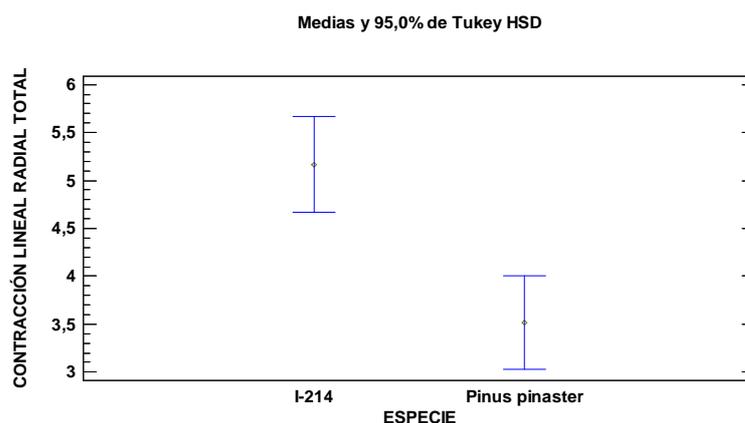


Figura 5.60. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal radial por especie

- **Comparación variable contracción radial entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción radial entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.49., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen un grupo único. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, todos los tratamientos, son significativamente iguales.

Tabla 5.49. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción radial por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 4	9	2,9051	0,6611	A
Tratamiento 1	12	3,3812	0,5721	A
Oleotermia 4	7	3,7283	0,7497	A
Oleotermia 5	7	4,0997	0,7548	A
Oleotermia 3	11	4,3486	0,5979	A
Tratamiento 3	11	4,3582	0,6005	A
Tratamiento 2	11	4,5169	0,6005	A
Oleotermia 2	10	4,9272	0,6267	A
Oleotermia 1	10	5,3204	0,6327	A
Testigo	1	5,8251	1,9937	A

En la Figura 5.61., se observa gráficamente la tabla anterior. Claramente podemos ver que todos los tratameintos se comportan igual en cuanto a esta variable.

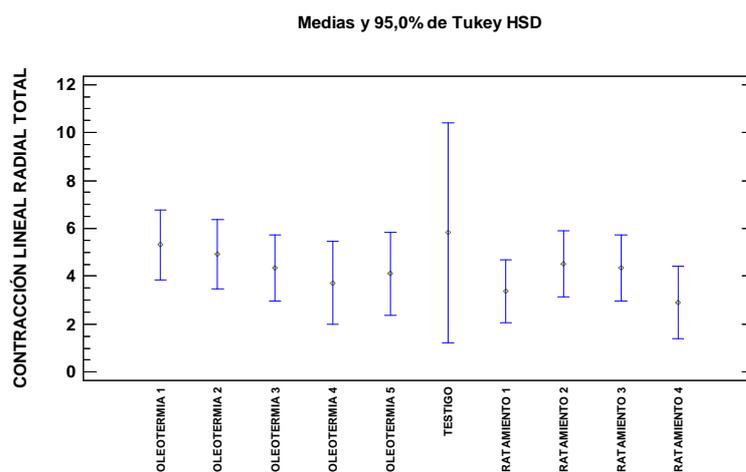


Figura 5.61. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal radial por tratamiento

5.2.11. Comparación variable contracción lineal tangencial

En este apartado se realizará la comparación entre la variable contracción lineal tangencial entre especies y entre tratamientos

En la Tabla 5.50., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es mayor de 0,05, se puede decir que este factor no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.50. Análisis de la varianza para la variable contracción lineal tangencial

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	0,1806	1	0,1806	0,05	0,8268
B: Tratamiento	18,5198	9	2,0578	0,05	0,8338
RESIDUOS	292,11	78	3,745		
TOTAL (CORREGIDO)	310,945	88			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados.

- **Comparación variable contracción lineal tangencial entre especies**

En este apartado se comparan las medias de las distintas especies de estudio por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable contracción lineal

tangencial. En la Tabla 5.51., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas se obtienen un único grupo diferente. Se puede decir que el comportamiento de la contracción lineal tangencial para las distintas especies es significativamente la misma entre ellas.

Tabla 5.51. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal tangencial por especie

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I -214	47	3,2384	0,3482	A
Pinus pinaster	42	3,3316	0,3394	A

A continuación en la Figura 5.62., se observa gráficamente lo comentado anteriormente.

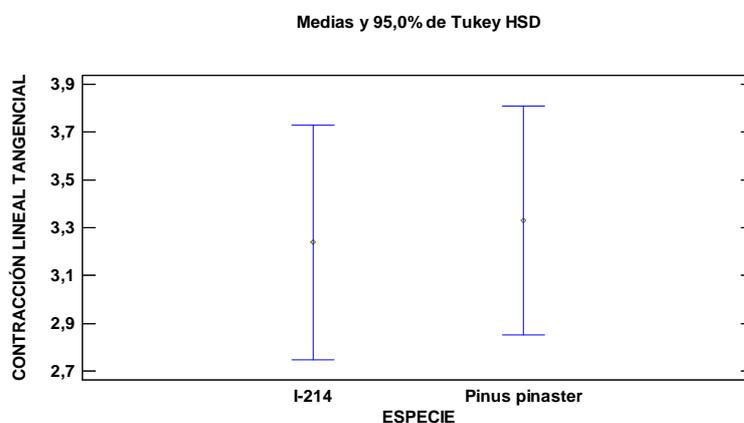


Figura 5.62. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable contracción lineal tangencial por especie

- **Comparación variable contracción lineal tangencial entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable densidad entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.52., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtiene un único grupo, por lo que al pertenecer al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Tabla 5.52. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal tangencial por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 4	9	2,5106	0,6455	A
Oleotermia 2	10	2,6296	0,6119	A
Tratamiento 2	11	2,7249	0,5863	A
Oleotermia 3	11	2,7749	0,5838	A

Tabla 5.52. (Cont.) Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable contracción lineal tangencial por tratamientos

Oleotermia 4	7	2,9695	0,7321	A
Tratamiento 3	11	3,3436	0,5863	A
Oleotermia 5	7	3,4049	0,7371	A
Tratamiento 1	12	3,4709	0,5586	A
Oleotermia 1	10	3,5118	0,6178	A
Testigo	1	5,5089	1,9468	A

En la Figura 5.63., se observa gráficamente lo comentado anteriormente.

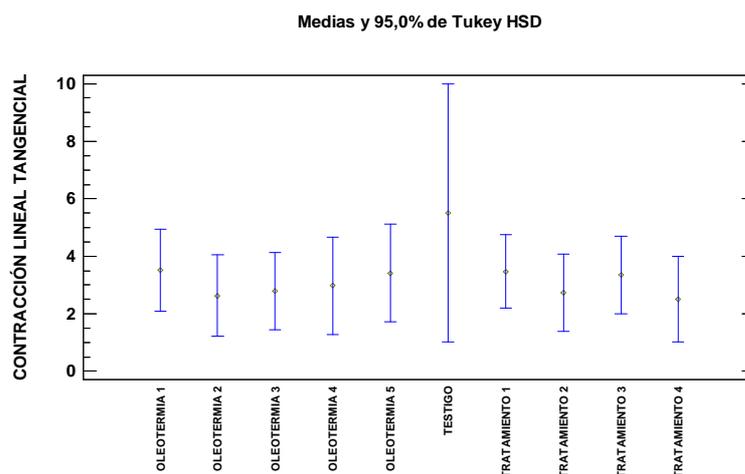


Figura 5.63. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable contracción lineal tangencial por tratamiento

5.2.12. Comparación variable Higroscopicidad

A continuación se analizará la comparación de la variable Higroscopicidad entre especies, entre tratamientos y además la interacción que existe entre especies y tratamientos.

En la Tabla 5.53., se pueden observar el Valor-P para los diferentes factores estudiados, que prueban la significación estadística de cada uno de los factores. Como el Valor-P para el factor especie y el factor tratamiento es menor de 0,05, se puede decir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la Higroscopicidad de las probetas con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 5.53. Análisis de la varianza para la variable Higroscopicidad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	121,582	1	121,582	48,92	0,0000
B: Tratamiento	45,3577	9	5,0398	2,03	0,0413
INTERACCIONES					
AB	25,1856	9	2,7984	1,13	0,3493
RESIDUOS	315,645	127	2,4854		
TOTAL (CORREGIDO)	534,671	146			

El método empleado para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras es el test de comparaciones múltiples Test HSD (Honestly-significant-difference) de Turkey. Por lo tanto, compararemos las medias entre especies y las medias entre los tratamientos de estudio aplicados

- **Comparación variable Higroscopicidad entre especies**

En este apartado se comparan las medias del *Pinus pinaster* y el *Populus x euramericana* por medio de la prueba de Rangos Múltiple para la variable Higroscopicidad. En la Tabla 5.54., se pueden ver los datos obtenidos, donde comparando las medias entre las distintas especies se obtienen dos grupos diferentes. Se puede decir que el comportamiento de la Higroscopicidad para las distintas especies es significativamente diferente entre ellas.

Tabla 5.54. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable Higroscopicidad por especies

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I- 214	74	2,0416	0,2009	A
Pinus pinaster	73	4,0349	0,2021	B

A continuación en la Figura 5.64., se observan los dos grupos que desvela la tabla anterior de forma gráfica. Fácilmente se pueden diferenciar los dos grupos, siendo los datos medios más altos de Higroscopicidad para la especie *Pinus pinaster*, que para el *Populus x euramericana*.

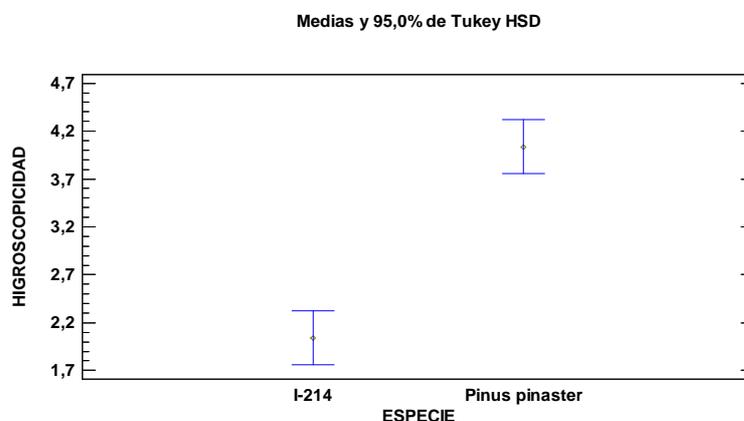


Figura 5.64. Gráfico de medias e intervalos Turkey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por especie

- **Comparación variable Higroscopicidad entre tratamientos**

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Higroscopicidad entre tratamientos queda reflejada en la Tabla 5.55., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen tres grupos diferentes. Aquellos que pertenecen al

mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas. Así, los tratamientos de Oleotermia 1, 2, 3, 5, y Termotratamientos 1 y 3, son significativamente iguales. Sin embargo el Termotratamiento 2, es significativamente diferente al resto de tratamientos.

Tabla 5.55. Prueba de Rangos Múltiple Turkey HSD para la variable higroscopicidad por tratamientos

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tratamiento 2	16	2,2575	0,3941	A
Oleotermia 3	16	2,41	0,3941	AB
Oleotermia 5	16	2,6425	0,3941	AB
Tratamiento 1	16	2,8731	0,3941	AB
Tratamiento 3	15	2,9769	0,4079	AB
Testigo	4	3,055	0,7883	AB
Oleotermia 1	16	3,1219	0,3941	AB
Tratamiento 4	16	3,3687	0,3941	AB
Oleotermia 2	16	3,4875	0,3941	AB
Oleotermia 4	16	4,1894	0,3941	B

En la Figura 5.65., se observa gráficamente la tabla anterior. De forma clara se aprecia que el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C) posee valores medios significativamente más altos que el resto de los tratamientos aplicados.

