



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster en Ingeniería de Montes**

**ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA  
MADERA DE *Populus x euramericana* Y *Pinus  
pinaster* TRAS TRATAMIENTOS DE  
OLEOTERMIA**

Alumno: Harriet Umerez Olabarria

Tutora: Milagros Casado Sanz

Cotutor: Roberto San Martín

Marzo de 2015



En primer lugar, agradecerle a mi tutora, Milagros, que me ha ayudado siempre que lo he necesitado y por haberme dado la oportunidad de hacer este trabajo. Y agradecerle también a Roberto san Martín por su inestimable ayuda.

Gracias a Pablo de Miguel y a Gonzalo Arrea por hacerme pasar las horas en el laboratorio amablemente.

A mi familia, que sin su ayuda tampoco hubiera sido posible llegar hasta aquí, por su apoyo incondicional, y en especial a dos personas que les hubiera hecho tanta ilusión que a mí ver el trabajo terminado.

A mis amigos que al principio no entendían como iba a hacer un trabajo “de freír maderas” pero que al final se han convencido, por esas charlas que han tenido que oír y que no eran interesantes para la mayoría.

Y por último gracias a todas las personas que he conocido en la Universidad de Palencia y que sin ellos llegar hasta aquí hubiera sido un poco más duro.



## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	4
2.1. INTRODUCCIÓN .....	5
2.2. USO E IMPORTANCIA DE LA MADERA .....	6
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA: PROPIEDADES DE LA MADERA.....	7
2.3.1. Propiedades físicas.....	7
2.3.1.1. Anisotropía .....	7
2.3.1.2. Heterogeneidad .....	8
2.3.1.3. Higroscopicidad .....	8
2.3.1.4. Humedad.....	8
2.3.1.5. Hinchazón y merma.....	8
2.3.1.6. Punto de Saturación de la Pared Celular (PSPC) .....	8
2.3.1.7. Densidad .....	9
2.3.1.8. Polaridad .....	9
2.3.1.9. Dureza.....	9
2.3.2. Propiedades mecánicas .....	9
2.3.2.1. Resistencia a la tracción .....	10
2.3.2.2. Resistencia a la compresión .....	10
2.3.2.3. Resistencia a la flexión .....	10
2.3.2.4. Resistencia al esfuerzo cortante .....	11
2.4. ESTRUCTURA DE LA MADERA .....	12
2.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO.....	13
2.5.1. El género <i>Populus</i> .....	13
2.5.1.1. <i>Populus x euramericana</i> .....	14
2.5.1.2. <i>Populus x euramericana</i> “I-214” (Dode) Guinier.....	15
2.5.1.3. Propiedades de la madera .....	16
2.5.1.4. Importancia de la especie .....	17
2.5.1.5. Uso de la especie .....	18
2.5.2. <i>Pinus pinaster</i> Ait. ....	19
2.5.2.1. Descripción.....	19
2.5.2.2. Hábitat y ecología.....	20

2.5.2.3. Distribución.....	21
2.5.2.4. Propiedades de la madera.....	21
2.5.2.5. Importancia y uso de la especie.....	22
2.6. EL HONGO AZULADO O LA MANCHA AZUL.....	23
2.7. TRATAMIENTOS DE LA MADERA.....	24
2.7.1. Historia de los tratamientos.....	24
2.7.2. Métodos de tratamientos preventivos.....	25
2.7.3. Antecedentes de tratamientos de Oleotermia.....	28
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
4.1. DATOS GENERALES DEL ESTUDIO.....	33
4.2. EQUIPO DE TRABAJO.....	35
4.2.1. Balanza electrónica.....	35
4.2.2. Calibre o pie de rey.....	36
4.2.3. Freidora.....	36
4.2.4. Estufa.....	37
4.2.5. Desecador.....	38
4.2.6. Productos utilizados en el estudio.....	39
4.2.7. Otros.....	39
4.3. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	39
4.3.2. Tratamientos.....	40
4.3.3. Determinación de la Densidad.....	42
4.3.4. Determinación de la Humedad.....	43
4.3.5. Determinación de la absorción de la humedad a diferentes humedades de equilibrio higroscópico.....	44
4.3.6. Determinación de las contracciones.....	46
4.3.7. Higroscopicidad.....	48
4.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	48
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
5.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	51
5.1.1. Análisis descriptivo de la Densidad en las probetas.....	51
5.1.2. Análisis descriptivo de la Absorción de Producto en las probetas.....	54
5.1.3. Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 75,5% de humedad relativa.....	57

5.1.4. Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa.....	60
5.1.5. Análisis descriptivo de la Contracción Volumétrica Total, del Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal tras los tratamientos en las probetas. ....	63
5.1.6. Análisis descriptivo de la Higroscopicidad de los tratamientos en las probetas.....	67
5.2. ESTADÍSTICA COMPARATIVA.....	69
5.2.1. Comparación de la variable Densidad.....	70
5.2.2. Comparación variable Absorción de Producto.....	72
5.2.3. Comparación variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa.....	75
5.2.4. Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa.....	77
5.2.5. Comparación variable Contracción Volumétrica Total. ....	80
5.2.6. Comparación variable Coeficiente de Contracción Volumétrica. ....	83
5.2.7. Comparación variable Contracción Lineal Longitudinal. ....	86
5.2.8. Comparación variable Higroscopicidad. ....	88
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clones admitidos como materiales de base del género <i>Populus</i> : Catalogo Nacional de 1992 y 2003 (Grau, 2003).....	14
Tabla 2. Propiedades de la madera del género <i>Populus</i> (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997).....	17
Tabla 3. Propiedades de la madera de <i>Pinus pinaster</i> (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997). .....	21
Tabla 4. Humedades relativas mantenidas con soluciones saturadas de sales a distintas temperaturas.....	44
Tabla 5. Valores descriptivos de la Densidad en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia. ....	52
Tabla 6. Valores descriptivos de la Densidad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia.....	53
Tabla 7. Valores descriptivos de la Absorción del Producto en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia.....	55
Tabla 8. Valores descriptivos de la Absorción del Producto en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia. ....	56
Tabla 9. Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos con sales al 75,5% de humedad relativa. ....	58
Tabla 10. Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa. ....	59
Tabla 11. Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa.....	60
Tabla 12. Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa. ....	62
Tabla 13. Valores descriptivos de la Contracción Volumétrica Total, el coeficiente de contracción volumétrica y la contracción lineal longitudinal en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia. ....	64
Tabla 14. Valores descriptivos de la Contracción Volumétrica Total, el coeficiente de contracción volumétrica y la contracción lineal longitudinal en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia. ....	66
Tabla 15. Valores descriptivos de la Higroscopicidad en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia.....	68
Tabla 16. Valores descriptivos de la Higroscopicidad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia.....	69
Tabla 17. Tabla ANOVA para la variable Densidad de <i>Pinus pinaster</i> . ....	70
Tabla 18. Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Densidad de <i>Pinus pinaster</i> . ....	70

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

Tabla 19. Tabla ANOVA para la variable Densidad de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	71
Tabla 20. Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Densidad de <i>Pinus pinaster</i> .	71
Tabla 21: Tabla ANOVA para la variable Absorción de Producto de <i>Pinus pinaster</i> ....	72
Tabla 22: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Absorción de Producto de <i>Pinus pinaster</i> .....	73
Tabla 23. Tabla ANOVA para la variable Absorción de Producto de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	73
Tabla 24: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Absorción de Producto de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	74
Tabla 25: Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> .	75
Tabla 26: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> .....	75
Tabla 27: Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	76
Tabla 28: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	77
Tabla 29: Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> .	78
Tabla 30: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> .....	78
Tabla 31: Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	79
Tabla 32: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	80
Tabla 33: Tabla ANOVA para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Pinus pinaster</i> .....	81
Tabla 34: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Pinus pinaster</i> .....	81
Tabla 35: Tabla ANOVA para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	82
Tabla 36: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Populus x euramericana</i> "I-214".	82
Tabla 37: Tabla ANOVA para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Pinus pinaster</i> .	83

Tabla 38: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Pinus pinaster</i> . .....	84
Tabla 39: Tabla ANOVA para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	85
Tabla 40: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	85
Tabla 41: Tabla ANOVA para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Pinus pinaster</i> . .....	86
Tabla 42: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Pinus pinaster</i> . .....	86
Tabla 43: Tabla ANOVA para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	87
Tabla 44: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	88
Tabla 45: Tabla ANOVA para la variable Higroscopicidad de <i>Pinus pinaster</i> . .....	89
Tabla 46: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Higroscopicidad de <i>Pinus pinaster</i> . .....	89
Tabla 47: Tabla ANOVA para la variable Higroscopicidad de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	90
Tabla 48: Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Higroscopicidad de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". .....	90



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de las principales direcciones de la madera (www.quimicasthai.wordpress.com).....	12
Figura 2. Probetas de <i>Populus x euramericana</i> antes de los tratamientos. ....	34
Figura 3. Probetas de madera de <i>Pinus pinaster</i> antes del tratamiento. ....	35
Figura 4. Balanza electrónica.....	35
Figura 5. Freidora HDF 20-13. ....	36
Figura 6. Plano de la freidora HDF 20-13.....	37
Figura 7. Estufa. ....	38
Figura 8. Desecador. ....	39
Figura 9. Medición de las probetas. ....	40
Figura 10: Probetas de <i>Populus x euramericana</i> después de los tratamientos .....	41
Figura 11: Probetas de <i>Pinus pinaster</i> después de los tratamientos. ....	42
Figura 12. Probetas en la estufa para la determinación de la humedad.....	43
Figura 13. Probetas de <i>Pinus pinaster</i> en recipientes de plástico con sales de Nitrato de potasio y Cloruro sódico.....	45
Figura 14. Probetas en agua durante 24 h.....	46
Figura 15. Probetas en la estufa para calcular las contracciones.....	47
Figura 16. Gráfico de Caja y Bigotes de la Densidad en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia. ....	53
Figura 17. Gráfico de Caja y Bigotes de la Densidad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia.....	54
Figura 18. Gráfico de Caja y Bigotes de la absorción en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia. ....	55
Figura 19. Gráfico de Caja y Bigotes de la Absorción en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos de Oleotermia.....	57
Figura 20. Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa. ....	58
Figura 21. Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I-214” tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa.	60
Figura 22. Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de <i>Pinus pinaster</i> tras los tratamientos con sales al 94 % de humedad relativa. ....	61
Figura 23. Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> “I214” tras los tratamientos con sales al 94 % de humedad relativa. ...	63
Figura 24. Gráficos de Caja y Bigotes de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia. ....	65

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

Figura 25. Gráfico de Caja y Bigotes de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia. ....	67
Figura 26. Gráfico de Caja y Bigotes de Higroscopicidad en las probetas de <i>Pinus Pinaster</i> tras los tratamientos de Oleotermia.....	68
Figura 27. Gráfico de Caja y Bigotes de Higroscopicidad en las probetas de <i>Populus x euramericana</i> "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.....	69
Figura 28: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Densidad de <i>Pinus pinaster</i> . ....	71
Figura 29. Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Densidad de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	72
Figura 30. Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Absorción de Producto de <i>Pinus pinaster</i> . ....	73
Figura 31: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Absorción de Producto de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	74
Figura 32: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> . ....	76
Figura 33: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	77
Figura 34: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de <i>Pinus pinaster</i> . ....	79
Figura 35: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	80
Figura 36: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Pinus pinaster</i> . ....	81
Figura 37: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Volumétrica Total de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	83
Figura 38: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Pinus pinaster</i> . ....	84
Figura 39: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	85
Figura 40: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Pinus pinaster</i> . ....	87
Figura 41: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Lineal Longitudinal de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	88
Figura 42: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Higroscopicidad de <i>Pinus pinaster</i> . ....	89
Figura 43: Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Higroscopicidad de <i>Populus x euramericana</i> "I-214". ....	91



# 1. RESUMEN

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 1. RESUMEN

La madera en aplicaciones al exterior, cuando es de especies poco durables tiene que someterse a tratamientos de preservación. Por lo general los tratamientos actuales consisten en impregnar la madera en autoclave con productos frecuentemente a base de sales metálicas tipo CCA (cobre, cromo y arsénico). El procedimiento desarrollado busca una vía sustitutiva, menos costosa, y sobre todo menos nociva al medioambiente.