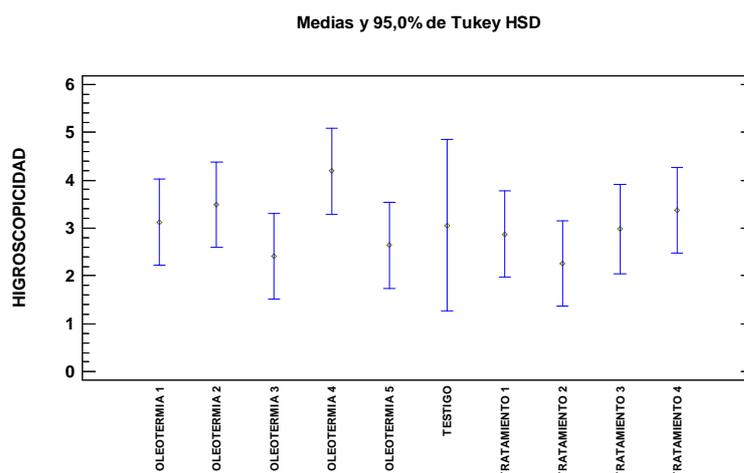


Figura 5.65. Gráfico de medias e intervalos Tukey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por tratamiento

- **Interacción especie - tratamiento para la variable Higroscopicidad**

Respecto a las interacciones que existen entre los distintos tratamientos y las especies, podemos comentar que el Valor-P obtenido de la Tabla 5.53. en las interacciones, es $p > 0.05$, por lo tanto podemos afirmar que no existe una interacción entre los factores de estudio. De la misma forma, en las Figuras 5.66. y 5.67. se alcanza a la misma conclusión:

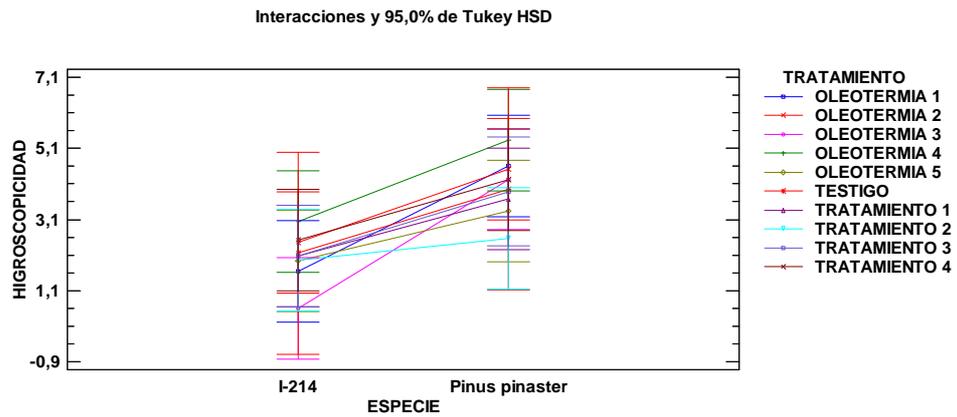


Figura 5.66. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por especie

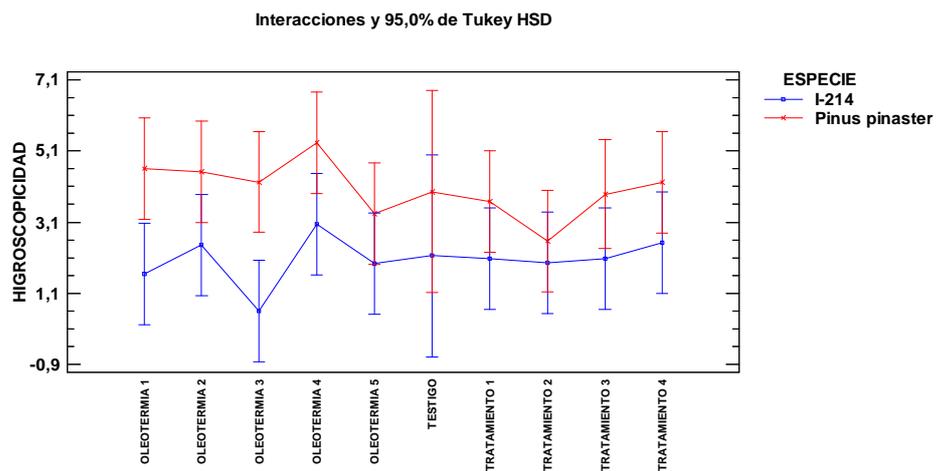


Figura 5.67. Gráfico de interacciones Turkey HSD al 95% para la variable higroscopicidad por tratamiento

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

A continuación se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos en el presente estudio. Es conveniente destacar, que debido a la heterogeneidad del material y el reducido número de probetas de ensayo para cada tratamiento, los datos presentados se tomen de manera cautelosa y con precaución.

En cuanto los objetivos planteados en este estudio, las conclusiones obtenidas son las que presentamos a continuación.

En primer lugar, respecto a los datos recogidos sobre la variación de **densidad** al aplicar los distintos tratamientos en las distintas probetas y en ambas especies, demuestran que tanto para los Termotratamientos como para la Oleotermia, al aumentar la temperatura la densidad disminuye, siendo además el comportamiento de ésta en ambas especies significativamente diferente. El tratamiento que peores resultados ofrece de densidad es el Termotratamiento 3 (180°C durante 45 minutos).

Los valores medios de **absorción de producto** más altos en el caso de *Pinus pinaster* se obtuvieron al aplicar el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado) y Oleotermia 3 (140°C). En el caso de la especie *Populus x euramericana* el tratamiento de Oleotermia 3 también resulta ser muy efectivo suponiendo un aumento del 45,5% del peso inicial. La absorción de producto se comporta estadísticamente diferente entre las dos especies, siendo el chopo la que mayores valores alcanza. El tratamiento con mejores resultados para las dos especies de estudio es la Oleotermia 3, estadísticamente diferente al resto de los tratamientos.

En el caso de la **pérdida de peso**, la aplicación del Termotratamiento 3 (180°C) para ambas especies es el que produce mayores pérdidas de peso en la madera, siendo éste comportamiento significativamente diferente entre las especies. El tratamiento que produce, menores pérdidas de peso en ambas especies es el Termotratamiento 1 (120°C), siendo este termotratamiento el de menor temperatura de todos los aplicados.

De forma general para las humedades tras los **tratamientos con sales al 23% y al 52%** los datos obtenidos muestran que los tratamientos más livianos como Oleotermia 1 (pincelado), Oleotermia 2 (20°C) o Oleotermia 5 (Teca), son los que aportan menos protección a las maderas y alcanzando mayores valores medios de humedad. Por lo tanto, podemos afirmar que los tratamientos térmicos a 120°C, 160°C y 180°C reducen la humedad de equilibrio higroscópico consiguiendo una buena estabilidad dimensional de las maderas. Las especies tienen comportamientos estadísticamente diferentes para esta variable.

Respecto a los resultados en los ensayos de **dureza** obtenemos que los tratamientos que parecen mejorar esta propiedad son aquellos que alcanzan menores

temperaturas, disminuyendo los valores de dureza según aumenta la temperatura de los tratamientos. El tratamiento que mayores valores de dureza alcanza para ambas especies es Oleotermia 5 (pincelado con aceite para teca a temperatura ambiente). Los peores resultados de dureza se han obtenido al aplicar el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C durante 45 minutos).

Las variables de estabilidad dimensional como la **contracción volumétrica total**, el **coeficiente de contracción volumétrica**, la **contracción lineal longitudinal**, la **contracción lineal radial** y la **contracción lineal tangencial** en el caso del *Pinus pinaster* de forma conjunta se puede decir que ambos tratamientos aplicados, Oleotermia y Termotratamiento disminuyen las variables, y se alcanzan menores datos medios en todas ellas con los tratamientos de más altas temperaturas de ensayo. En el caso de la especie *Populus x euramericana* se obtienen resultados muy similares, de manera general se puede decir que los tratamientos de altas temperaturas como el Termotratamiento 4 (180°C, lijado y pincelado) y Oleotermia 4 (180°C) obtienen menores datos medios para estas variables, sin embargo tratamientos más livianos como Oleotermia 1 (pincelado) y Oleotermia 2 (20°C durante 45 minutos) son los que proporciona mayores datos medios.

Por último, el comportamiento de la **higroscopicidad** frente a los tratamientos aplicados en el caso del *Pinus pinaster*, nos llevan a la conclusión que la higroscopicidad es menor en los tratamientos con temperaturas más bajas, y en los tratamientos con Oleotermia disminuye con el aumento de temperatura. Los mismos resultados podemos obtener del estudio de la higroscopicidad en la madera de *Populus x euramericana*, donde los mayores datos medios se alcanzan con el tratamiento de Oleotermia 4 (180°C), y los menores datos con Oleotermia 3 (140°C). La higroscopicidad entre las dos especies es estadísticamente diferente, y el tratamiento que mejor se comporta frente a la higroscopicidad en ambas especies es el tratamiento de Oleotermia 3, seguido por el Termotratamiento 2 (160°C durante 45 minutos).

Como conclusión final podemos afirmar que ambos tratamientos, Oleotermia y Termotratamientos, influyen en las variables de estudio actuando de forma muy similar con el aumento de temperatura en las propiedades de las variables de estabilidad dimensional y dureza.

Se considera pertinente seguir con dichos estudios, tanto en la aplicación de tratamientos con Oleotermia con aceite reciclado, ya que existen pocos estudios al respecto y concretamente con este tipo de aceite inexistentes, así como con los Termotratamientos.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA RELLO, L., CASADO SANZ, M., LÁZARO SÁNCHEZ, M^ªT., DIAZ BARRA, M.R., RELEA GANGA, E., FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA RUIZ-OCEJO, G., HERRÁEZ GARRIDO, F., BASTERRA OTERO, A., LLORENTE FERNÁNDEZ, A. RENEDO FERREIRO, F., RAMÓN CUETO, G., LÓPEZ RODRÍGUEZ, G., PENALBA DE LA TORRE, M.A., MILLÁN ORTEGA, A., DE LA FUENTE MARTÍN, RAÚL., FERNÁNDEZ ALONSO, S., BORQUE CACHO, A., REINOSO DELGADO, E.M., VECILLA GARCÍA, D. (2009). *Caracterización estructural de P. pinaster Ait. De 3 regiones de procedencia de Castilla y León*. S.E.C.F. - Junta de Castilla y León (ISBN: 978-84-936854-6-1).

Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera (AITIM). *Especies de maderas* (1997). (la guía gris, mirar el título).

AKIZUKI M., HASEMI Y., YASUI N., KINOSHITA K., YAMMAMOTO K., YOSHIDA M., TAMURA Y. & TAKEDA M. (2001). Fire safety studies in the restoration of a historic wooden townhouse in Kyoto - Fire safety experiments on Japanese traditional wood-based constructions. Proceedings, 5th AOSFST, Newcastle, Australia, 2001. Editors: M.A. Delichatsios, B.Z. Dlugogorski and E.M. Kennedy.

ARGÜELLES R., ARRIAGA F., y MARTINEZ J.J., (2000). *Estructuras de Madera. Diseño y Cálculo*. Editorial AITIM. (ISBN: 84-87381-17-0).

BAEYENS LÓPEZ, A. (1991). *Chopos para el desenrrollo*. San Francisco, SAE de Artes Gráficas Cervantes.

BAK M. & NÉMETH R., (2012). Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) wood. *BioResources* 7(4), 5128-5137.

BAZYAR B., (2012). Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *BioResources* 7(1), 696-705.

CASADO SANZ, M., ACUÑA, L., BASTERRA, L.A., RAMÓN CUETO G., y VECILLA D. (2012). Grading of structural timber of *Populus x euramericana* clone I-214.

D 143-83 "Standard methods os testing. Small clear specimens of timber". Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM).

DUBEY, M.K., PANG, S., WALKER, J., (2012). Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. *Holzforschung*. Volume 66, Issue 1, january 2012, pages 49-57.