El tratamiento de Oleotermia que se utiliza en este estudio consiste en sumergir las piezas de madera en baños de aceite de girasol reciclado a distintas temperaturas de 20°C, 80°C, 130°C y 170°C.

El número total de probetas analizadas es de 600 de las cuales, 300 son probetas de madera de *Populus x euramericana* (Dode) Guiner "I-214" y la otra mitad, son de madera de *Pinus pinaster* Ait.

Las probetas se sometieron a distintos tratamientos y posteriormente se calcularon las propiedades físicas siguientes: Densidad, Absorción de producto, Humedad tras los tratamientos con sales al 75,5% y 94% de humedad relativa, Contracción Volumétrica Total, Coeficiente de Contracción Volumétrica, Contracción Lineal Total e Higrscopicidad siguiendo normas UNE.

Los tratamientos que se dieron a las probetas fueron:

- Tratamiento 1 (O20): Inmersión simple durante una hora en un baño de aceite de girasol reciclado a temperatura ambiente.
- Tratamiento 2 (O80): Inmersión durante una hora en un baño de aceite de girasol reciclado caliente a 80°C.
- Tratamiento 3 (O130): Inmersión durante una hora en un baño de aceite de girasol reciclado caliente a 130°C.
- Tratamiento 4 (O170): Inmersión durante una hora en un baño de aceite de girasol reciclado caliente a 170°C.

El tratamiento tiene como objetivos estabilizar la madera dimensionalmente y preservarla, tanto cuando su humedad es alta, por encima del punto de saturación de las fibras, o previamente seca.

Las ventajas del procedimiento son varias: es fácil de seguir, estando al alcance de cualquier utilizador, los costes de inversión y funcionamiento son bajos, se adapta al empleo de sustancias que mejoran la resistencia al agua, constituye una salida para la reutilización de los aceites de la industria agroalimentaria o de subproductos de las industrias del aceite, permite utilizar productos con bajos impactos medioambientales y se puede aplicar sobre la madera verde. El tratamiento puede hacerse con diferentes compuestos que mejoran la resistencia al agua, como aceites, pudiendo contener los aditivos que se elijan. La utilización de cuerpos grasos hace que disminuyan los fenómenos de hinchazón y merma, que son las causas de la deformación de las

estructuras y de la aparición de fendas que facilitan la penetración de los agentes que alteran la madera.

Por tanto, este tratamiento mejora las propiedades esenciales que deben tener las maderas para su uso al exterior:

- Estabilidad dimensional conseguida por la combinación del tratamiento térmico y de la presencia de sustancias hidrófobas.
- Reduce la tasa de fisuras periféricas, elimina los agentes patógenos por esterilización y destruye ciertas sustancias tales como el almidón, apetecido por los insectos.

En la actualidad se está intentando definir las condiciones del proceso para diferentes dimensiones de madera y, así como comprobar la eficacia, la elección de los aceites, la formulación de los aditivos, y los costes de inversión y tratamiento.

El procedimiento permite abrir nuevos mercados a madera disponibles en gran cantidad pero de poca durabilidad natural como el chopo o difíciles de impregnar como el abeto o la píce. Como ya se ha comentado, el procedimiento permitiría reutilizar aceites alimentarios usados, ricos en ácidos grasos libres que pueden establecer enlaces con las hemicelulosas de la madera.



## 2. ANTECEDENTES

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 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, la higroscopicidad de la misma, y se analizará brevemente el tratamiento de Oleotermia utilizado en madera al exterior y el hongo azulado que presentan algunas probetas de *Pinus pinaster*.

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La madera fue el primer material empleado por el hombre debido a sus características como: facilidad de conformación, bajo peso específico, apariencia agradable y buenas propiedades mecánicas, térmicas y acústicas, etc.

Estas propiedades, entre otras, han dado a la madera un campo de aplicación muy variado, especialmente como material de la construcción. La principal característica de la madera es su diferenciación individual, que hace que cada especie tenga un comportamiento distinto, en función de la cual tendrá diferentes usos.

Esta heterogeneidad de la madera se refleja en sus propiedades físicas y mecánicas, y es causa de alguno de sus defectos y también de sus ventajas (Hermoso, 2001). Resulta necesario conocer estas características para poder asegurar la resistencia que cada especie tendrá a las sollicitaciones a las que será sometida. La clasificación físico-mecánica de las maderas es necesaria para el eficaz empleo y aprovechamiento de las mismas, siendo clasificadas previamente en grupos homogéneos en cuanto a calidad y resistencia.

Entre 1894 y 1904, el ingeniero de montes Joaquín M<sup>a</sup> Castellarnau y Lleopart, publicó las descripciones micrográficas del sistema leñoso de las especies forestales españolas.

De forma paralela a las investigaciones sobre el conocimiento de las características mecánicas de la madera en España, se realizaron experiencias en otros países, sin embargo no es hasta comienzos del siglo XX cuando se emprendió un estudio sistemático de las propiedades físicas y mecánicas de la madera basada en una metodología operativa normalizada (Hermoso et al., 2007).

El primer organismo en realizar esta tarea fue el Laboratorio de productos Forestales de EEUU. Posteriormente el ingeniero de Aguas y Bosques y director del laboratorio de maderas de la Aeronáutica militar francesa M. Monnin, establece el método que lleva su nombre para las investigaciones y ensayos con carácter práctico de las maderas.

Las variables humedad y densidad de la madera fueron las primeras propiedades en ser relacionadas con las características mecánicas permitiendo así además de comparar resultados realizados por distintos investigadores, rebajar la desviación en los resultados de los primeros ensayos (Conde, 2004).

Los estudios actuales sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera tienen por objeto demostrar científica y técnicamente que tanto la madera como los productos

derivados de la misma (tableros, madera laminada, etc.), son materiales aplicables con total garantía en el sector de la construcción (Guindeo y Peraza ,1976).

En relación con la Oleotermia, hay muy pocos estudios que se han centrado en los tratamientos de aceite a distinta temperatura. La compañía Alemana Menz Holz, fue unas de las empresas pioneras en este campo, después de ver que los tratamientos térmicos se llevaban a cabo a unas temperaturas entre 180°C y 260°C bajo condiciones de oxígeno bajas, tuvo la idea de empezar tratar la madera con aceite caliente en 2001.

En Francia se desarrolló un tratamiento de aceite caliente para el castaño. El proceso utiliza relativamente baja temperatura (120°C - 140°C) y según varios autores no se considera como tratamiento térmico en el sentido estricto, sino simplemente un sistema de tratamiento de aceite.

Otro proceso de tratamiento térmico de aceite, fue desarrollada en el CIRAD (Grenier et al 2003), éste se puede dividir en dos fases. La primera fase consiste en sumergir la madera en un baño de aceite a 160°C - 200°C. El agua, que está contenida en las células, se evapora gracias a la creación de una sobrepresión dentro de la madera. Ésta vaporización se mueve desde la superficie hasta el centro. Además, se genera una repulsión de vapor fuera de la madera, sobre todo en la dirección de la fibra. En la segunda fase, la pieza de madera se sumerge en un baño de aceite a una temperatura inferior a la temperatura de ebullición del agua. Entonces la madera se enfría dando lugar a la condensación del agua. La bajada de presión creada hace que el aceite penetre en la madera. El trabajo se realizó con aceite de cacahuete para el baño caliente, ya que es resistente a las altas temperaturas y aceite crudo de linaza para el baño frío.

En nuestro estudio trataremos de establecer métodos de mejora de las propiedades higroscópicas de la madera de dos especies de baja densidad y poco durables como son el *Populus x euramericana* y el *Pinus pinaster*, mediante la aplicación de tratamientos de Oleotermia y analizar los resultados obtenidos.

## 2.2. USO E IMPORTANCIA DE LA MADERA

La madera es la única materia prima renovable utilizada en gran escala. Únicamente podría compararse con la energía solar de la que realmente procede (García et al., 1992). Por este motivo, es posible considerar a la madera desde dos puntos de vista: uno energético y otro como elemento estructural y decorativo.

La madera es el material natural que, desde siempre, más ha sido utilizado por el hombre en construcción. Así, el hombre la ha utilizado para aportarle tanto energía como medios de construcción y utensilios primarios, beneficiándose de su excelente resistencia, su buen comportamiento y duración en uso y, por supuesto, su magnífica trabajabilidad con herramientas sencillas (Acuña, 2008).

Además de esto, la madera presenta una ventaja respecto del resto de materiales y es que, por su naturaleza, se trata de un recurso natural renovable (García et al., 1992). El consumo energético que se utiliza en su proceso de transformación está muy por

debajo de los del resto de materiales utilizados en este sector. Este hecho ya es importante por sí mismo, aunque hay que destacar que el aumento de sensibilización en las sociedades desarrolladas ha promulgado mucho más su uso, estableciendo incluso criterios y legislaciones que aseguren, de algún modo, el uso racional de los recursos.

De esto último, se deriva una nueva ventaja para la madera en el mercado de productos constructivos actuales ya que su entrada en la cadena de la gestión forestal sostenible, hace de ella un producto garantizado desde el punto de vista de su explotación, gestión, manejo y perpetuación en el monte, así como en su comercialización (Hermoso, 2001).

Así pues, referente a estos temas medioambientales cabría destacar dos aspectos importantes a la hora de utilizar madera. En primer lugar, el ciclo de vida de la madera como material es un ciclo cerrado, lo que hace que se le considere como un material realmente reciclable. En segundo lugar, la madera participa activamente como almacén de carbono y, sin lugar a duda, aumentar el consumo de los productos de madera incrementa el "stock" de carbono almacenado, y por tanto facilita el cumplimiento de los compromisos medioambientales de nuestros países (Acuña, 2008).

De este modo, es posible prever que la utilización de este material se vea enormemente incrementada tanto a corto como a largo plazo, por lo que cada vez más profesionales de este sector se están especializando en el conocimiento de madera.

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA: PROPIEDADES DE LA MADERA

La madera como material complejo, posee unas características que dependen no solo de su composición sino también de su constitución (o de la manera en que estén colocados los elementos que lo forman)

#### 2.3.1. Propiedades físicas

Son aquellas que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química en su estructura.

##### 2.3.1.1. Anisotropía

La madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que reconsidere. Esto hace que sea necesario referenciar el plano o la sección considerada. La madera, es más resistente a los esfuerzos axiales o tangenciales, siendo también de diferente comportamiento a la dirección radial. Fernández-Golfín et al., (2000) unifica las direcciones radial y tangencial en una única denominada transversal o perpendicular a la fibra. Por tanto, el análisis de cualquier propiedad deberá ser efectuado en esas dos direcciones: la longitudinal (paralela al eje del árbol) y la perpendicular. La necesidad de considerar valores diferentes para la

propiedad según esas dos direcciones representa la principal diferencia respecto de otros materiales estructurales como el hormigón y el acero.

#### 2.3.1.2. Heterogeneidad

Se puede decir que la madera es un material heterogéneo, puesto que los diferentes elementos anatómicos que la forman, se pueden combinar de forma distinta según la especie de madera considerada, pudiendo incluso existir diferencias dentro de la misma especie según su procedencia (Fernández-Golfín et al., 2000).

#### 2.3.1.3. Higroscopicidad

La madera es un material higroscópico que presenta una marcada afinidad por el agua, que hace que permanezca en equilibrio dinámico con las condiciones higrotermicas del medio en el que se encuentre, es decir, que tiende a absorber o a perder agua según las condiciones de humedad relativa y temperatura del aire. De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH).

#### 2.3.1.4. Humedad

El contenido de humedad de la madera se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra. Dado que la masa se determina mediante pesada, esta definición resulta equivalente si se utiliza el peso en lugar de la masa. El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera, es seguramente el más importante de todos los que dependen de este material, dado que afecta a todos los procesos de transformación de la madera.

#### 2.3.1.5. Hinchazón y merma

La variación del contenido en humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta su contenido se hincha, mientras que cuando se disminuye contrae o merma. Estos movimientos solo tienen lugar cuando su contenido en humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras, que tiene lugar aproximadamente con un 30% de humedad. A partir de ahí solo se produce un aumento de peso y su volumen permanece constante. Para analizar el fenómeno de hinchazón y merma, debe de tenerse en cuenta los aspectos de la anisotropía de la madera, la inercia higroscópica y la variabilidad de las distintas especies de madera.

#### 2.3.1.6. Punto de Saturación de la Pared Celular (PSPC)

El punto de saturación de la pared celular corresponde al máximo valor de la humedad de equilibrio higroscópico, el cual tiene lugar cuando la atmósfera circulante se encuentra totalmente saturada de vapor de agua. En este caso, no hay presencia de

agua libre, pero las paredes celulares se encuentran completamente saturadas de agua. La determinación de este valor resulta dificultosa debido a que varía de una especie a otra y a los factores con los que aumenta la humedad de equilibrio. De todos modos, es común tomar el valor de un 30% para todas las maderas. Este dato es muy importante en la práctica ya que por encima de él permanecen constantes las dimensiones y las propiedades mecánicas de la madera, produciendo una merma en las dimensiones y una mejora de las propiedades mecánicas, cuando está por debajo. (Álvarez & Fernández-Golfín, 1992).

#### 2.3.1.7. Densidad

Se define como la relación entre su masa y su volumen, y es necesario referirla a un determinado contenido de humedad. Generalmente el contenido de humedad de referencia es el 12%. La densidad depende de la especie y es muy variable. Sus valores abarcan desde los 300Kg/m<sup>3</sup> de las especies ligeras como la madera de balsa, hasta los 1200K/m<sup>3</sup> de las maderas pesadas como el guayacan o el lapacho (AITIM, 1994).

#### 2.3.1.8. Polaridad

La madera tiene carácter polar y por tanto tiene afinidad con los productos polares, como puede ser el agua, los pegamentos de carácter polar, los barnices, etc.

#### 2.3.1.9. Dureza

La dureza es la resistencia que opone la madera a la penetración de ciertos cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos entre otros. Está relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo. Las maderas se clasifican según su dureza en blandas, semi blandas y duras.

#### 2.3.2. Propiedades mecánicas

Según Fernández-Golfín et al., (2000), tradicionalmente, se han considerado como propiedades mecánicas:

- Resistencia a la Tracción paralela y perpendicular a la fibra.
- Resistencia a la Compresión paralela y perpendicular a la fibra
- Resistencia a la Flexión
- Resistencia al Esfuerzo Cortante.

En la actualidad la resistencia de la madera se suele expresar en forma de valor característico, el cual no es sino el valor del quinto percentil, en la mayoría de los casos, de una distribución de frecuencia de la resistencia. Representa pues, el valor de la resistencia que garantiza que el 95% de la población presenta una resistencia igual o superior al valor seleccionado.

#### 2.3.2.1. Resistencia a la tracción

La tracción es el esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

La madera, posee una elevada resistencia a la tracción paralela a las fibras, motivada por la elevada resistencia que las cadenas de celulosa presentan ante esta solicitud mecánica. Por otro lado, su resistencia a la tracción perpendicular es muy baja, del orden de 30 a 70 veces inferiores.

Esta falta de resistencia transversal, es debida a la orientación marcadamente longitudinal de la estructura de la madera, muy preparada para resistir las sollicitaciones de flexión a que se ve sometido un árbol en pie. Conforme la estructura transversal de una especie sea más marcada, esta tendrá una mayor resistencia a la tracción transversal. Esto se pone claramente de manifiesto en la aparición de fendas longitudinales en los elementos de directriz curva, así como en las uniones y apoyos en las que hagan acto de presencia estas sollicitaciones.

Se suele afirmar que la resistencia a la tracción viene muy afectada por la calidad de la madera pero que no es sensible a la humedad, de ahí que no suelen considerarse factores correctores (Fernández- Golfín et al., 2000).

#### 2.3.2.2. Resistencia a la compresión

Si se considera madera libre de defectos, su resistencia a la tracción paralela es mayor que la de compresión paralela. Este hecho se pone de manifiesto en el ensayo a flexión de probetas libres de defectos, en el que puede observarse que el fallo se suele producir por aplastamiento de las fibras en la zona comprimida. Por el contrario, en la madera clasificada (en madera sin defectos sería al revés), la resistencia a la compresión es mayor que la resistencia a la tracción, a la vez que la diferencia de valores entre las dos direcciones (paralela y perpendicular) es menos acusada.

La rotura de la madera solicitada a compresión no resulta clara ya que lo que produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, pudiendo el material seguir aguantando sollicitaciones.

#### 2.3.2.3. Resistencia a la flexión

Esta propiedad es una combinación de las dos citadas anteriormente, aunque por razones prácticas es frecuente considerarla como independiente.

La madera presenta una notable resistencia a la flexión, sobre todo si se compara con su densidad. El Módulo de Rotura (MOR) refleja la máxima capacidad de carga en flexión de un elemento y es proporcional al momento máximo soportado. El Módulo de Rotura es un criterio aceptado de resistencia aunque no es una medida real de la tensión porque la fórmula que se emplea para su cálculo solo es válida hasta el límite elástico.

La flexión de una pieza genera tensiones y compresiones de tracción paralelas a la fibra, que adoptan valores máximos en las fibras externas de la pieza y nulos en la fibra neutra.

El comportamiento a flexión de la madera es distinto al de la madera real ya que en el primer caso se puede observar que la rotura se produce por compresión (por aplastamiento de las fibras en la zona comprimida) y en el segundo por tracción (por rotura de las fibras de la zona traccionada), debido a la mayor incidencia que los nudos tienen en la resistencia a la tracción.

La resistencia a la flexión viene afectada no sólo por el tamaño de los nudos sino por su frecuencia, de forma que nudos grandes repetidos, aunque sean pocos, influyen más que los nudos pequeños muy abundantes. La influencia de la humedad es menos acusada que en compresión, presentando, como es lógico, un comportamiento intermedio entre tracción y compresión (Fernández-Golfín et al., 2000).

#### 2.3.2.4. Resistencia al esfuerzo cortante

El cortante es debido a sollicitaciones en dirección perpendicular a las fibras. Estas sollicitaciones pueden generar otras de tipo tangencial como consecuencia de la deformación de la madera.

La manifestación del cortante puede tener tres formas distintas:

- Cortante puro: las fibras son cortadas transversalmente por la acción del esfuerzo que se genera en dirección perpendicular a las fibras. El fallo se produce por aplastamiento y posterior rotura de las fibras. Este tipo de roturas es extraordinariamente raro en estructuras reales.
- Deslizamiento: producido por tensiones de tipo tangencial, generadas por la acción del cortante y provocadas por la deformación de las piezas de madera sollicitadas a flexión. La rotura se produce por deslizamiento de unas piezas sobre las otras en dirección longitudinal. La resistencia en este caso viene fuertemente afectada por la existencia previa de fendas .en la estructura.
- Rodadura: similar al anterior pero en dirección transversal, produciéndose la rodadura de unas fibras sobre las otras. Este tipo de rodadura se produce en casos contados, tales como el encuentro de alas y almas de perfiles de doble T o en tableros contrachapados. Su resistencia es del orden del 20% al 30% de la resistencia por desplazamiento.

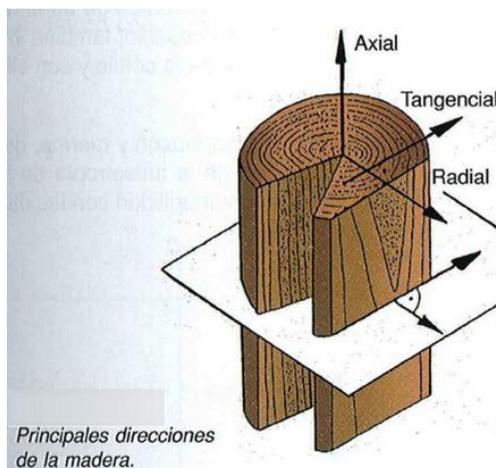
El módulo de rigidez, también llamado Modulo de Cortante (G), indica la relación E/G (Módulo de Elasticidad longitudinal/ Módulo de Cortante), de la relación luz/canto, del tipo de carga, de las condiciones de los apoyos, de la especie de madera, de su densidad y humedad.

La influencia del cortante en la deformación a flexión es mucho más marcada en la madera que en el hormigón y el acero; y por otro lado, la resistencia al cortante viene fuertemente afectada por el contenido de humedad de la madera.

## 2.4. ESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera es un material anisótropo e higroscópico. Es anisótropo porque sus propiedades físicas y en particular sus características mecánicas dependen de la dirección del esfuerzo con relación a sus fibras (Hermoso et al, 2007). Por otra parte es higroscópico porque su grado de humedad varía con el ambiente que le rodea, independientemente del agua que contenga por su propia constitución. Desde el punto de vista físico y mecánico de una muestra, la anisotropía se estudia, como se ha dicho anteriormente, considerándose las tres direcciones principales:

- Dirección axial o longitudinal: Es la paralela al eje de crecimiento del árbol y por lo tanto también a las fibras. Es la dirección donde la madera presenta mejores propiedades mecánicas. Resistencia elevada a la flexión, compresión y tracción.
- Dirección radial: Es la perpendicular a la axial y por lo tanto corta el eje del árbol en el plano transversal. Perpendicular a la fibra. En este plano la madera presenta buen comportamiento a la compresión.
- Dirección tangencial: Localizada también en la sección transversal, normal a la axial y la radial y tangente a los anillos de crecimiento. En este corte la madera presenta más deformaciones pero las vetas con mayor belleza.



**Figura 1:** Esquema de las principales direcciones de la madera (www.quimicasthai.wordpress.com).

Los factores que condicionan las propiedades de la madera son numerosos:

- Factores condicionados por el árbol, por encontrarse en época de crecimiento
- Factores edáficos, relacionados con la hidrología y geología.
- Factores climáticos (pluviometría)
- Factores de poblamiento, temperamento y métodos de explotación.
- Factores intrínsecos; parte del árbol, edad o época de apeo, que están condicionados por la madera.
- Planos de referencia: axial, radial o tangencial.
- Estructura de la madera: corteza, leño, médula, textura, anillos de crecimiento.
- Defectos formales (ya sean por la curvatura, entrecasco o entrecorteza, ahorquillado u oquedad, que invalidan las maderas para ciertos usos como la madera de mina) y estructurales (con irregularidades en los anillos,

- excentricidad del corazón, bolas de resinas, fendas, acebolladuras, pata de gallo, heridas, entre otros).
- Alteraciones por hongos que provocan distintas pudriciones, insectos, bacterias, etc.

## 2.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO

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

### 2.5.1. El género *Populus*

El encuadre taxonómico del género *Populus* según Engler (1964) es:

- *Angiospermae*
- Clase: *Dicotyledoneae*
- Subclase: *Archichlamydeae*
- Orden: *Salicales*
- Familia: *Salicaceae*
- Género: *Populus*

La Familia *Salicaceae* integra a 4 géneros y a unas 350 especies, en su mayoría pertenecientes a los géneros *Salix* (sauces) y *Populus* (chopos). Se localizan en su mayoría en las regiones templadas y frías del Hemisferio Boreal (López González, 1982).