ECKENWALDER, J.E. (1996). Systematics and evolution of *Populus*. In R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr., P.E. Heilman, and T.M. Hinkley (editors), *Biology of Populus and*

Its Implications for Management and Conservation. Ottawa, Canada: NRC Research Press. p. 7-32.

EN 408 (2004) Timber structures - structural timber and glued laminated timber - determination of some physical and mechanical properties. British Standard.

FANG C.-H., CLOUTIER A., BLANCHET P., KOUBAA A., & MARIOTTI N., (2011). Densification of wood veneers combined with oil heat treatment. Part I: Dimensional stability. *BioResources* 6(1), 373-385.

FANG C.-H., CLOUTIER A., BLANCHET P., & KOUBAA A., (2012). Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment. Part II: Hygroscopicity and mechanical properties. *BioResources* 7(1), 925-935.

FENGEL, D. (1966a). On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C- Part 1. *Holz Roh-Werkst.* 24,9-14.

FENGEL, D. (1966a). On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C- Part 2. *Holz Roh-Werkst.* 24,98-109.

Guía AITIM de la Madera. Productos de Madera para la Arquitectura. Octubre 2008.

GUINDEO CASASÚS, A., GARCÍA ESTEBAN, L., PERAZA SANCHEZ, F., ARRIAGA MARTITEGUI, F., KASNER CAMACHO, C., MEDINA GALLEGO, G., DE PALACIOS DE PALACIOS, P., y TOUZA VÁZQUEZ, M. (1997) *Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario*. Madrid. Editorial AITIM. (ISBN: 84-87381-11-1).

GROOVER M. (1997). Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas. Mexico. Prentice-Hall.

GUNDUZ, G., AYDEMIR, D., and KARAKAS, G. (2009). The effects os thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical proiperties. *Materials and Design* 30(10), 4391-4395.

HAKKOU M.; PÉTRISSANS M.; ZOULALIAN A.; & GÉRARDIN P. (2005). Polymer Degradation and Stability 89(2005) 1-5.

HOLMBERG, H. (2000). Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) *Holz als Roh-und Werkstoff* 58. Pp 91-95.

INTERNATIONAL POPLAR COMMISSION THEMATIC PAPERS, FAO. Poplars and willows in the world. Chapter 2. (October 2008). (<http://www.fao.org/forestry/16387-064a6c432aa6ad67b71111974322d476f.pdf>)

KALPAKJIAN S., & SCHMID S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. Mexico. Pearson educación.

KAMDEM, D.P.; PIZZI, A. & JERMANNAUD, A.; 2002. Durability of heat treated wood. *Holz Roherkst.* 60:1-6.

KARTAL, S.N.; HWANG, W.J. & IMAMURA, Y.; 2008. Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood. *J. Mater. Process. Tech.*198:234-240.

KOKAEFE, D., CHAUDHRY, B., PONCSAK, S., BOUAZARA, M., & PICHETTE, A., (2007). Thermogravimetric study of high temperature treatment of aspen: effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties. *Journal of Materials Science* 42(3): 355-361.

KORKUT D.S.; & GULLER B. (2008). The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology* 99 (2008) 2846-2851.

KORKUT S.; & HIZIROGLU S. (2013). Selected properties of heat-treated eastern red cedar (*Juniperus virginiana* L.) wood. *BioResources* 8(3), 4756-4765.

KORKUT, S., KÖK, M.S., SEVİM KORKUT, D., & GÜRLEYEN, T. (2008). The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology* 99 (6): 1538-1543.

LARREA A.; ACUÑA L.; y SPAVENTO E. (2012). Análisis del endurecimiento superficial de madera de *Populus x euramericana* I-214 por termotratamiento y utilización de aditivos. Universidad de Valladolid.

LÓPEZ GONZÁLEZ, G. (2002). *Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. (ISBN:84-8476-050-2).

MITCHELL, P.H. 1998. Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. *Wood and Fiber Science* 20(3):320-335.

MUKAM FOTSING, J.A., SIMON FOKOUA, A.D. (2012). Effects of thermal modification by the hot oil treatment process on some physical properties of two cameroonian hardwood species. *International Journal of heat and Technology*. Volume 30, Issue 2, pages 43-49.

NELSON, N.D., (1984). Woody plants are not inherently in photosynthetic capacity. *Photosynthetica*.

ORIA DE RUEDA, J.A. (2002). *Guía de árboles y arbustos de Castilla y León*. Palencia. Ediciones Cálamo, S.L. (ISBN: 84-95018-46-2).

RAIMO, A., KOUPPALA, E., & OESCH, P. (1996). "Formation of the main degradation compounds groups from wood and its components during pyrolysis," *Journal Analytical and Applied Pyrolysis* 36,137-148.

SAILER, M., & RAPP, A. O. (2001). "Use of vegetable oils for wood protection" COST Action E22: Environmental optimisation of wood protection. Conference in Einbek, Germany, 8-10 November 2001.

SALIM, R., ASHAARI, Z., and SAMSI, H.W. (2010). "Effects of oil heat treatment on physical properties of Semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble)", *Modern Applied Science* 4(2), 107-113.

SPEAR, M.J., HILL, C.A.S., CURLING, S.F., JONES, D., and HALE, M.D. (2006). "Assessment of the envelope effect of three hot oil treatments: Resistance to decay by *Coniophora puteana* and *Postia placenta*" The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 06-40344.

SERRADA HIERRO, R., MONTERO GONZÁLEZ, G. & REQUE KILCHENMANN, J.A. (2008). *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia.

TOUZA VÁZQUEZ M.C. (2012), *Madera modificada: nuevas posibilidades constructivas en madera*. IV Simposium Internacional de Arquitectura y Construcción en Madera. CIS Madeira.

UNE 56-528-78. Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayos. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE-EN 335:2013. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE 56-533-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE 56-531-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE 56-529-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad por desecación hasta el estado anhidro. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE 56-534-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNE 56-540-78. Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de ensayo. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.

UNSA O.; KORKUT S.; & ATIK C. (2003). The effect of heat treatment on some properties and colour in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* DEHN.) wood. Maderas. Ciencias y tecnología. 5(2): pp 145-152.

VIGNOTE S., y JIMENEZ F.J. (1996). Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). ISBN: 84-491-0293-6.

VIGNOTE, S. & MARTÍNEZ, I. (2006). Tecnología de la madera. Ed. Mundi-Prensa.

WANG, J.Y., & COOPER, P.A. (2005). "Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood" Holz als Roh-und Werkstoff 63, 417-422.

YILGOR, N.; UNSAL, O. & KARTAL, S.N.; (2001). Physical, mechanical, and chemical properties of steamed beech wood. Forest Prod. J. 51: 89-93.

ZANNI, E. (2004). Patología de madera. Degradación y Rehabilitación de Estructuras de Madera. Editorial Brujas. ISBN: 987-1142-58-7.

WEB:

Orden de 24 de junio de 1992 por la que se publica el catálogo nacional de los clones admitidos como materiales de base para los materiales forestales de reproducción, relativo al género *Populus* L. (<http://www.boe.es/boe/dias/1992/07/27/pdfs/A25932-25933.pdf>)

Orden APA/544/2003, de 6 de marzo, por la que se publica la ampliación del Catálogo nacional de los clones admitidos como materiales de base para los materiales forestales de reproducción relativos al género *Populus* L. (<http://www.boe.es/boe/dias/2003/03/14/pdfs/A10096-10096.pdf>).

Resolución de 7 de noviembre de 2011, de la Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos, por la que se modifica el Catálogo Nacional de los clones admitidos como materiales de base para los materiales forestales de reproducción, relativo al género *Populus* L. (<http://www.boe.es/boe/dias/2011/12/09/pdfs/BOE-A-2011-19336.pdf>).

Estructura de la madera (<http://www.monografias.com/trabajos75/manual-identificacion-maderas-forestales/manual-identificacion-maderas-forestales2.shtml>)

Sección transversal de un árbol (<http://parquesybosques.blogspot.com.es/p/como-crecen-los-arboles.html>)

Direcciones de la madera (<https://quimicathai.wordpress.com/tag/direccion-axial/>)

Navegación. (<http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>)

Técnicas aplicadas a las maderas para uso naval:
<http://www.armada15001900.net/tecnicas%20madera/tecnicasmadera.htm>

Conservación y protección de las maderas para el uso naval:

(file:///C:/Users/Usuario/Downloads/05_conservacion_proteccion_maderas.pdf)

Productos Xyladecor:

(http://www.xyladecor.es/downloads/pdf/xyladecor_aceite_para_teca.pdf)

8. ANEJOS

1. ANEJOS

1.1. Estadística descriptiva

1.1.1. Análisis descriptivo de la densidad

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.1. Sesgo y curtosis de la densidad en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,4549	-0,8164
Oleotermia 2	0,2546	-0,2907
Oleotermia 3	1,0896	-0,8844
Oleotermia 4	-0,8097	0,3308
Oleotermia 5	0,1867	-0,6115
Testigo	0,4227	-0,8530
Tratamiento 1	-0,5644	-1,2165
Tratamiento 2	1,6675	0,3849
Tratamiento 3	1,1049	-0,2357
Tratamiento 4	0,26218	-1,4622
Total	1,2111	-1,2511

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

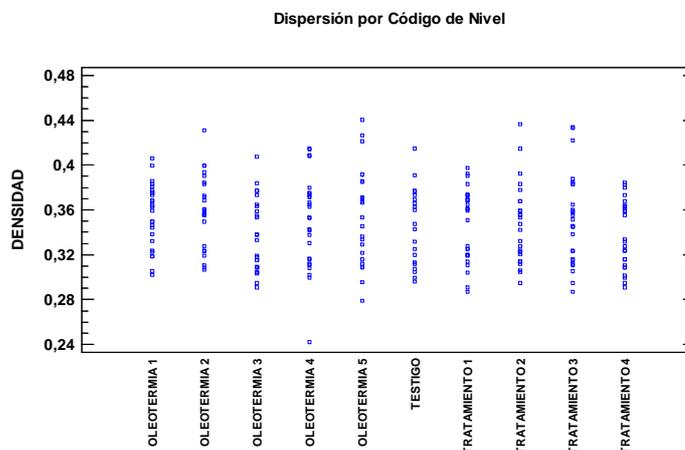


Figura I.1. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la densidad en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.2. Sesgo y curtosis de la densidad en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,0423	-0,0140
Oleotermia 2	-1,4308	-0,2985
Oleotermia 3	-0,1876	-1,4061
Oleotermia 4	-0,9788	-0,3063
Oleotermia 5	-0,2018	0,4196
Testigo	1,2117	-0,6188
Tratamiento 1	-0,4722	-1,0264
Tratamiento 2	0,1092	0,1546
Tratamiento 3	0,0905	-0,5777
Tratamiento 4	0,34138	-0,6469
Total	-7,1810	3,2806

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

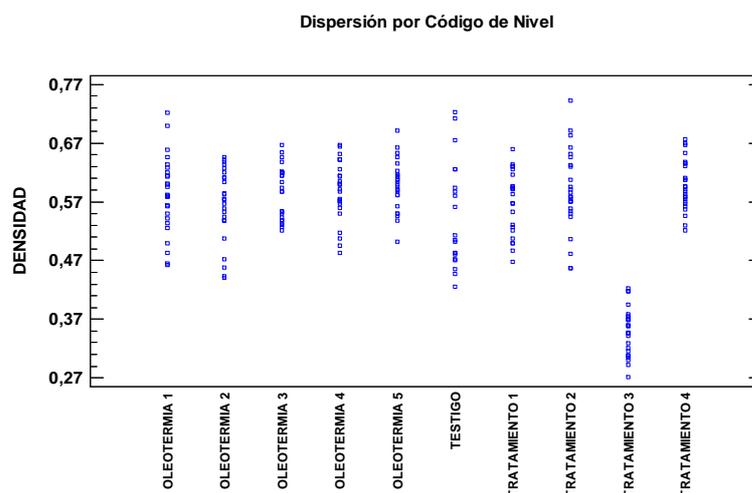


Figura I.2. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la densidad en *Pinus pinaster*

1.1.2. Análisis descriptivo de la absorción de producto

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.3. Sesgo y curtosis de la absorción de producto en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,0884	-1,1772
Oleotermia 2	1,8705	-0,1025
Oleotermia 3	1,9724	-0,9602
Oleotermia 4	1,7280	-0,2941

Tabla I.3. (Cont.) Sesgo y curtosis de la absorción de producto en *Populus x euramericana*

Oleotermia 5	0,9169	-0,5993
Tratamiento 4	0,5597	-1,2542
Total	14,5342	20,5734

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

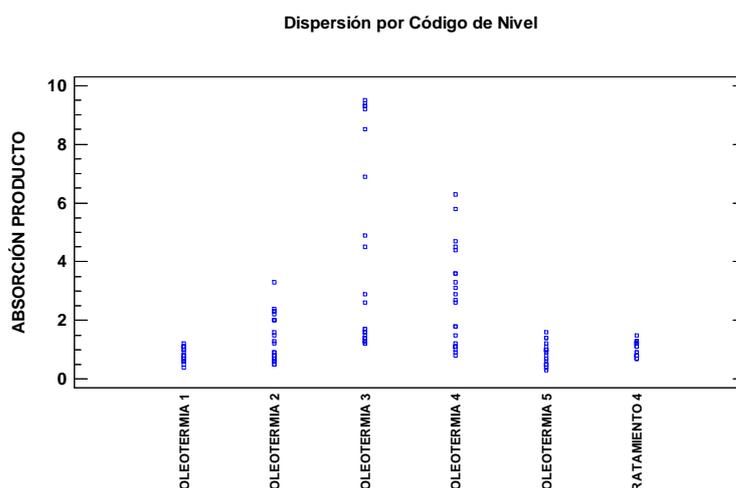


Figura I.3. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la absorción de producto en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.4. Sesgo y curtosis de la absorción de producto en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	4,1041	4,9459
Oleotermia 2	1,4629	0,5128
Oleotermia 3	0,3298	-0,8557
Oleotermia 4	2,2098	1,3564
Oleotermia 5	3,6781	5,7769
Tratamiento 4	1,7957	0,9414
Total	-0,4145	8,8526

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

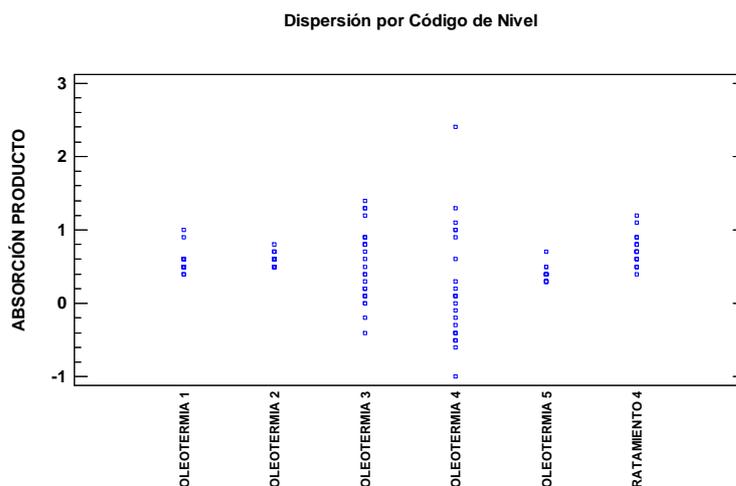


Figura I.4. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la absorción de producto en *Pinus pinaster*

1.2.3. Análisis descriptivo de la pérdida de peso

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.5. Sesgo y curtosis de la pérdida de peso en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Tratamiento 1	2,4916	1,6708
Tratamiento 2	-0,4119	-0,5231
Tratamiento 3	-0,8718	-0,9781
Tratamiento 4	-0,9774	0,349
Total	0,9631	-1,6859

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

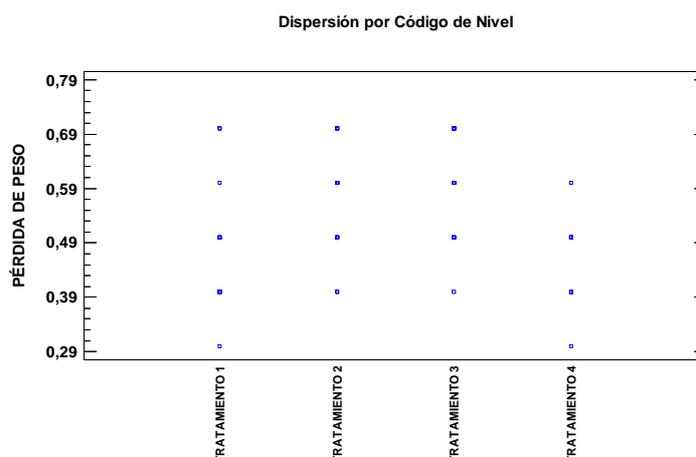


Figura I.5. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la pérdida de peso en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.6. Sesgo y curtosis de la pérdida de peso en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Tratamiento 1	1,2305	0,1401
Tratamiento 2	0,8316	1,393
Tratamiento 3	1,4333	0,2948
Tratamiento 4	0,6876	-0,5411
Total	0,4438	-1,0139

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

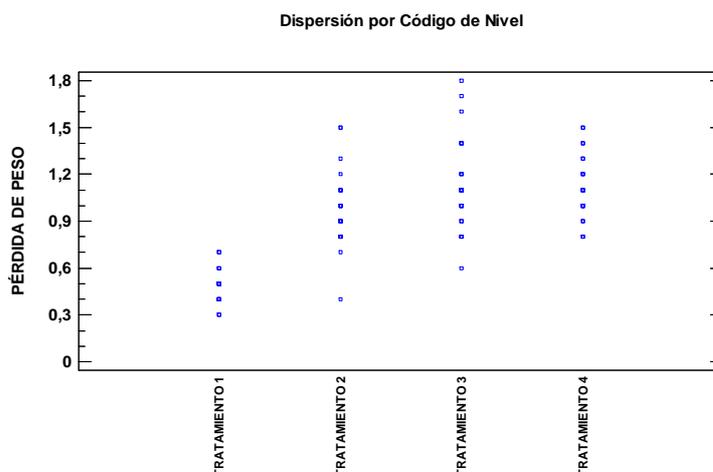


Figura I.6. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la pérdida de peso en *Pinus pinaster*

1.2.4. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Humedad relativa

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.7. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,6181	-0,1445
Oleotermia 2	-0,6242	0,5409
Oleotermia 3	-0,7483	-0,6334
Oleotermia 4	-1,5642	0,9951
Oleotermia 5	-0,3407	0,0994
Testigo	-0,5655	-0,9626
Tratamiento 1	1,6277	1,6193
Tratamiento 2	0,7714	-0,0391
Tratamiento 3	0,7931	-0,0391
Tratamiento 4	0,7932	-0,6758
Total	-2,0973	2,3482

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

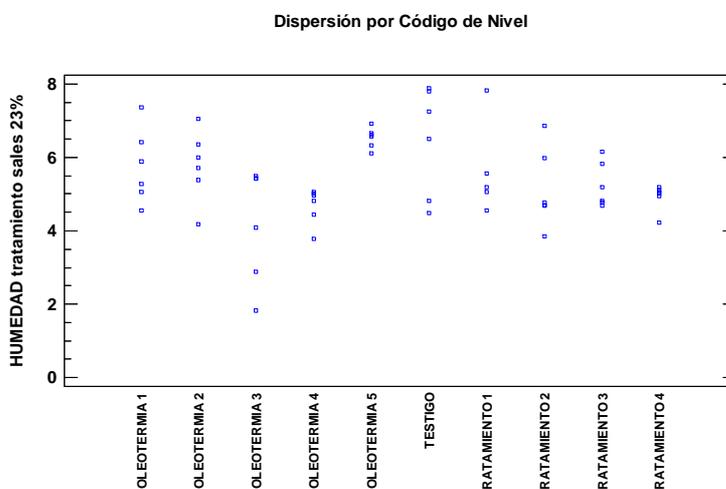


Figura I.7. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.8. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,0271	-1,4528
Oleotermia 2	0,1358	-1,0021
Oleotermia 3	-0,2554	0,1045
Oleotermia 4	-0,4218	-0,5135
Oleotermia 5	0,6722	-0,2088
Testigo	0,3100	0,0639
Tratamiento 1	0,3118	-0,1372
Tratamiento 2	0,5744	-0,3396
Tratamiento 3	0,7989	-0,0800
Tratamiento 4	0,6475	0,0459
Total	1,0362	-0,7014

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

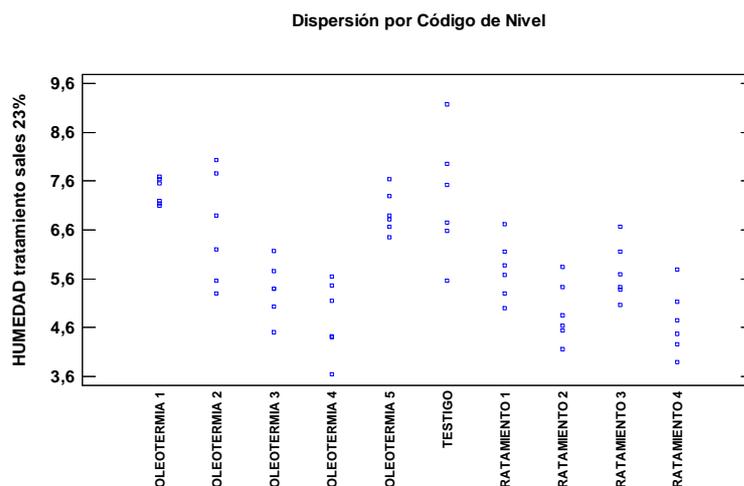


Figura I.8. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 23% de Hr en *Pinus pinaster*

1.2.5. Análisis descriptivo de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Humedad relativa

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.9. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,2029	-0,8600
Oleotermia 2	-0,7751	-0,7975
Oleotermia 3	-0,4644	-0,3978
Oleotermia 4	-1,0873	0,9728
Oleotermia 5	-0,6172	-0,6240
Testigo	-0,5694	-0,7972
Tratamiento 1	-0,9524	1,0421
Tratamiento 2	-0,3520	-0,0455
Tratamiento 3	0,7902	-0,6332
Tratamiento 4	0,7903	0,1436
Total	-0,3797	0,1436

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

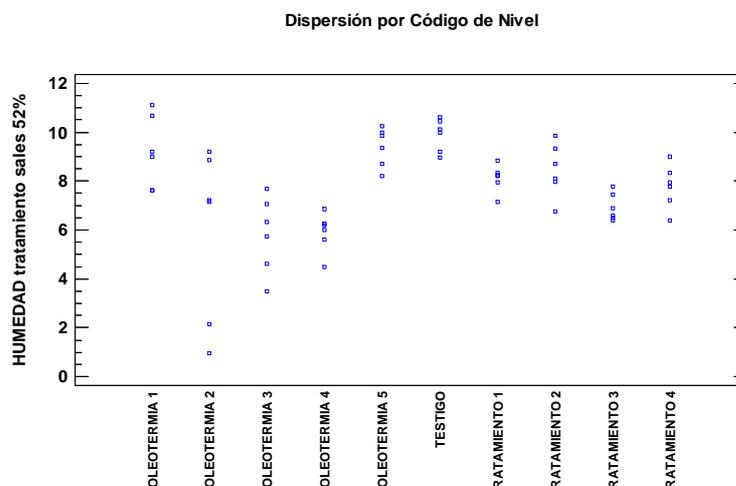


Figura I.9. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.10. Sesgo y curtosis de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,5738	-0,8352
Oleotermia 2	1,8692	2,0822
Oleotermia 3	-0,0293	-0,8633
Oleotermia 4	-0,0248	-0,4495
Oleotermia 5	-1,08761	0,3183
Testigo	0,3564	0,8743
Tratamiento 1	0,2273	-1,0629
Tratamiento 2	0,8089	1,1786
Tratamiento 3	-0,7867	0,3633
Tratamiento 4	-0,1056	-0,7457
Total	0,1912	0,5706