Son árboles o arbustos de hojas simples, alternas, estipuladas y caducas en la estación desfavorable. Las flores son siempre de un sólo sexo (salvo muy raras excepciones) y se producen en pie de planta diferente las masculinas y femeninas; van agrupadas en espigas o amentos colgantes (*Populus*) o erguidos (*Salix*) y carecen de sépalos y pétalos, situándose en la axila de una bráctea o sobre un disco acopado; las masculinas tienen de 2 a 60 estambres, a veces acompañados de 1 ó 2 nectarios para atraer a los insectos (*Salix*); las femeninas tienen un pistilo formado por dos hojas carpelares que da un fruto en cápsula unilocular, con numerosas semillas cubiertas de finos pelos algodonosos, abridero en 2 (4) valvas; en *Salix* también con nectarios (1 ó 2).

En España se encuentran tres especies autóctonas (Soriano, 1993): *P. alba*, *P. tremula* (Sección *Leuce*, Subsecciones *Albidae* y *Trepididae*, respectivamente) y *P. nigra* (Sección *Aigeiros*); también cabe destacar al híbrido natural *Populus x canescens* Sm, único híbrido de reconocida espontaneidad en Europa y en España, formada por el cruce de *P. alba* y *P. tremula*, ambos de la sección *Leuce*. (Padró, 2001).

Los clones de chopo que se comercializan en España son aquellos que están incluidos dentro del primer Catálogo Nacional (BOE de 27-07-1992) y de su ampliación (BOE de 14-3-2003) donde se recoge la legislación española sobre comercialización del Material Forestal de Reproducción del género *Populus* (Tabla 1). Solamente en el Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del INIA del Ministerio de Educación y Ciencia se han experimentado más de 150 clones, unos para populicultura intensiva y otros con fines menos productivistas y más propios de una populicultura de sitios más difíciles con ciertas limitaciones (Grau, 2003).

**Tabla 1.** Clones admitidos como materiales de base del género *Populus*: Catálogo Nacional de 1992 y 2003 (Grau, 2003).

Catálogo Nacional de los clones admitidos como materiales de base del género <i>Populus</i> L. para la reproducción de materiales forestales de reproducción controlados (BOE de 27-07-1992).	Ampliación del Catálogo Nacional de los clones admitidos como materiales de base del género <i>Populus</i> L. para la reproducción de materiales forestales de reproducción controlados (BOE de 14-03-2003).
<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier	<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier
Agathe F.	2000 Verde
Campeador	B-1M
Canadá blanco	BL-Constanzo
Flevo	Branagesi
MC	Dorskamp
I-214	Guardi
I-488	I-454/40
Luisa Avanzo	NNDV
Triplo	<i>Populus nigra</i> L.
<i>Populus deltoides</i> Marsh x <i>Populus alba</i> L.	Bordils
114/69	Lombardo leonés
<i>Populus deltoides</i> Marsh	<i>Populus deltoides</i> Marsh
Lus	Viriato
<i>Populus nigra</i> L.	<i>Populus x interamericana</i> Brokehuizen
Tr 56/75	Boelare
<i>Populus trichocarpa</i> Torr. x <i>Populus deltoides</i> Marsh	Unal
Beaupre	USA 49-177
Raspalje	

La gran predisposición del género *Populus* a las hibridaciones naturales, ha hecho surgir a lo largo de la historia una serie de formas intermedias de gran importancia en la populicultura (Padró Y Orensanz, 1987). En España destaca *Populus x euramericana*, cuyas características se detallan a continuación.

#### 2.5.1.1. *Populus x euramericana* "I-214" (Dode) Guinier.

Es la especie básica de la populicultura europea y española. Crece muy bien en el área mediterránea. De madre *Populus deltoides* y padre *Populus nigra*, hibridó de forma espontánea cuando el hombre los llevó de un lado a otro del Atlántico, hace más de 300 años (Padró, 1992).

Esta especie híbrida es de características intermedias a las de sus parentales, así *P. deltoides* aporta sus mejores cualidades tecnológicas y *P. nigra* aporta su facilidad para el estaquillado y su mejor adaptación al medio por ser especie autóctona.

Son árboles que necesitan suelos fértiles, raíces cercanas a abundante agua en movimiento. Prefieren climas templados o templado-fríos, siendo difíciles de encontrar

en zonas de inviernos cálidos. El crecimiento es muy rápido, alcanzando hasta 40 m de altura y su producción maderera es muy alta, hecho que le hace muy preciado. La madera es muy blanda, ligera, de fibra homogénea, aptas para el aserrío, desenrollo y pasta, y presenta variaciones entre clones.

Se multiplican bien por estaquilla y su cultivo está orientado a la producción de la madera. Por sus cualidades de buen crecimiento y enraizamiento se ha seguido potenciando la hibridación artificial.

Los más utilizados en España son (Grau, 2003):

- *P. x euramericana* "I-214": por ser la especie de estudio, se trata más adelante.
- *P. x euramericana* "MC": Buen crecimiento (incluso superior al clon "I-214") y buena propagación vegetativa. Clon femenino italiano muy sensible a *Marssonina brunnea*, lo que le hace poco agraciado en lugares de fácil propagación del hongo.
- *P. x euramericana* "Luisa Avanzo": de origen italiano, de extraordinario fuste y gran facilidad para la poda, aunque hoy prácticamente no se utiliza por los problemas patológicos que presenta. No resiste heladas precoces en otoño ni estrés hídrico.
- *P. x euramericana* "Flevo" y "Triplo": clones masculinos, en general de buen comportamiento pero menos productivos que los anteriormente citados; son apreciados en parques y jardines.
- *P. x euramericana* "I-488": Clon femenino italiano, de alta producción y buena calidad de la madera; crecimiento más lento de lo habitual si se le compara con otros clones euramericanos; muy buena reproducción por estaquilla.
- *P. x euramericana* "Agathe": se suele utilizar en terrenos por encima de los 1000 m de altitud por su resistencia a heladas o nevadas fuertes; se utiliza donde otros clones más productivos presentan ciertos peligros.
- *P. x euramericana* "2000 Verde" y "NNDV": clones admitidos en la ampliación del catálogo nacional; utilizados por la Confederación Hidrográfica del Duero.
- *P. x euramericana* "Campeador": alcanzó cierta pujanza en los años sesenta y setenta, pero su parecido con el "I-214" le ha creado problemas de identidad y ha propiciado su desaparición.

#### 2.5.1.2. *Populus x euramericana* "I-214" (Dode) Guinier.

El clon "I-214" es un híbrido italiano hembra. Pertenece a la especie híbrida *Populus x euramericana* (Dode) Guinier. Obtenido en el Instituto de Casale Monferrato en 1929, comenzó a extenderse al finalizar la Segunda Guerra Mundial en Italia, y más tarde en la popicultura mediterránea (De la Cruz, 2005).

Las características principales del clon "I-214" son (Padró, 1992):

- Crecimiento: Muy rápido.

- Fuste: Ligeramente tortuoso, sensible a la rotura por viento.
- Corteza: Lisa y fina.
- Ramificación: Tendencia a formar rápidamente ramas gruesas; es muy exigente en podas, para evitar horquillamientos.
- Copa: Bastante amplia. Poca dominancia apical.
- Madera: Lisa y ligera. Calidad discutida. Válida para todas las aplicaciones industriales. Baja densidad (0,250-0,320 gr·cm<sup>-3</sup>). Pérdida media en desenrollo.
- Fenología: Foliación precoz. Defoliación a medio plazo. Buen aprovechamiento del periodo vegetativo.
- Plasticidad: Muy alta. Prefiere suelo fértil y ligero. No excesivamente turboso y gravoso. Prefiere clima cálido.
- Propagación vegetativa: Excelente, pocas marras en una plantación.
- Sensibilidad: A heladas precoces y tardías, al fototropismo y al viento.
- Producción: alcanza los 30-40 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> en España.
- Adversidades: Resiste a *Melampsora*, *Dothichiza*, *Xanthomonas* y *Venturia*. Sensible al virus del mosaico y a Marsonnina. Esta última no muy extendida por España debido a que las condiciones climáticas no son las adecuadas para su correcto desarrollo. Como especie de crecimiento rápido que es, es susceptible al ataque de barrenadores y defoliadores.
- Datos de interés: El "I-241" es el clon más utilizado en la populicultura española. El 90% de las choperas de Castilla y León lo utilizan (Grau, 1991). También es el más utilizado en Italia. Debido a su facilidad de cultivo y crecimiento rápido, se conocen muchos datos del "I-214", al utilizarse como patrón y testigo en ensayos experimentales con otros clones. Generalmente con turno silvícola de 12 a 14 años, y, financiero de 10 a 12 años, con un marco de plantación de 6 x 6 m.

#### 2.5.1.3. Propiedades de la madera

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Populus* se recogen a continuación (Tabla 2.):

**Tabla 2.** Propiedades de la madera del género *Populus* (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997).

Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	420/480	Flexió estática (N/mm <sup>2</sup> )	54-86,5
Contracción	Medianamente nerviosa	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	8100-9600
Coef. De contracción		Compresión axial	29-37
Volumetrica	14,3%	Compresión perpendicular	7,8
Tangencial	7,4%	Cortante	5-7
Radial	2,8%		
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 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/cm<sup>3</sup>.

En cuanto a otras propiedades, las tecnológicas, podemos decir que el aserrado es fácil. Su madera es apta para la obtención de chapa por desenrollado 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.

#### 2.5.1.4. Importancia de la especie

El chopo es una especie rentable que puede ofrecer rentas alternativas en las zonas rurales, lo que no deja de ser una herramienta fundamental para potenciar el desarrollo rural.

Teniendo en cuenta que el ciclo completo del cultivo, aprovechamiento y transformación de la madera genera beneficios económicos y sociales principalmente en las zonas rurales, además de favorecer la Gestión Forestal Sostenible, es lógico pensar que la pérdida de esta actividad económica o entorpecer su desarrollo, potenciará el desarraigo y el despoblamiento.

En particular, el cultivo del chopo supone una renta alternativa con gran tradición, se estima que por cada hectárea de chopos plantada existe una media de 5 jornales anuales en trabajos forestales, y para transformar su madera en productos que pueda utilizar el consumidor, se utilizan al menos 110 jornales más.

Desde otro punto de vista, cada 2 ha de chopo cortadas hay un puesto de trabajo fijo en la industria transformadora. Además de otros trabajos directos como los viveristas o investigadores que trabajan en el chopo y los empleos indirectos que crea.

Las empresas del sector de la madera suele estar situadas en el medio rural con el fin de estar lo más cerca posible de su fuente de materia prima. Por tanto, los jornales o puestos de trabajo creados por el ciclo del cultivo, aprovechamiento y transformación de la madera de chopo contribuyen activamente al mantenimiento del número de habitantes en los municipios donde se cultiva el chopo y por ende al reequilibrio territorial de la población, así como a la mejora de su calidad de vida.

Una de las oportunidades que ofrece el chopo, en aquellos casos en que el propietario no dispone de tiempo suficiente para dedicarse en exclusiva a la explotación agraria, al no vivir, por ejemplo, en la zona donde dispone de los terrenos, es que las características naturales de esta especie la hacen especialmente indicada como inversión a medio plazo. La mayoría de los cultivos agrícolas (más aun los de regadío) exigen una importante dedicación que no pueden mantener muchos propietarios. Con los cultivos forestales, y en concreto con las plantaciones de chopos, las actuaciones se distancian más en el tiempo, lo que permite al propietario mantener su actividad principal y obtener un beneficio extra a través de la plantación forestal. De esta forma, aquellos propietarios de terrenos forestales pueden seguir explotando de una manera respetuosa con el medio las parcelas que en su momento fueron objeto del cultivo agrícola, aprovechar estos terrenos mediante un uso forestal, menos intensivo del que caracteriza a la explotación agrícola.