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

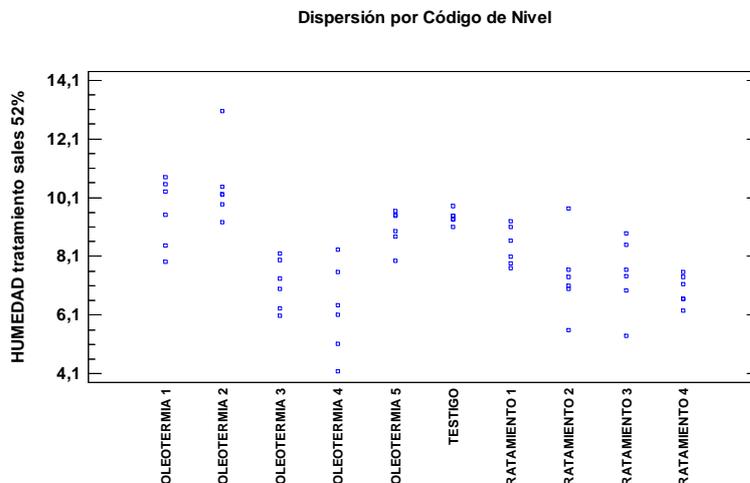


Figura I.10. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la humedad tras los tratamientos con sales al 52% de Hr en *Pinus pinaster*

1.2.6. Análisis descriptivo de la dureza media

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.11. Sesgo y curtosis de la dureza media en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,6714	0,3157
Oleotermia 2	0,0785	-1,2101
Oleotermia 3	-0,8853	-0,4000
Oleotermia 4	0,0833	0,3809
Oleotermia 5	-0,9144	-0,5940
Testigo	1,4609	1,0882
Tratamiento 1	-0,7185	0,7220
Tratamiento 2	-0,6724	-1,0278
Tratamiento 3	0,7265	-0,5880
Tratamiento 4	1,0349	-0,0381
Total	0,0832	-1,8598

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

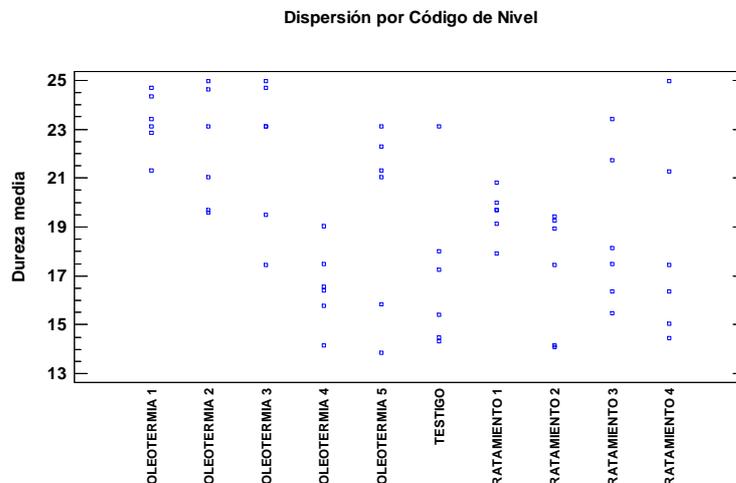


Figura I.11. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.12. Sesgo y curtosis de la dureza media en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,9693	-0,9345
Oleotermia 2		
Oleotermia 3	0,1289	-1,4925
Oleotermia 4		
Oleotermia 5	1,0227	-0,0984
Testigo	1,5375	0,7165
Tratamiento 1	2,4495	3,000
Tratamiento 2	2,4495	3,000
Tratamiento 3		
Tratamiento 4		
Total	8,5947	13,0798

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

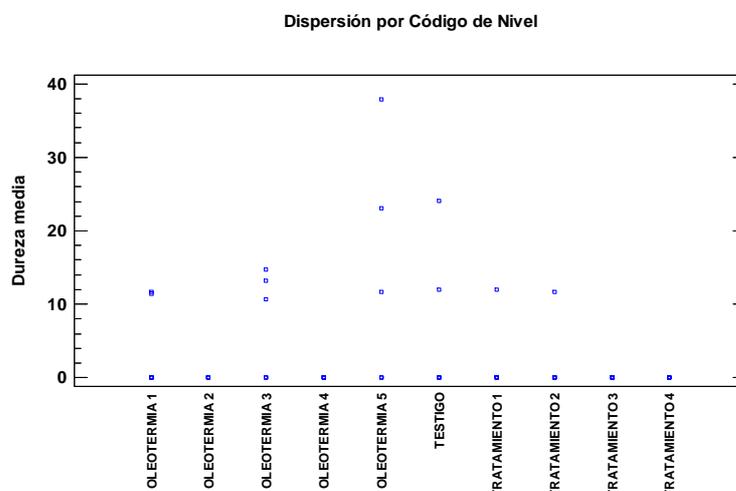


Figura I.12. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media en *Pinus pinaster*

1.2.7. Análisis descriptivo de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.13. Sesgo y curtosis de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-2,4495	3,000
Oleotermia 2	-0,9683	-0,9375
Oleotermia 3	-2,4495	3,000
Oleotermia 4	-2,4495	3,000
Oleotermia 5	-1,2067	-0,2296
Testigo	0,9683	-0,9375
Tratamiento 1	-0,9683	-0,9375
Tratamiento 2	0,7311	-0,8656
Tratamiento 3	-0,1649	-1,4039
Tratamiento 4	0,7311	-0,8656
Total	-0,6579	-2,8074

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

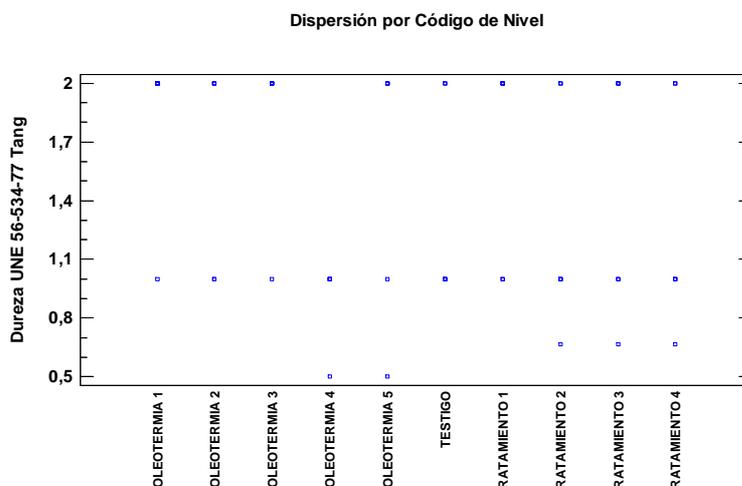


Figura I.13. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza tangencial según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

1.2.8. Análisis descriptivo de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.14. Sesgo y curtosis de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1		
Oleotermia 2	-2,4495	3,000
Oleotermia 3	-0,9683	-0,9375
Oleotermia 4	2,4495	3,000
Oleotermia 5	0,7311	-0,8656
Testigo	1,9372	1,9806
Tratamiento 1	2,4495	3,000
Tratamiento 2	1,7421	1,6816
Tratamiento 3	1,9353	2,2778
Tratamiento 4	1,8405	1,9577
Total	1,0008	-2,6677

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

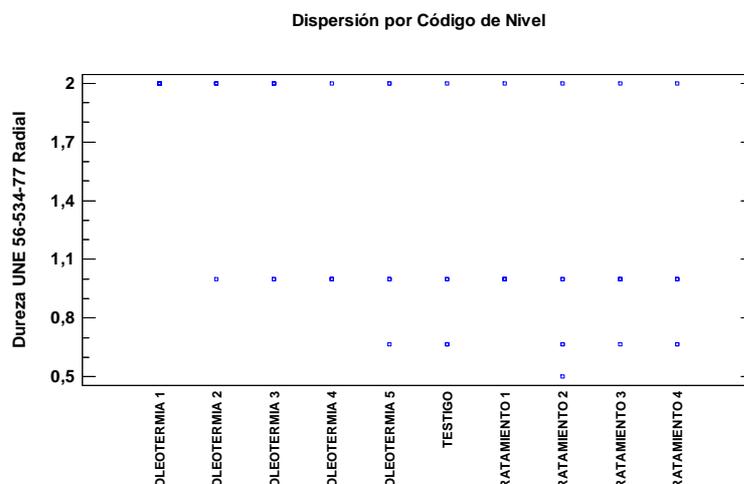


Figura I.14. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza radial según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

1.2.9. Análisis descriptivo de la dureza media según la Norma UNE 56-534-77

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.15. Sesgo y curtosis de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-2,4495	3,000
Oleotermia 2	0,0000	-1,6667
Oleotermia 3	-1,5367	0,7143
Oleotermia 4	1,4379	1,8014
Oleotermia 5	-0,2955	-0,9139
Testigo	1,6771	1,3318
Tratamiento 1	-2,4495	3,0000
Tratamiento 2	-0,2121	-1,1901
Tratamiento 3	0,9683	0,1969
Tratamiento 4	1,1037	0,2195
Total	0,1046	-2,1673

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

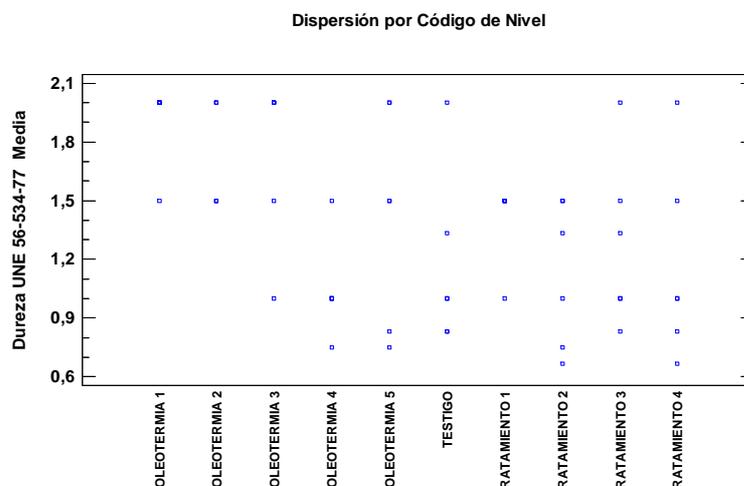


Figura I.15. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la dureza media según la norma UNE 56-534-77 en *Populus x euramericana*

1.2.10. Análisis descriptivo de la contracción volumétrica total

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.16. Sesgo y curtosis de la contracción volumétrica total en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,0632	0,6257
Oleotermia 2	0,8075	1,0997
Oleotermia 3	-0,1009	-0,4973
Oleotermia 4	1,204	1,0471
Oleotermia 5	-1,2783	0,8303
Testigo		
Tratamiento 1	0,9984	0,3364
Tratamiento 2	-0,8176	-0,0869
Tratamiento 3	0,0011	0,4888
Tratamiento 4	0,1596	0,0818
Total	-0,4620	0,1478

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

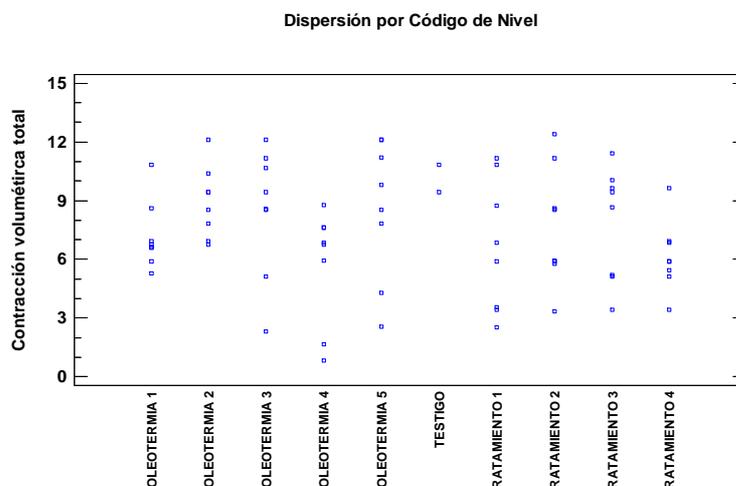


Figura I.17. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción volumétrica total en *Pinus pinaster*