#### 2.5.1.5. Uso de la especie

De los 600.000 m<sup>3</sup> que se cortan de media en España, más del 50% se destinan a la industria del tablero contrachapado, con usos en carpintería y mueble y especialmente en la fabricación de envases hortofrutícolas. El tablero contrachapado está formado con finas chapas de madera pegadas transversalmente una sobre la otra con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor con el objetivo de mejorar la estabilidad dimensional del chopo. Las fábricas más grandes están especializadas en tablero para envase, abasteciendo también a otros sectores como el del juguete, mueble, automóvil, etc.

La transformación del chopo genera además una actividad importante en el aserrado y desarrollo y se utiliza habitualmente en la fabricación de todo tipo de tableros. También es destacable su uso en la industria de la pasta y papel y últimamente está cobrando especial relevancia el impulso de las plantaciones de chopo con fines energéticos.

La industria del tablero contrachapado en España es una de las más importantes a escala europea y la principal consumidora de madera de chopo en España, por lo tanto se puede afirmar que esta industria junto con los otros subsectores de la primera y segunda transformación nombrados, impulsan su cultivo a través de la demanda.

El chopo tiene multitud de usos y proporciona una amplia gama de productos madereros (madera en rollo industrial, postes y estacas, pasta y papel, tableros reconstituidos, contrachapados, chapas, madera aserrada, envase, embalaje, palés y muebles), así como productos no madereros (forraje, leña) y otros bienes y servicios (abrigo, sombra y protección del suelo, del agua, de los cultivos, del ganado y de las viviendas).

### Aplicaciones

#### Decorativas:

- fabricación de muebles (fondos, cajones).
- revestimientos de paredes, techos y fachadas

#### Estructurales:

- tablero de cubierta y diafragma.
- entrevigado y diafragma de forjados (rectos y curvos).
- cerramiento y diafragma de muros.
- divisiones interiores, tabiques.
- alma de viguetas en doble T.
- encofrados.
- cajas de carga de camiones.
- suelos de autobuses.
- suelos especiales (velódromos, patinaje, etc.).

### 2.5.2. *Pinus pinaster* Ait.

#### 2.5.2.1. Descripción

*Pinus pinaster* Ait. es conocido también por pino marítimo, pino gallego, pino resinero o pino rodeno entre otros nombres. Es un árbol de media talla que puede llegar a medir los 40 metros aunque es más normal encontrarlo en torno a unos 20 m de altura. Tiene un sistema radicular muy desarrollado. Tanto la raíz principal como las secundarias son bastante penetrantes. El tronco es derecho, con la corteza gruesa, de color negruzco u oscuro y áspero, que con los años se va agrietando y volviéndose parduzca (Hermoso, 2001).

Cuando la planta es joven, tiene la copa piramidal. Cuando es adulto, ya es más redondeada provista de lóbulos agudos en los adultos, ocupando sólo el tercio superior del árbol. En individuos viejos, la copa es acampanada, deprimida y vacía en la parte interna del árbol.

*Pinus pinaster* Ait. es morfológicamente similar a otras especies del mismo género. Muestra varias adaptaciones a los incendios forestales. Estas adaptaciones se pueden apreciar al tener una floración temprana (en algunas poblaciones se pueden observar piñas en plántulas de 4 años), conos serótinicos y la corteza del tronco gruesa. La ramificación es erecta, con los verticilos más o menos regulares y los brotes de

color rojizo. Los macroblastos (ramas de crecimiento) tienen hojas escuamiformes (catafilos) desprovistas de clorofila. Los microblastos (formados por las acículas y su vaina basal), tienen hojas aciculares en fascículos de dos de 10-25 x 0.1-0.2 cm. Estas acículas permanecen en el árbol un tiempo de 2 a 3 años, son rígidas y mucronadas, de color verde intenso, acanaladas o planas en la cara interna y con el borde finamente aserrado y el ápice agudo (Alía y Martín, 2009).

Las flores masculinas son de 1 a 2 cm de largas y 4 a 6 mm de anchas, apuntadas o cilíndricas y muy numerosas. Están dispuestas en espigas de hasta 7 cm de longitud y presentan un color amarillento. Los estambres tienen dos sacos polínicos y se disponen de manera helicoidal sobre un eje y tienen una lámina grande y redondeada, algo dentada. Los granos de polen tienen dos sacos aeríferos. Los conos femeninos o estróbilos son erectos y pedunculados y tienen un tamaño de entre 8-22 x 5-8 cm. Son de forma cónica-oblonga, subsésiles, de color castaño brillante en la madurez e indehiscentes durante varios años. Las piñas miden entre 8 y 20 cm, son sentadas o subsentadas, revueltas, casi simétricas y de forma cónica alargada. La apófisis tiene el oblogo prominente, más o menos romboidal piramidal, pardo rojiza y lustrosa.

Los piñones son oblongos, de color oscuro negrozco por una cara y pardo por la otra, de hasta mm de longitud y con un ala articulada cuatro veces más larga que la semilla.

*Pinus pinaster* Ait. florece a finales de Marzo a principios de Mayo. La maduración de las piñas se da a finales del siguiente verano pero se abren durante la primavera del tercer año. Los piñones pueden caer hasta dos años más tarde.

#### 2.5.2.2. Hábitat y ecología

La especie *Pinus pinaster* Ait. se subdivide en dos subespecies (*atlantica* y *pinaster*) y en varias razas geográficas (*atlantica*, *mesogeensis*, *corteensis*, *maghrebiana*, *renoui*, etc.); aunque no se puede decir con exactitud, pues no existe una revisión completa para la especie.

Puede encontrarse en ambientes muy diferentes. Puede ascender desde el nivel del mar hasta los 2.100 m en el Alto Atlas (Marruecos). También puede encontrarse en áreas con más de 1.400 mm de precipitación anual y sin temporada seca, a otros con 350 mm y más de 4 meses secos. Los suelos en los que vive son ácidos, principalmente, aunque también se encuentra en suelos básicos y hasta en suelos arenosos y pobres como los sistemas dunares costeros, donde pocas especies con valor comercial pueden crecer (Alía y Martín, 2009). Vive entre 200 y 300 años.

Habita en todo tipo de suelos, aunque prefiere los suelos silíceos. Es una especie que soporta mal las sequías estivales muy prolongadas. Las precipitaciones varían entre los 500 y los 1100 mm anuales, con periodos de sequía entre uno y tres meses. Es una especie térmica, localizada en lugares con temperaturas anuales entre 10.1 °C y 14.6 °C y un periodo de heladas seguras bastante variable que puede superar los tres meses y medio.

### 2.5.2.3. Distribución

El pino negral es una conífera ampliamente distribuida en la cuenca del Mediterráneo occidental -Europa del Sur y África y la costa Atlántica en Portugal, España y Francia. La distribución natural de la especie en las islas se limita a Córcega y, de forma muy limitada, al norte de Cerdeña. Hay una población marginal en la isla de Pantelleria, cerca de la costa tunecina. La distribución natural actual de la especie ha sido afectada por dos factores principales, que han causado un alto grado de fragmentación: la discontinuidad y la altitud de las sierras, que causan el aislamiento de poblaciones incluso cercanas entre sí, y el impacto humano.

Actualmente, la especie se encuentra ampliamente distribuida mediante repoblación forestal en numerosos países (tanto dentro como fuera de su área natural). La diferenciación entre rodales autóctonos y no autóctonos es, en muchos casos, discutida. Se puede encontrar en regiones con limitado o con gran impacto humano. Este hecho presenta la oportunidad de ejercer una gestión forestal sostenible para la conservación de los recursos genéticos de coníferas ampliamente distribuida.

En España se encuentra en casi todas las provincias. Ocupa grandes extensiones en Galicia y en los sistemas montañoso Central, Ibérico y Bético. También se distribuye ampliamente por la submeseta norte. En la actualidad se extiende aproximadamente por 1.500.000 ha; de las que sólo 750.000 ha pueden considerarse masas naturales (Alía y Martín, 2009).

La madera de *Pinus pinaster* Ait. es de grano basto y anillos anuales muy aparentes, de albura blanco-amarillenta y duramen rojizo, con médula de color rojo vivo o marrón. Su peso específico en verde oscila entre 0.9 y 1.1 T/m<sup>3</sup>. Es regular para la construcción y se emplea mucho en carpintería, traviesas de ferrocarril, apeas de mina, embalajes y cajería. Es una de las maderas más resinosas del género. Tiene bolsas de resina muy localizadas, que pueden llegar a ser importantes.

El *Pinus pinaster* presenta mejores características resistentes que otros pinos, aunque un almacenamiento de más de cinco meses puede originar alteraciones en la madera. Por otra parte, esta madera es menos propensa a alterarse y posee menos irregularidades en comparación con otras maderas de la misma especie (Alía y Martín, 2009).

### 2.5.2.4. Propiedades de la madera

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* se recogen a continuación (Tabla 3):

**Tabla 3.** Propiedades de la madera de *Pinus pinaster* (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997).

<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Propiedades Mecánicas</b>	
<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	530/550	Flexión estática /(N/mm <sup>2</sup> )
		78

**Tabla 4 (Cont.).** Propiedades de la madera de *Pinus pinaster* (Fuente: Especies de maderas. AITIM, 1997).

Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas	
<b>Contracción</b>	Medianamente nerviosa	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	7230
<b>Coef. De contracción</b>		Compresión axial	39
	Volumetrica	14,5%	Compresión perpendicular
	Tangencial	7,6%	Cortante
	Radial	4,1%	
<b>Dureza</b>	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/cm<sup>3</sup> para la calidad ME1; MOR= 16,77 MPa, MOE= 8512,5 MPa y Densidad= 452,9 kg/cm<sup>3</sup> para la calidad ME2 y, por último MOR= 13,32 MPa, MOE= 8140,6 MPa y Densidad= 431,3 kg/cm<sup>3</sup> 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 desenrollo. 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.

#### 2.5.2.5. Importancia y uso de la especie

El pino negral es una de las especies forestales más importantes en España, Portugal y Francia. Los usos principales de la especie están relacionados con la madera y la producción de resina, así como la conservación y protección del suelo. Es una especie considerada de crecimiento rápido, más en la región atlántica, donde los turnos suelen ser de 40 a 50 años. En estas zonas, los usos principales son la pasta y el papel, la construcción, los tableros de partículas, los tableros para suelos y los pallets. Los turnos de otras regiones varían desde los 80 a los 120 años.

La resinación es uno de los usos más tradicionales de esta especie por su alta calidad. Después de casi llegar a desaparición, vive un auge debido al aumento del precio de las resinas naturales, convirtiéndose en un nicho importantísimo de trabajo en las zonas rurales del centro de la comunidad autónoma.

Esta especie es muy utilizada en programas de repoblación forestal para producción de madera o protección de suelo por tener una gran capacidad para crecer en suelos muy pobres y bajo sequía prolongada.

## 2.6. EL HONGO AZULADO O LA MANCHA AZUL.

Uno de los daños estéticos más comunes que afecta a las maderas recién cortadas son los hongos de azulado; son los de mayor presencia y lo que causan, es una decoloración en madera libre de defectos o de alta calidad que ocasiona importantes pérdidas por venta a un menor precio.

El hongo azulado es uno de los mayores y más comunes problemas que presentan las maderas a nivel mundial.

Es la más común de las coloraciones fúngicas de la albura, con aspectos de manchas azuladas. Característico de la albura pero puede presentarse en el duramen ligeramente coloreado de las maderas putrescibles; en general causado por especies de *Ceratocystis*, *Aureobasidium* y *Sphaeropsis*.

El hongo de la mancha azul puede aparecer en las siguientes circunstancias:

- Madera fresca, recientemente cortada.
- Madera almacenada.
- Madera en proceso de secado y que su porcentaje de humedad esté por encima del 20%.