1.2.11. Análisis descriptivo del coeficiente de contracción volumétrica

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.18. Sesgo y curtosis del coeficiente de contracción volumétrica en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,5297	-0,6740
Oleotermia 2	-0,3656	1,5469
Oleotermia 3	-0,4789	-0,6679
Oleotermia 4	0,6583	-0,3764
Oleotermia 5	-0,7236	-0,1648
Testigo		
Tratamiento 1	0,6742	-0,8284
Tratamiento 2	1,7545	1,1606
Tratamiento 3	-1,1334	-0,0511
Tratamiento 4	0,2596	0,1692
Total	2,8206	2,1127

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

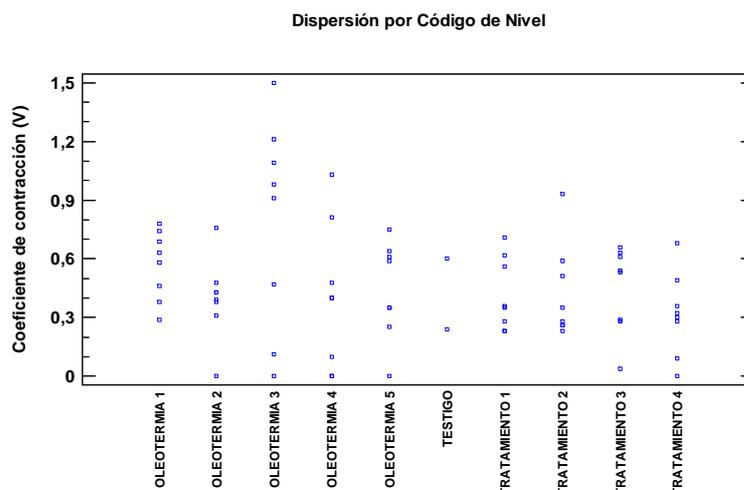


Figura I.18. Gráfico de dispersión por códigos de nivel del coeficiente de contracción volumétrica en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.19. Sesgo y curtosis del coeficiente de contracción volumétrica en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,2974	-0,1441
Oleotermia 2	-1,3726	1,2655
Oleotermia 3	0,3171	-0,3366
Oleotermia 4	1,8398	1,1901
Oleotermia 5	0,4101	-0,8530
Testigo		
Tratamiento 1	0,4933	0,0797
Tratamiento 2	1,4053	-0,1411
Tratamiento 3	2,3081	2,6639
Tratamiento 4	-0,3659	-0,4084
Total	9,3893	17,1772

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

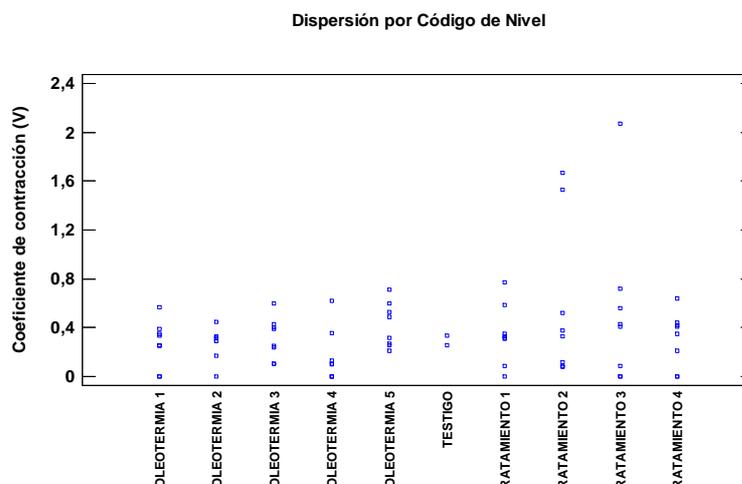


Figura I.19. Gráfico de dispersión por códigos de nivel del coeficiente de contracción volumétrica en *Pinus pinaster*

1.2.12. Análisis descriptivo de la contracción lineal longitudinal

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.20. Sesgo y curtosis de la contracción lineal longitudinal en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,7422	-1,2928
Oleotermia 2	0,0019	-1,6144
Oleotermia 3	-0,7437	-1,2933
Oleotermia 4	1,2068	1,0500
Oleotermia 5	0,7106	-0,8551
Testigo		
Tratamiento 1	1,6629	0
Tratamiento 2	1,5435	0,5433
Tratamiento 3	0,7447	-1,2912
Tratamiento 4	1,6629	0
Total	3,5575	0,2452

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

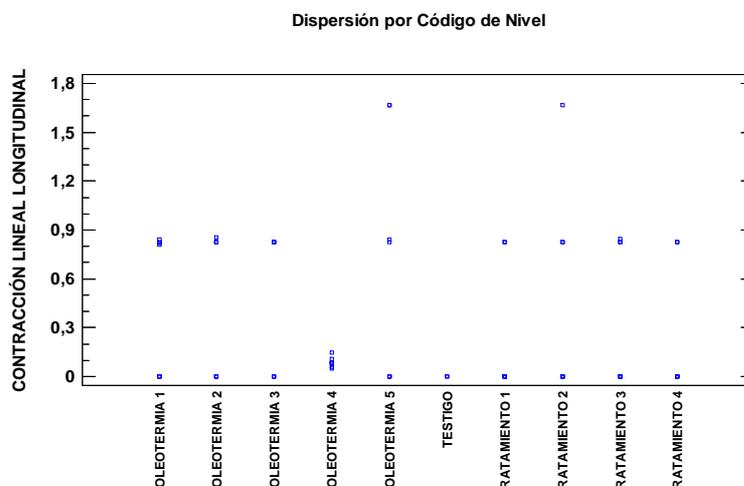


Figura I.20. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal longitudinal en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.21. Sesgo y curtosis de la contracción lineal longitudinal en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,6933	-0,8726
Oleotermia 2	-1,1791	1,0504
Oleotermia 3	-0,9317	0,2142
Oleotermia 4	-1,2938	-0,1293
Oleotermia 5	-0,7075	-0,8579
Testigo		
Tratamiento 1	0,0786	0,4280
Tratamiento 2	3,2643	4,6153
Tratamiento 3	0,5713	-0,1091
Tratamiento 4	-0,4561	-0,1429
Total	1,3004	-1,6559

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

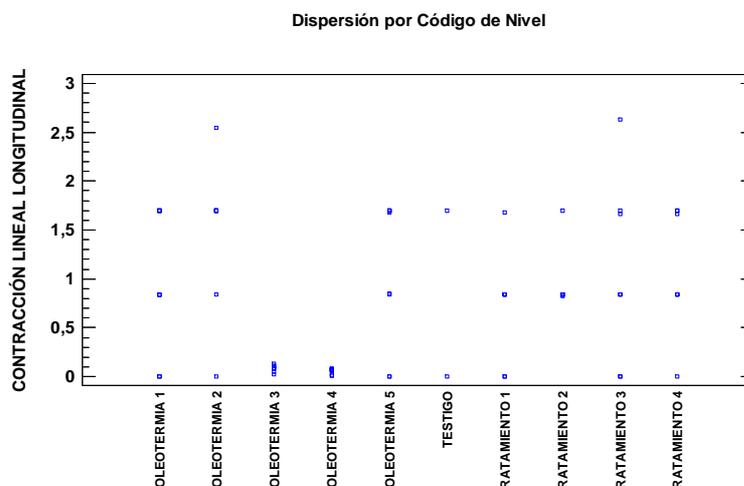


Figura I.21. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal longitudinal en *Pinus pinaster*

1.2.13. Análisis descriptivo de la contracción lineal radial

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.22. Sesgo y curtosis de la contracción lineal radial en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,2953	-1,3407
Oleotermia 2	0,1178	0,8164
Oleotermia 3	-2,3186	2,7390
Oleotermia 4	-1,1244	
Oleotermia 5	0,4177	-0,3488
Testigo	-0,6019	1,2021
Tratamiento 1	-0,1187	0,1686
Tratamiento 2	-0,9215	0,8974
Tratamiento 3	-0,9215	0,8974
Tratamiento 4	-0,8425	0,8590
Total	-1,7381	1,0199

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

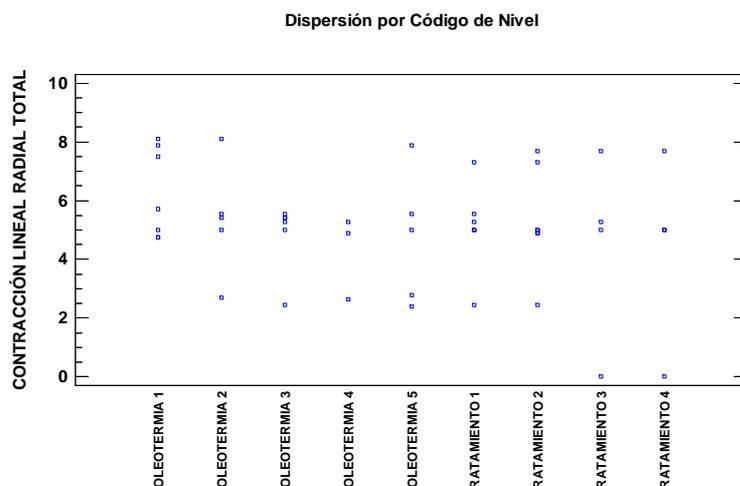


Figura I.22. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal radial en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.23. Sesgo y curtosis de la contracción lineal radial en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-1,1838	
Oleotermia 2	-2,0412	2,2822
Oleotermia 3	-0,4741	-1,4727
Oleotermia 4	-0,6978	-0,5263
Oleotermia 5		
Testigo		
Tratamiento 1	0,9683	-0,9375
Tratamiento 2	1,6293	1,6269
Tratamiento 3	-0,4219	-0,009
Tratamiento 4	-0,5541	-1,5204
Total	-0,5319	-1,0140

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

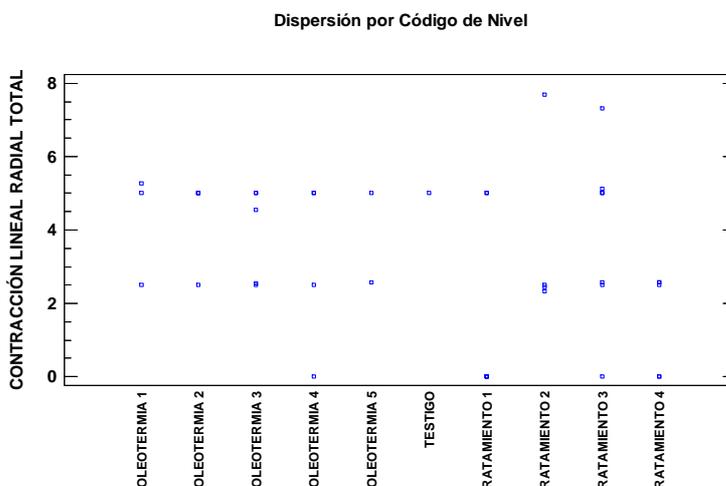


Figura I.23. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal radial en *Pinus pinaster*

1.2.14. Análisis descriptivo de la contracción lineal tangencial

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.24. Sesgo y curtosis de la contracción lineal tangencial en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,3842	-1,4545
Oleotermia 2	0,8377	-0,7116
Oleotermia 3	-0,9468	-0,9391
Oleotermia 4	0	
Oleotermia 5	-0,4426	-0,3221
Tratamiento 1	-0,7692	-0,2193
Tratamiento 2	2,6307	3,3020
Tratamiento 3	-1,4860	1,3954
Tratamiento 4	-1,5944	1,5731
Total	-0,1221	-0,5801