Este hongo también puede ocasionar daños a árboles que aun estén de pie, esto se debe a que algún insecto lo ataque y esté infectado con el hongo. Normalmente el hongo se dispersa por insectos descortezadores (Coleóptera: *Curculionidea*, *Scolytinae*) que dañan el floema y el cambium vascular de coníferas (Gibbs, 1993).

El daño principal de este hongo es que ocasiona una depreciación de la madera, ya que el color original de ésta mudará. Ni las propiedades mecánicas ni físicas se ven afectadas. Según Rey-Prieto et al., (2012) el efecto del azulado es muy reducido en todas las propiedades de la madera, incluyendo densidad y variables relacionadas con la contracción en volumen y con la contracción transversal. Pero concluyen diciendo que la madera azulada presenta en dirección axial contracciones significativamente más altas que la madera no azulada.

El clima es un factor determinante para conocer cuál es el agente específico que la crea. El género *Ophiostoma* H. & P. Sydow es el que causa el manchado azul de la madera y produce pérdidas económicas importantes en bosques de coníferas (Gibbs, 1993).

En los últimos años en algunas masas de pino negral han aparecido focos en los que los pinos muestran síntomas de decaimiento. Estos focos, de expansión circular, se van extendiendo hacia el exterior siguiendo un patrón de mortalidad que podría estar causada por un agente fitopatológico de naturaleza fúngica. En EE.UU. Otrosina et al., (1999) llevaron a cabo un estudio abordando el problema del decaimiento de *Pinus palustris* (Mill.) en las masas del sur del país, encontrando que los hongos Ofiostomatales suelen estar relacionados con este tipo de problemas (Álvarez Bag. et al., 2009).

## 2.7. 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.

### 2.7.1. 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).

## 2.7.2. 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.

- 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

El tratamiento térmico o termotratamiento consiste básicamente en aplicar temperaturas cercanas o superiores a los 200°C, durante varias horas, en una atmósfera con un bajo contenido en oxígeno. Esta atmósfera “inerte” (necesaria para poder controlar debidamente el proceso) puede lograrse utilizando un líquido con medio de transmisión del calor (aceites vegetales) o bien reduciendo la presencia de aire mediante la introducción de vapor de agua o un gas (nitrógeno por ejemplo) (Sanz, et al, 2006).

En función de los medios empleados y de las condiciones de operación, se han desarrollado varios procesos en países como Francia, Alemania, Finlandia u Holanda. Básicamente, existe dos líneas de trabajo: cámaras de tratamiento en medio gaseoso o procesos en baño de aceite. Los principales cambios producidos en las características de la madera son:

- Cambio de color hacia tonos más oscuros, en grado variable, dependiendo del tratamiento aplicado. Este cambio de color no es estable ante el efecto de las radiaciones ultravioletas.
- Olor característico que, aunque disminuye rápidamente en intensidad, puede perdurar durante meses.
- Reducción de la humedad de equilibrio de la madera (en torno a un 50%) como consecuencia de la disminución de la presencia de grupos hidroxilo. Este hecho condiciona la absorción de agua confiriendo una mayor estabilidad dimensional a la madera.
- Las propiedades mecánicas se ven afectadas negativamente sobre todo en lo relativo a las características de resistencia a flexión dinámica y módulo de rotura a flexión (MOR). Esta disminución de resistencia varía dependiendo de las condiciones aplicadas en el proceso (temperatura fundamentalmente) pudiendo llegar a alcanzar valores incluso superiores al 50%. El módulo de elasticidad (rigidez del material) no se ve afectado negativamente de manera importante.
- La eliminación de resina y otros componentes volátiles inducen una pérdida del peso que puede estar comprendida entre el 5 y el 15%. La conductividad térmica se reduce en un 10-30%.
- Como consecuencia de la degradación de algunos componentes de la madera la durabilidad natural se ve mejorada significativamente, especialmente en lo relativo al ataque de hongos de pudrición. Ello permite utilizar la madera en las clases de riesgo 1, 2 y 3. Algunos estudios realizados permiten indicar que la madera tratada térmicamente no presenta una resistencia significativa frente al ataque de termitas.

Las características de la madera termotratada hacen preciso considerar algunas precauciones especiales:

- La madera posee características higroscópicas diferentes, lo cual afecta a la utilización de adhesivos base acuosa en su formulación, haciendo necesario prolongar los tiempos de prensado y curado (Sanz, et al, 2006).
- La madera posee una estructura más quebradiza, por lo que debe cuidarse especialmente el ajuste de las herramientas de corte. En las uniones se

recomienda practicar un taladro previo y utilizar tornillos de características especiales (paso de rosca mayor y cabeza ancha).

- La aplicación de procesos clásicos de acabado no presenta dificultades especiales.

Estudios realizados sobre pino marítimo en Francia ponen de manifiesto que no existe una influencia negativa ni sobre la adherencia ni sobre los resultados de los ensayos de envejecimiento (Sanz, et al, 2006). Estos ensayos, que han permitido constatar los efectos de la mejor estabilidad dimensional lograda, se realizaron aplicando durante 3 semanas un ciclo de tratamiento con exposición a lámparas ultravioletas de 300 W (24 minutos), secado en condiciones ambientales (27 minutos), inmersión en agua (12 minutos) y secado en condiciones ambientales (27 minutos).

- 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. En esta segunda etapa la madera está en contacto con un aceite de preservación.

El principio en que se basa el sistema es el crear en el seno de las piezas de madera una depresión interna que haga penetrar el líquido cargado de productos de tratamiento.

Las ventajas del procedimiento son varias: es fácil de seguir, estando al alcance de cualquier utilizador, los costes de inversión y funcionamiento son bajos, se adapta al empleo de sustancias que mejoran la resistencia al agua, constituye una salida para la reutilización de los aceites de la industria agroalimentaria (como es el caso de este estudio) o de subproductos de las industrias del aceite, permite utilizar productos con bajos impactos medioambientales y se puede aplicar sobre la madera verde.

El tratamiento puede hacerse con diferentes compuestos que mejoran la resistencia al agua, como aceites, pudiendo contener los aditivos elegidos. La utilización de cuerpos grasos hace que disminuyan los fenómenos de hinchazón y merma, que son las causas de la deformación de las estructuras y de la aparición de fendas que facilitan la penetración de los agentes que alteran la madera.

Estas sustancias constituyen una barrera física contra los intercambios de humedad y la penetración de agentes patógenos. Por tanto el tratamiento mejora las propiedades esenciales que deben tener las maderas para su uso al exterior:

- Estabilidad dimensional conseguida por la combinación del tratamiento térmico y de la presencia de sustancias hidrófobas.
- Durabilidad conseguida por los productos añadidos al aceite. Además el tratamiento Oleotérmico reduce la tasa de fisuras periféricas, elimina los agentes patógenos por esterilización y destruye ciertas sustancias tales como el almidón, apetecido por los insectos.

En la actualidad se está intentando definir las condiciones del proceso para diferentes dimensiones de madera y, así como comprobar la eficacia, la elección de los aceites, la formulación de los aditivos, y los costes de inversión y tratamiento.

El procedimiento permite abrir nuevos mercados a madera disponibles en gran cantidad pero de poca durabilidad natural como el chopo o difíciles de impregnar como el abeto o la píceas. Igualmente hay especies como el pino de Oregón, el roble o el alerce, cuyo duramen es durable pero no su albura. Algunas de estas especies son durables por los taninos, pero éstos terminan por lavarse al exterior; este procedimiento limitaría estas pérdidas.

El procedimiento además permitiría reutilizar aceites alimentarios usados, ricos en ácidos grasos libres que pueden establecer enlaces con las hemicelulosas de la madera.

### 2.7.3. Antecedentes de tratamientos de Oleotermia

En el presente trabajo fin de Máster se ha planteado aplicar distintos tratamientos de Oleotermia con el fin de mejorar la higroscopicidad de la madera. Respecto al tratamiento de aceite térmico (OHT) encontramos publicados otros artículos previos a nuestro estudio, que alcanzan las siguientes conclusiones:

- 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.
- Bak M & Németh R. (2012) investigó sobre madera de *Populus x euramericana*, 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 y 200°C durante 1,2 y 3 horas sobre chapas 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 concluyo 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 mejora en la resistencia a la pudrición contra los 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.
- Según Mohebbi et al. (2014) el tratamiento oleotermico disminuye considerablemente la cantidad de humedad absorbida por la madera. Así mismo, la disminución de la absorción se hace más notable cuando mayor es la temperatura en el tratamiento. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa los 140°C la resistencia de la madera desciende ligeramente.
- El centro de investigación francés CIRAD Forêt (Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement) en asociación con el CTBA y las industrias del sector, está desarrollando, poniendo a punto, un procedimiento para el tratamiento de madera de construcción basado en el baño de la madera en aceites a diversas temperaturas.



## 3. OBJETIVOS

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES



### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal es desarrollar técnicas de tratamientos con productos naturales para mejorar la estabilidad y durabilidad de maderas como *Pinus pinaster* Ait. y de especies poco durables como es el caso del género *Populus*.

Otros objetivos que se pretenden alcanzar en este trabajo son los siguientes:

- Describir el estado del arte de los tratamientos de Oleotermia (OHT) para la madera.
- Ensayar tratamientos por Oleotermia controlando variables como la duración y temperatura.
- Analizar propiedades físicas como la densidad, contracciones, la estabilidad dimensional, etc. de las muestras tratadas con los tratamientos planteados.
- Comparar los resultados de los tratamientos de Oleotermia planteados.



## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. DATOS GENERALES DEL ESTUDIO

El material objeto de estudio se compone de probetas de madera de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier y *Pinus pinaster* Aiton, adquiridas por el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid).

Para descartar otras fuentes de variación del material, las probetas se seleccionaron según la norma UNE 56-528-78 (AENOR. 1978):

- Libres de defectos anatómicos, con muy baja desviación de fibra y con anillos de crecimiento paralelos a las aristas.
- Con similar anchura de anillos de crecimiento de cada rodaja.
- Con un estrecho rango de variación de la edad cambial en las probetas procedentes de una misma rodaja. Es decir, se seleccionaron probetas distantes de la periferia de la rodaja (probetas sin rastros de corteza) y distantes de la medula (probetas de anillos rectos y sin rastros de medula). Todas de madera de albura.
- Con la superficie exterior completamente azulada o completamente libre de azulado, por estimación visual, sólo en el caso del *Pinus pinaster*.

Mediante este método de selección de probetas utilizado se elimina la presencia de defectos o singularidades como fuente de variación de propiedades físicas y se redujo la fuente de variación debida a la edad cambial y a la anchura de anillos.

Para ello, se han seleccionado y marcado 600 probetas de madera, de las cuales 300 son de *Populus x euramericana* I-214 de 2 x 2 x 6 cm  $\pm$  0,4 cm y la otra mitad de *Pinus pinaster* Ait., en este caso se han utilizado probetas con el hongo azulado y probetas sin el mencionado hongo.



Figura 2. Probetas de *Populus x euramericana* antes de los tratamientos.

Los tratamientos utilizados son los siguientes:

O20:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a temperatura ambiente durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O80:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 80°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O130:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 130°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O170:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 170°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

En el caso del pino, se han hecho los mismos tratamientos que para el chopo. Pero en los tratamientos O20 y O170 se han utilizado probetas que presentan el hongo azulado. La mitad de las probetas testigo también presentan el hongo azulado para poder hacer una buena comparativa.



Figura 3. Probetas de madera de *Pinus pinaster* antes del tratamiento.

## 4.2. EQUIPO DE TRABAJO

### 4.2.1. Balanza electrónica

La balanza electrónica utilizada para pesar las muestras en todos sus estados fue de 0,1 g de precisión.



Figura 4. Balanza electrónica.