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

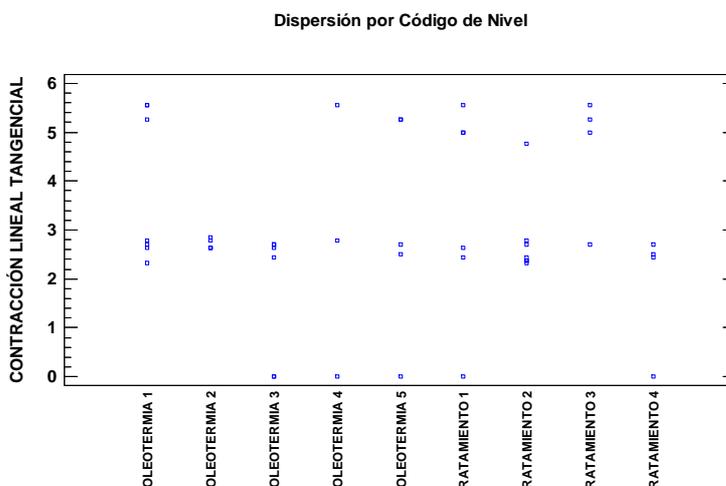


Figura I.24. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal tangencial en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.25. Sesgo y curtosis de la contracción lineal tangencial en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,1626	
Oleotermia 2	-0,1371	0,9028
Oleotermia 3	-0,5556	-1,5215
Oleotermia 4	1,6329	1,6329
Oleotermia 5		
Testigo		
Tratamiento 1	1,0233	-0,7305
Tratamiento 2	-0,0384	0,6109
Tratamiento 3	2,1341	2,3673
Tratamiento 4	-0,4676	-0,2795
Total	2,107	2,9389

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

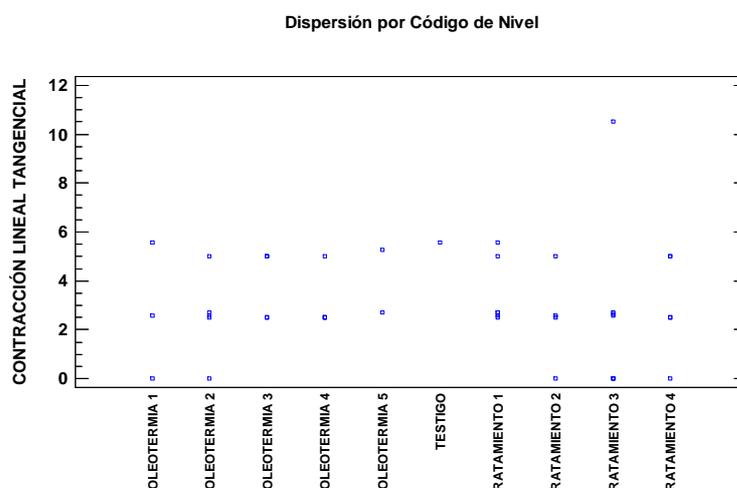


Figura I.25. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la contracción lineal tangencial en *Pinus pinaster*

1.2.15. Análisis descriptivo de la higroscopicidad

- Sesgo y curtosis en el clon "I-214"

Tabla I.26. Sesgo y curtosis de la higroscopicidad en *Populus x euramericana*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	0,9025	-0,4511
Oleotermia 2	0,1211	1,1760
Oleotermia 3	-0,0623	-0,5709
Oleotermia 4	0,4806	-0,3697
Oleotermia 5	0,2342	-0,7820
Testigo		
Tratamiento 1	-0,6468	-1,003
Tratamiento 2	-1,4784	0,7204
Tratamiento 3	0,9855	-0,4595
Tratamiento 4	-0,3381	-0,2245
Total	-0,6399	6,2283

- Gráfico de dispersión en el clon "I-214"

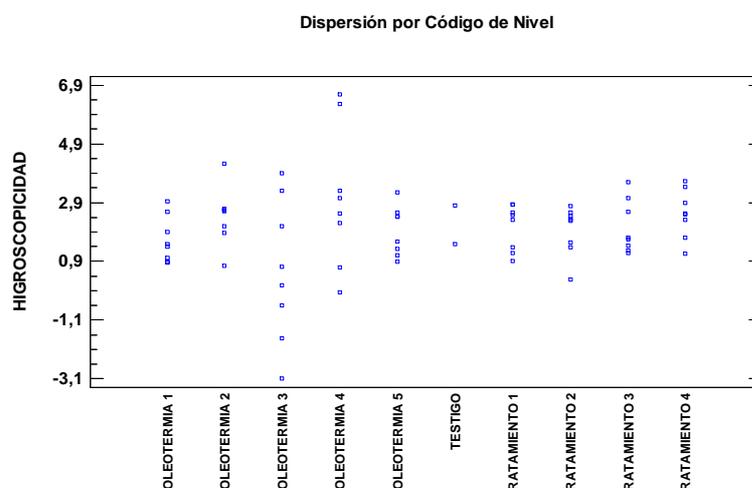


Figura I.26. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la higroscopicidad en *Populus x euramericana*

- Sesgo y Curtosis en *Pinus pinaster*

Tabla I.27. Sesgo y curtosis de la higroscopicidad en *Pinus pinaster*

TRATAMIENTO	SESGO ESTANDARIZADO	CURTOSIS ESTANDARIZADA
Oleotermia 1	-0,8872	0,6585
Oleotermia 2	2,1993	2,2458
Oleotermia 3	-0,6746	-0,5416
Oleotermia 4	-1,2284	0,4862
Oleotermia 5	-0,4726	-0,8584
Testigo		
Tratamiento 1	0,1229	0,1108
Tratamiento 2	-1,2814	-0,2869
Tratamiento 3	0,5361	-0,0785
Tratamiento 4	0,8105	-0,1668
Total	-5,5841	8,9763

- Gráfico de dispersión en *Pinus pinaster*

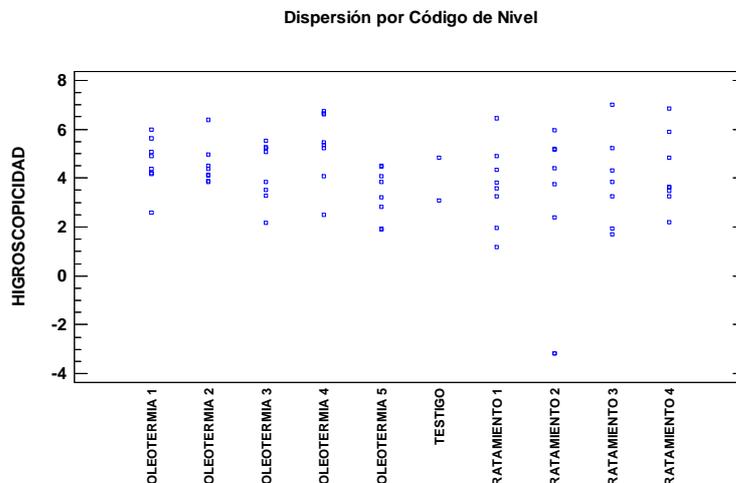


Figura I.27. Gráfico de dispersión por códigos de nivel de la higroscopicidad en *Pinus pinaster*

1.2. Estadística comparativa

1.2.1. Análisis comparativo de la densidad

- Distribución normal

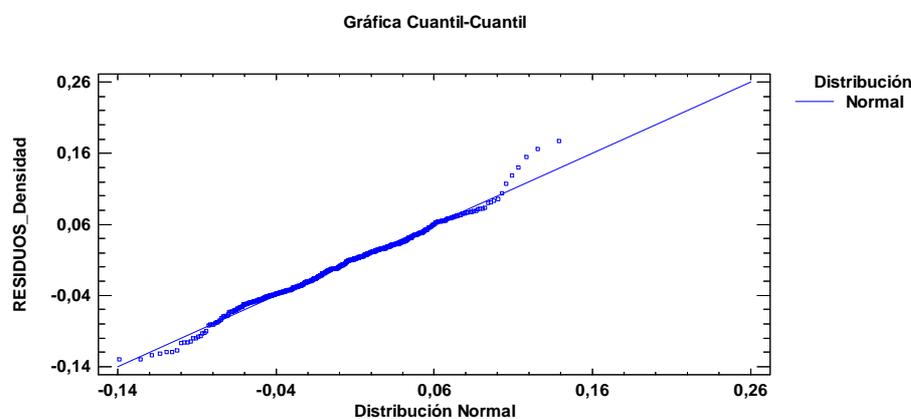


Figura I.28. Gráfico de distribución normal de los residuos para la densidad

1.2.2. Análisis comparativo de la absorción de producto

- Distribución normal

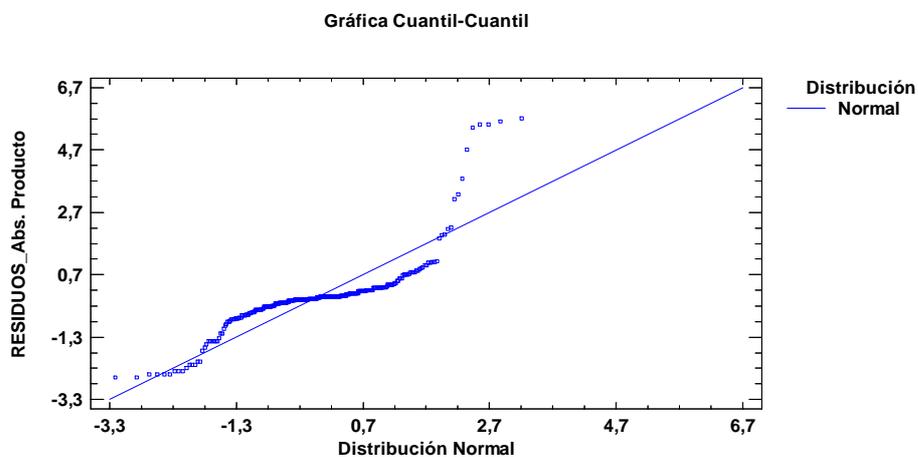


Figura I.29. Gráfico de distribución normal de los residuos para la absorción de producto

1.2.3. Análisis comparativo de la pérdida de peso

- Distribución normal

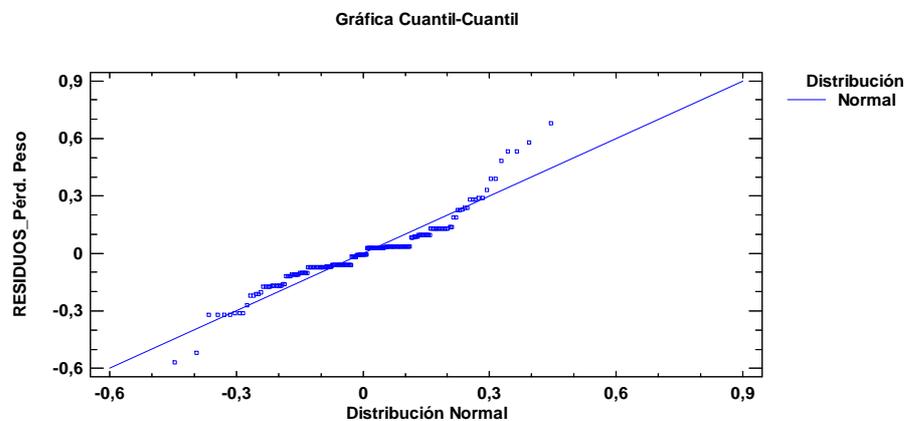


Figura I.30. Gráfico de distribución normal de los residuos para la pérdida de peso