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

#### 4.2.2. Calibre o pie de rey

El calibre, también llamado pie de rey, es el instrumento utilizado para la medición con precisión de las dimensiones de las probetas (ancho, largo y espesor). Con este aparato se pueden realizar mediciones de exteriores, interiores y profundidades con la sonda que incorpora. Su medida máxima depende de la longitud de la regla fija que incorpore.

Su precisión depende de las partes en que esté dividida la regla móvil. El calibre utilizado en este estudio tiene una precisión de 0,01 cm.

El pie de rey, junto con la balanza, han sido los dos instrumentos más utilizados en la realización de este proyecto. Las mediciones realizadas de ancho, largo y espesor, se han utilizado para calcular el volumen de las probetas, para estimar posteriormente la densidad de las mismas, relacionándolas con el peso de cada una de ellas.

#### 4.2.3. Freidora

La freidora que se ha utilizado es el modelo HDF20-13. Ésta freidora doméstica se ha utilizado para hacer los distintos tratamientos de Oleotermia a distinta temperatura a las probetas del estudio.



**Figura 5.** Freidora HDF 20-13.

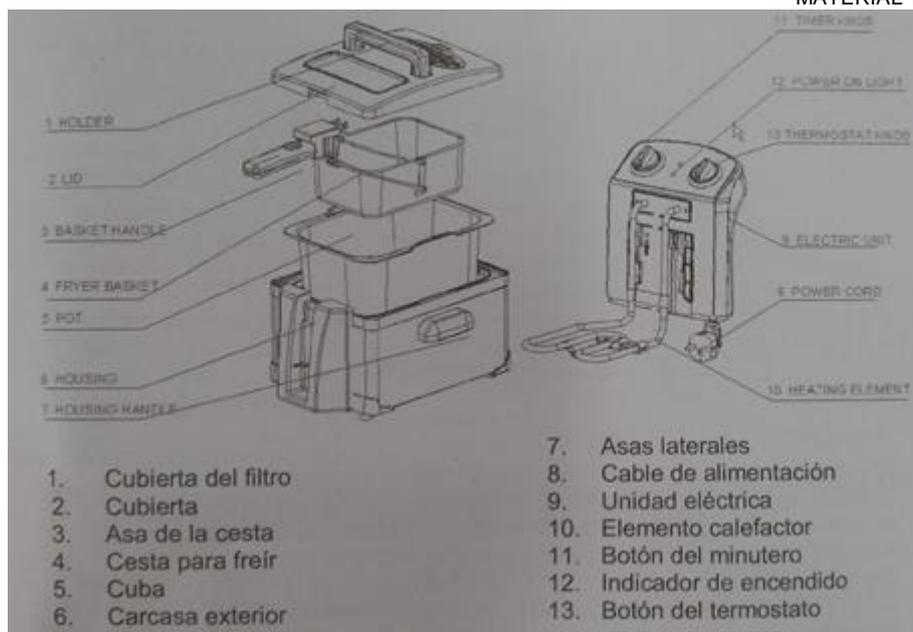


Figura 6. Plano de la freidora HDF 20-13.

#### Características:

- Tensión de alimentación: 220-240 V – 50/60 Hz
- Potencia de alimentación: 1800-2150 W
- Clase de protección: I
- Capacidad de la cuba: 3 Litros
- Capacidad de la cesta: 1 Kg
- Rango de temperaturas: 80- 190°C
- Rango de tiempo: 0- 60 min.

#### 4.2.4. Estufa

Este método que se ha seguido es aplicable a maderas con cualquier contenido de humedad, sirve para determinar el contenido de la humedad de lotes de piezas de madera y probetas destinadas a ensayos de laboratorio.

La estufa es un armario como el que aparece en la Figura 7. Esta estufa ha sido utilizada en el secado de las probetas hasta conseguir el estado anhidro. Fue utilizada para alcanzar una humedad en las probetas del 0%, (a temperatura constante de 103 ± 2 °C.).



Figura 7. Estufa.

#### 4.2.5. Desecador

Un desecador es un gran recipiente de vidrio con tapa que se adapta ajustadamente. El borde de vidrio es esmerilado y su tapa permite que el recipiente este herméticamente cerrado. El propósito de un desecador es eliminar la humedad de una sustancia, o proteger la sustancia de la humedad como es en nuestro caso, ya que si después de la estufa dejáramos las probetas a fuera, cogerían humedad en muy poco tiempo. Como ya se ha dicho, ha sido utilizado para guardar las probetas una vez sacadas de la estufa antes de pesarlas y realizar sus determinaciones en su estado anhidro.



Figura 8. Desecador.

#### 4.2.6. Productos utilizados en el estudio

- Aceite de girasol reciclado de uso alimentario.
- Nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) y Cloruro de sodio ( $NaCl$ ).

#### 4.2.7. Otros

Han sido utilizados otros instrumentos como un colador para la limpieza del aceite reciclado, beakers, guantes, pinzas, papeles absorbentes, termómetro y cajas de cartón y 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* ha sido 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 han estabilizado a temperatura ambiente, en total se han seleccionado un total de 600 probetas con la mejor orientación radial, libres de nudos y otras imperfecciones, siendo seleccionadas 300 de cada especie. De las cuales, 240 se han destinado a los tratamientos de Oleotermia y 60 se dejaron como probetas testigo.

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

Posteriormente se ha numerado cada probeta y se ha obtenido el peso inicial de todas ellas con la balanza digital (Figura 9). 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 0,01 cm.



Figura 9. Medición de las probetas.

#### 4.3.2. Tratamientos

Los tratamientos de Oleotermia realizados son los siguientes:

O20:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a temperatura ambiente durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O80:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 80°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O130:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 130°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

O170:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 170°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

En el caso del pino, se han hecho los mismos tratamientos que para el chopo. Pero en los tratamientos O20 y O170 se han utilizado probetas que presentan el hongo azulado. La mitad de las probetas testigo también presentan el hongo azulado para poder hacer una buena comparativa.

Después de haber realizado los tratamientos, se ha procedido a calcular las variables que nos interesan.



**Figura 10:** Probetas de *Populus x euramericana* después de los tratamientos



Figura 11: Probetas de *Pinus pinaster* después de los tratamientos.

#### 4.3.3. Determinación de la Densidad

La densidad de las probetas se ha determinado según lo dispuesto en la norma UNE 56-531-77 "Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico".

Para determinar la densidad se han utilizado todas las probetas, primero se han medido todas las dimensiones de las probetas mediante medida directa con calibre para determinar su volumen, y después se han pesado mediante una balanza para saber su masa.

La densidad o peso específico se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

$\rho$ = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

m= Peso de la probeta determinado mediante una balanza.

v= Volumen de la probeta determinado mediante medida directa con calibre.

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

#### 4.3.4. Determinación de la Humedad

Para determinar el contenido en humedad se han utilizado 5 probetas de cada tratamiento y 5 probetas testigo, después de haberse estabilizado la humedad durante dos semanas siguiendo la metodología que aparece en la norma UNE 56-529-77: "Determinación del contenido en humedad por desecación hasta el estado anhidro".

Previamente, se ha realizado una pesada de las probetas en una balanza electrónica de precisión 0,1g. Posteriormente se han introducido en la estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas hasta que alcanzan un peso estable (la diferencia de dos pesadas consecutivas difieren menos de 1/200). A este peso estable se le conoce como peso anhidro.



**Figura 12.** Probetas en la estufa para la determinación de la humedad.

El contenido en humedad, medido como porcentaje se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$H = \left( \frac{Ph - P0}{P0} \right) \times 100$$

Siendo:

H= Contenido en humedad de la probeta (%)

Ph= Peso húmedo de la probeta (g)

P0= Peso anhidro de la probeta (g)

#### 4.3.5. Determinación de la absorción de la humedad a diferentes humedades de equilibrio higroscópico.

Este tratamiento consiste en mantener las maderas durante un tiempo aproximado de dos semanas en el ambiente que proporcionan las sales de Nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) al 95% de humedad relativa y el cloruro de sodio (NaCl) al 75% de humedad relativa

Como ya se ha dicho, en este estudio se han utilizado disoluciones de cloruro de sodio (NaCl) y nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) en recipientes herméticamente cerrados para mantener la humedad relativa constante, solo basta con saber la concentración al hacer la disolución.

Un inconveniente es la dificultad de encontrar sales que abarquen toda la gama de humedad relativa que interesa. En el siguiente cuadro aparecen los datos de humedades relativas, en función de la temperatura, que se mantienen con soluciones de las sales antes citadas.

**Tabla 5.** Humedades relativas mantenidas con soluciones saturadas de sales a distintas temperaturas.

Sal	Solubilidad a 40°C (gr/100gr agua)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
KNO <sub>3</sub> (Nitrato de potasio)	63,9	10	95
		15	95
		20	94
		25	93
		30	92
NaCl (Cloruro de sodio)	40	0	74,9
		20	75,5
		30	75,6
		40	75,4
		50	74,5

Para ello, se han colocado 20 probetas de cada tratamiento, en cada uno de los recipientes de plástico con diferente humedad relativa donde se encuentra las distintas soluciones, las probetas se han colocado sin que éstas tomen contacto directo con la mezcla.



**Figura 13.** Probetas de *Pinus pinaster* en recipientes de plástico con sales de Nitrato de potasio y Cloruro sódico.

Antes de meter en las disoluciones de sales se han pesado todas las probetas para saber el peso inicial. Para preparar las disoluciones se ha calentado el agua a 40°C y se ha mezclado con las sales. Para conseguir una humedad del 94% se han mezclado 639 gr de Nitrato de potasio con un litro de agua y para conseguir 75,5% de humedad se han utilizado 400 gr de Cloruro de sodio.

Una vez transcurrido dos semanas en el recipiente con sales, se han pesado las probetas y se han sometido durante 48 horas a 103°C en la estufa para que pierdan la humedad tomada y se obtiene el peso anhidro, con el fin de calcular la humedad de equilibrio higroscópico de la madera en los ambientes a las que las hemos sometido.

Para su cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$H = \left( \frac{Ph - P0}{P0} \right) \times 100$$

Siendo:

H= Contenido en humedad de la probeta (%)

Ph= Peso húmedo de la probeta (g)

P0= Peso anhidro de la probeta (g)

Este método es el preferido por muchos autores por las ventajas siguientes:

- La misma solución de sal se puede usar con diversas temperaturas, sin grandes variaciones en el valor de la humedad relativa

- Las sales son menos corrosivas que los ácidos y causan menos daño a los operadores durante su manejo
- Aunque el material higroscópico pierda o gane humedad en cantidades relativamente grandes, la solución permanece saturada, siempre que se deje un depósito de cristales de sal en el fondo de la solución.

#### 4.3.6. Determinación de las contracciones

Para calcular las contracciones se ha seguido la norma UNE 56-533-77 "Determinación de las contracciones lineal y volumétrica".

Para esto se han seleccionado 15 probetas de cada tratamiento, se han sumergido las probetas en agua a temperatura ambiente manteniéndola así hasta sobrepasar la humedad de saturación, que se estima se consigue después de 24 h de inmersión.



**Figura 14.** Probetas en agua durante 24 h.

Se ha medido las dimensiones de la probeta con aproximación de 0,1mm después de sacarla del agua, y se ha calculado con estas medidas el volumen saturado  $V_s$ . Se han dejado las probetas en atmosfera ambiente hasta que alcance el estado de equilibrio higroscópico, lo que se comprueba realizando pesadas sucesivas con intervalos de 24h hasta que dos pesadas consecutivas difieran en menos de 1/200 de la primera de ellas. Después se han medido sus dimensiones, con las que se calcula el volumen a la humedad de equilibrio  $V_h$ . Para terminar se han secado las probetas en estufa hasta el estado anhidro, entonces se han medido sus dimensiones con aproximación de 0,1mm con lo que se calcula el volumen anhidro  $V_0$ .