1.2.4. Análisis comparativo de la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de humedad relativa

- Distribución normal

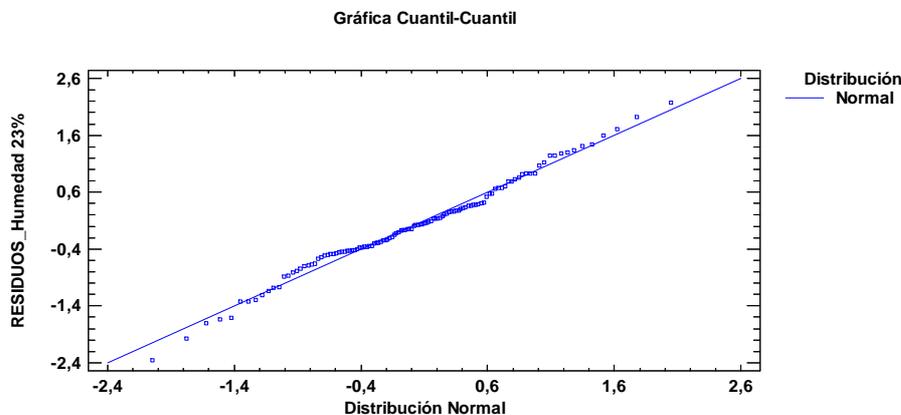


Figura I.31. Gráfico de distribución normal de los residuos para la humedad tras el tratamiento con sales al 23% de Hr

1.2.5. Análisis comparativo de la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de humedad relativa

- Distribución normal

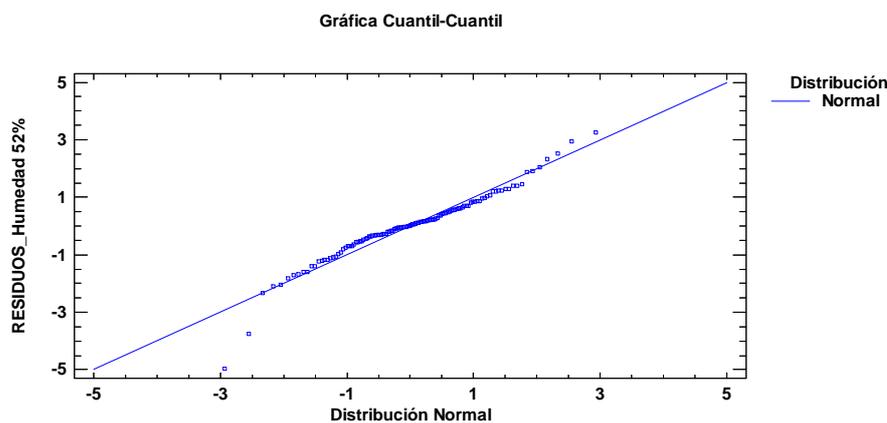


Figura I.32. Gráfico de distribución normal de los residuos para la humedad tras el tratamiento con sales al 52% de Hr

1.2.6. Análisis comparativo de la dureza media

- Distribución normal

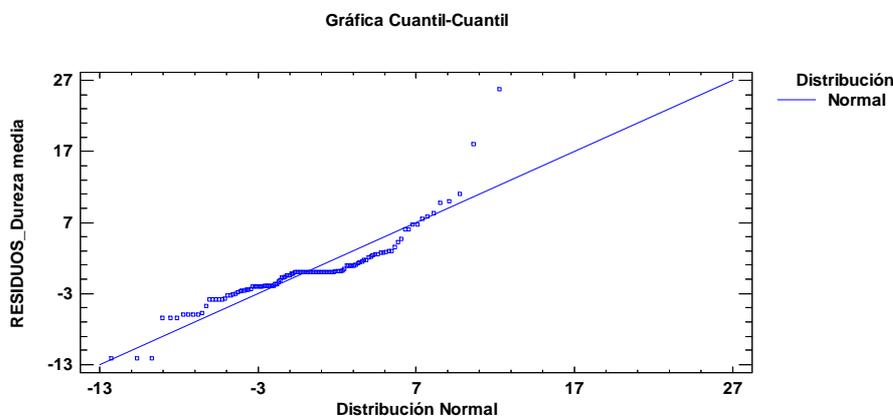


Figura I.33. Gráfico de distribución normal de los residuos para la dureza media

1.2.7. Análisis comparativo de la la contracción volumétrica

- Distribución normal

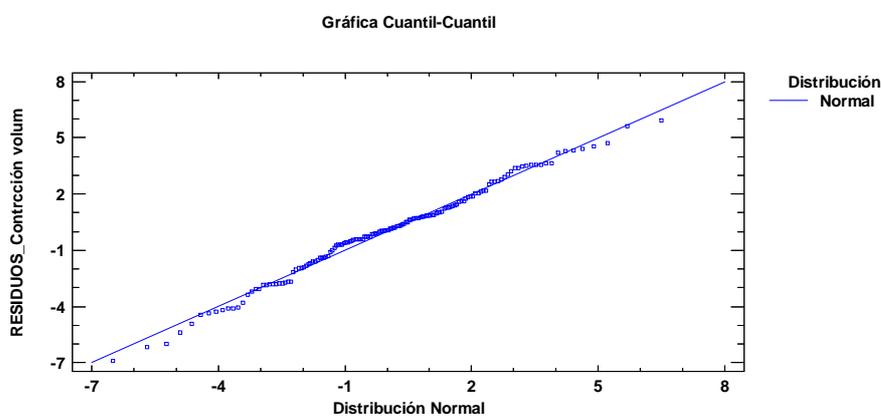


Figura I.34. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción volumétrica

1.2.9. Análisis comparativo del coeficiente de contracción volumétrica

- Distribución normal

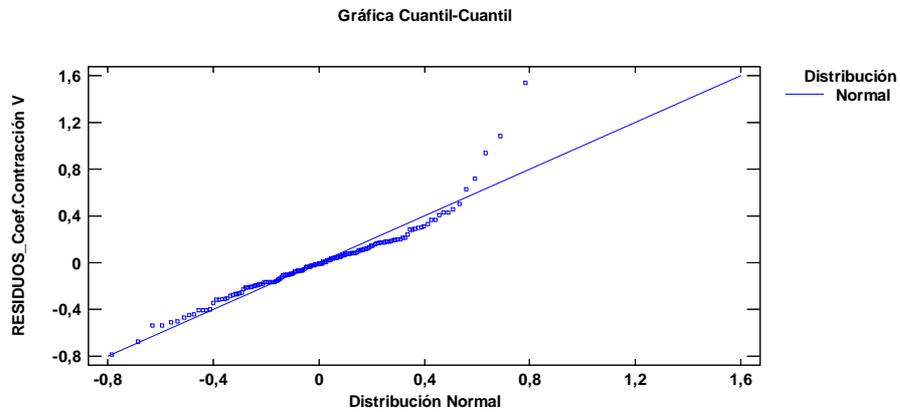


Figura I.35. Gráfico de distribución normal de los residuos para el coeficiente de contracción volumétrica

1.2.10. Análisis comparativo de la contracción lineal longitudinal

- Distribución normal

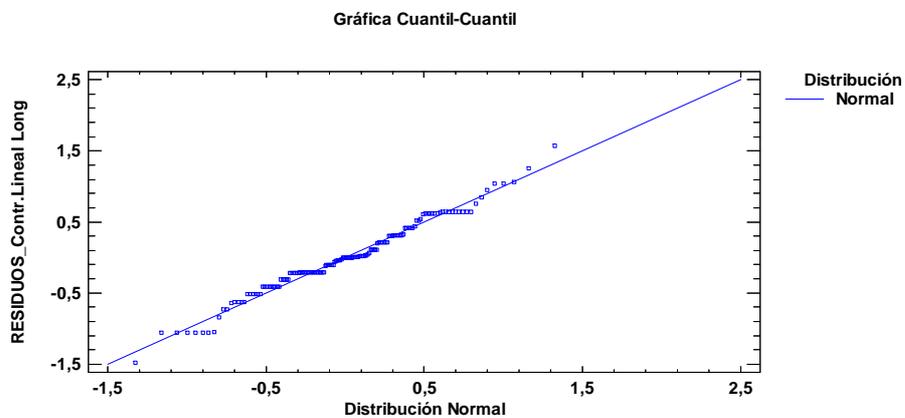


Figura I.36. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción lineal longitudinal

2.11. Análisis comparativo de la contracción lineal radial

- Distribución normal

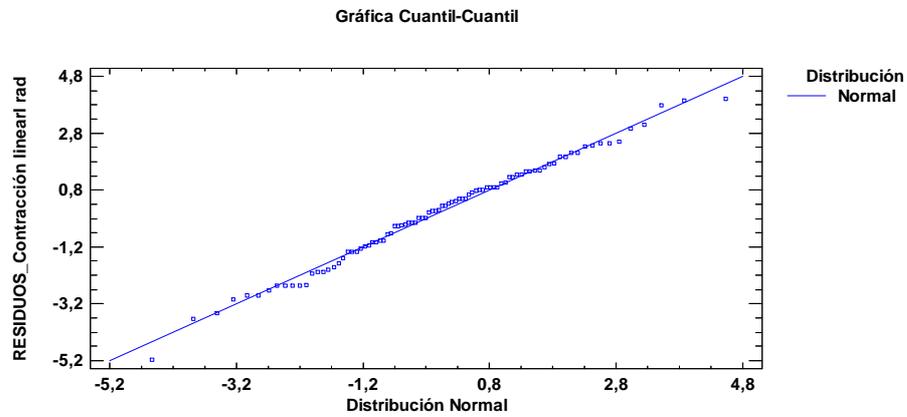


Figura I.37. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción lineal radial

1.2.12. Análisis comparativo de la contracción lineal tangencial

- Distribución normal

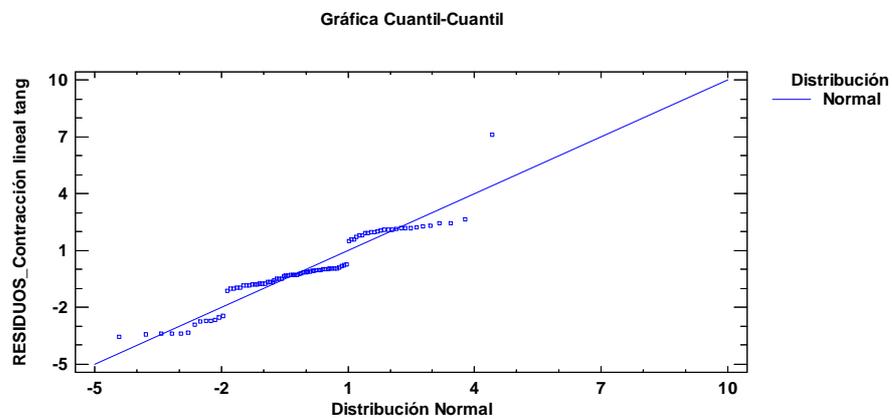


Figura I.38. Gráfico de distribución normal de los residuos para la contracción lineal tangencial

1.2.13. Análisis comparativo de la higroscopicidad

- Distribución normal

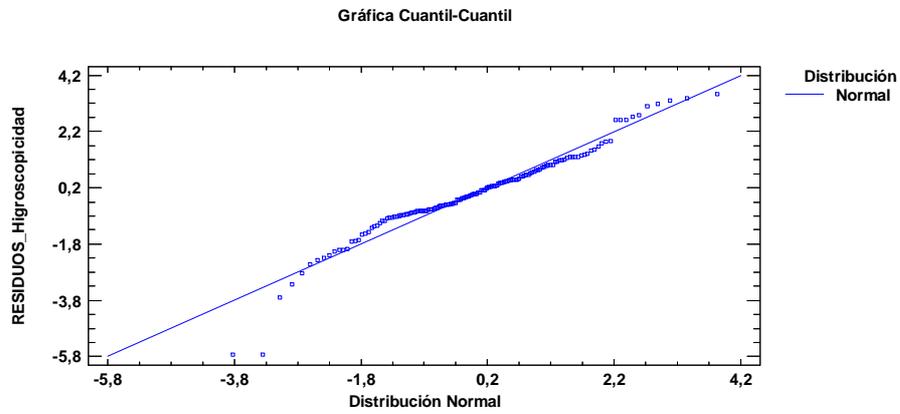


Figura I.39. Gráfico de distribución normal de los residuos para la higroscopicidad