**Figura 15.** Probetas en la estufa para calcular las contracciones

La obtención de los resultados se ha hecho de la siguiente manera:

Contracción volumétrica total

La contracción volumétrica total se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{V_s - V_0}{V_0} \times 100$$

Siendo:

$C_v$  = Contracción volumétrica total en porcentaje.

$V_s$  = Volumen saturado en centímetros cúbicos.

$V_0$  = Volumen anhidro en centímetros cúbicos.

Coefficiente de contracción volumétrica

El coeficiente de contracción volumétrica se calcula con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{V_H - V_0}{V_0 \cdot H} \times 100$$

Siendo:

$v$  = Coeficiente de contracción volumétrica en porcentaje.

$V_H$  = Volumen a la humedad de equilibrio higroscópico en centímetros cúbicos.

$H$  = Humedad de equilibrio higroscópico, determinada según la norma UNE 56-529-77 y utilizando los pesos obtenidos durante el proceso operatorio.

#### Coeficiente lineal total

La contracción lineal total se calcula con la siguiente formula:

$$C_l = \frac{L_S - L_0}{L_0} \times 100$$

Siendo:

$C_l$  = Contracción lineal total en la dirección que se considere, longitudinal, radial o tangencial, expresada en porcentaje.

$L_S$  = Longitud de la probeta en la dirección que se considere para la madera saturada, en centímetros.

$L_0$  = Longitud de la probeta en la dirección que se considere para la madera anhidra en centímetros.

#### 4.3.7. Higroscopicidad

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

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

Dónde:

$h$  : Higroscopicidad en kilogramos por metro cúbico.

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

$r_{12}$ : Peso específico en kilogramos por metro cúbico al 12 % de humedad. El resultado se expresa con aproximación de 0,1 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Para el tratamiento estadístico de los datos, se ha utilizado la herramienta informática Stargraphics Centurion XVI. Para ello, los datos han sido recopilados en un fichero de Microsoft Excel.

En primer lugar, se ha realizado una estadística descriptiva de cada una de las variables objeto a estudio. Posteriormente se procedió a una serie de análisis comparativos mediante el análisis de la varianza.

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 (Análisis 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

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos, de los ensayos efectuados mediante 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 XVI, y se consideran como variables aleatorias la densidad, absorción de producto, humedad tras someter los tratamientos a unas humedades relativas de 75% y 94%, contracción volumétrica total, coeficiente de contracción volumétrica, contracción lineal total, así como la higroscopicidad.

### 5.1. ESTADISTICA 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 600 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:

O20:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a temperatura ambiente durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O80:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 80°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O130:

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 130°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

O170:

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS  
MASTER INGENIERÍA DE MONTES

- Tratamiento mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a 170°C durante 60 minutos.
- Estabilización a temperatura ambiente 2 semanas.

- **Análisis descriptivo de la Densidad en las probetas de *Pinus pinaster*.**

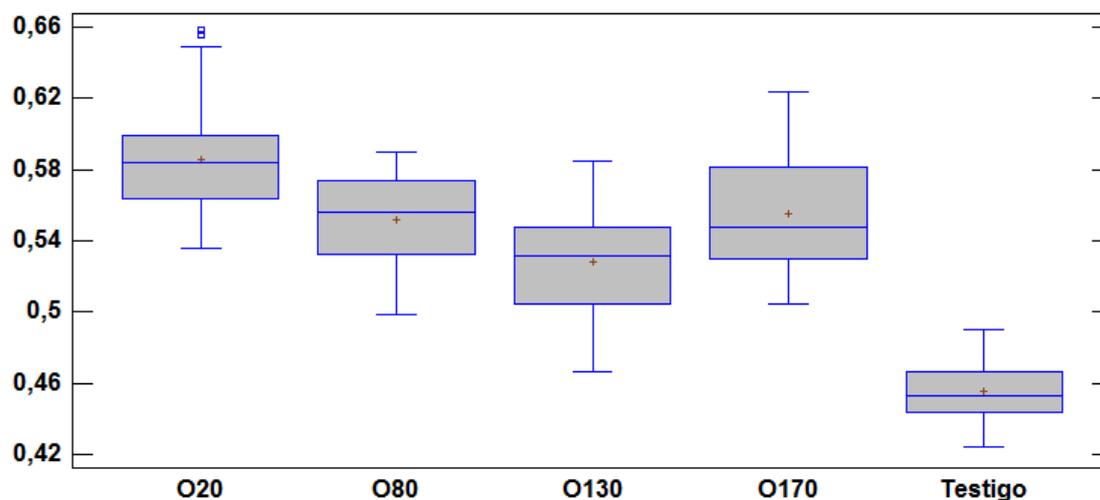
En la Tabla 5. se muestra un resumen de los resultados de las densidades obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos en las probetas de *Pinus pinaster*.

**Tabla 6.** Valores descriptivos de la Densidad en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )
O20	47	0,585	0,028	4,889	0,536	0,657
O80	57	0,551	0,024	4,406	0,498	0,590
O130	51	0,528	0,031	6,043	0,466	0,584
O170	52	0,555	0,030	5,435	0,504	0,623
Testigo	54	0,455	0,016	3,528	0,424	0,490

La media más alta de las densidades se obtienen sometiendo a las probetas de *Pinus pinaster* a los tratamientos de Oleotermia O20 y O170, que son precisamente las probetas que presentan el hongo azulado. La media más baja de las densidades se obtiene sometiendo las probetas al tratamiento O130. Este último resultado coincide con varios autores (Sanz F. et al., 2006), ya que se evaporan ciertos compuestos volátiles de la resina.

A continuación, en la Figura 16. se muestran gráficamente los datos de la anterior tabla.



**Figura 16.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Densidad en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

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

Al igual que en el *Pinus pinaster* se analizó la densidad en los distintos tratamientos para la madera de *Populus x euramericana* "I-214". En la Tabla 6. se muestra un resumen de los resultados de las densidades obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214".

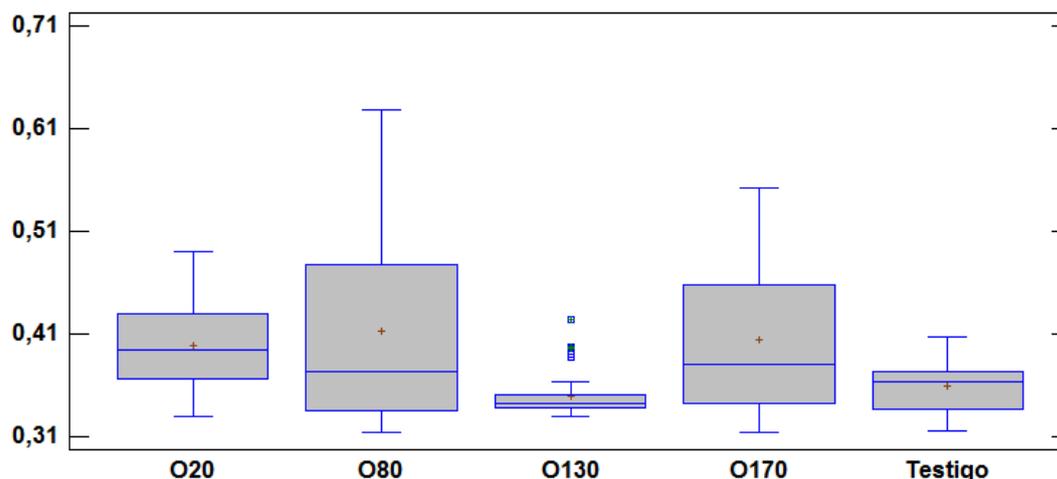
**Tabla 7.** Valores descriptivos de la Densidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación típica	Coficiente de variación (%)	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )
O20	59	0,398	0,047	10,496	0,330	0,585
O80	60	0,412	0,089	21,786	0,314	0,627
O130	59	0,349	0,019	5,475	0,329	0,423
O170	60	0,407	0,074	18,361	0,315	0,574
Testigo	59	0,359	0,023	6,673	0,315	0,407

Los valores más bajos de densidad se alcanzaron al aplicar el Tratamiento 3 (130°C) y el Tratamiento 4 (170°C). Estos resultados obtenidos coinciden con otros autores que han aplicado termotratamientos como Korkut et al. (2013), observando que la densidad

disminuye al aumentar la temperatura de los tratamientos. Según Esteves y Pereira (2009), la degradación de la hemicelulosa a sustancias volátiles y la evaporación de las extractivas son los principales parámetros responsables de la reducción de la densidad. El coeficiente de variación de los distintos tratamientos nos muestra la heterogeneidad de los datos, siendo el tratamiento O20 el que posee mayor homogeneidad.

A continuación, en la siguiente Figura 17., se muestran los datos de la tabla anterior de forma gráfica:



**Figura 17.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Densidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

### 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 aceite aplicado en cada tratamiento, y la diferencia que existe entre esta variable para los distintos tratamientos.

- **Análisis descriptivo de la Absorción de Producto en las probetas de *Pinus pinaster*.**

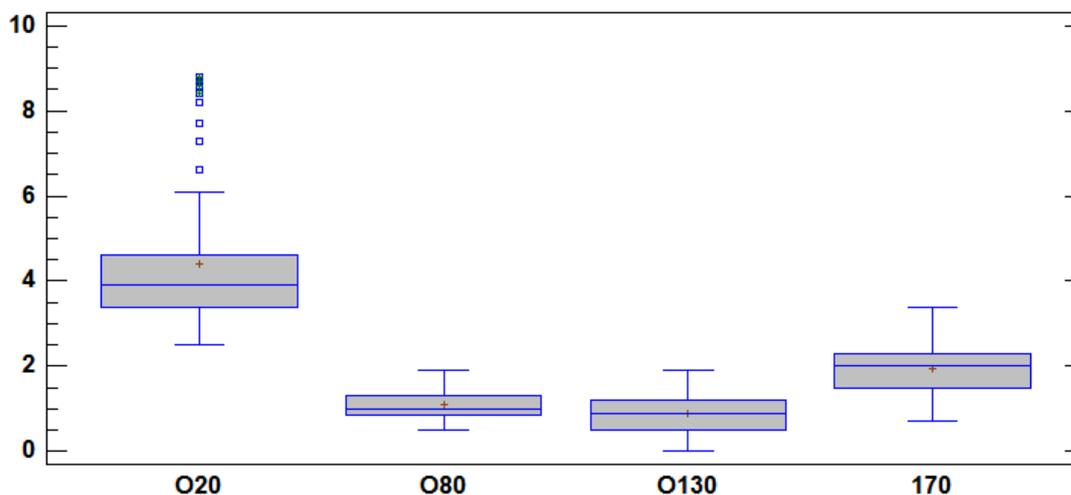
En la Tabla 7. se muestra un resumen de los resultados de la Absorción de Producto obtenido después de aplicar los distintos tratamientos en las probetas de *Pinus pinaster*.

**Tabla 8.** Valores descriptivos de la Absorción del Producto en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (g)	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)
O20	57	4,392	1,697	38,633	2,5	8,8
O80	60	1,091	0,312	28,636	0,5	1,9
O130	56	0,894	0,435	48,718	0	1,9
O170	58	1,951	0,601	30,805	0,7	3,4

Las medias más altas de absorción de producto se obtienen con los tratamientos O20 y O170, que son los tratamientos en los que se ha utilizado las probetas que presentan el hongo azulado. En la absorción del producto, habiendo una estrecha relación con la densidad, se ve que cuando aumenta la temperatura disminuye la absorción de producto. Atendiendo al coeficiente de variación, se puede decir que el tratamiento más homogéneo es el O80. Sin embargo, todos los tratamientos han arrojado datos bastante heterogéneos.

En la Figura 18. se muestra de forma gráfica la Absorción de Producto obtenido después de aplicar los distintos tratamientos en las probetas de *Pinus pinaster*.



**Figura 18.** Gráfico de Caja y Bigotes de la absorción en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

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

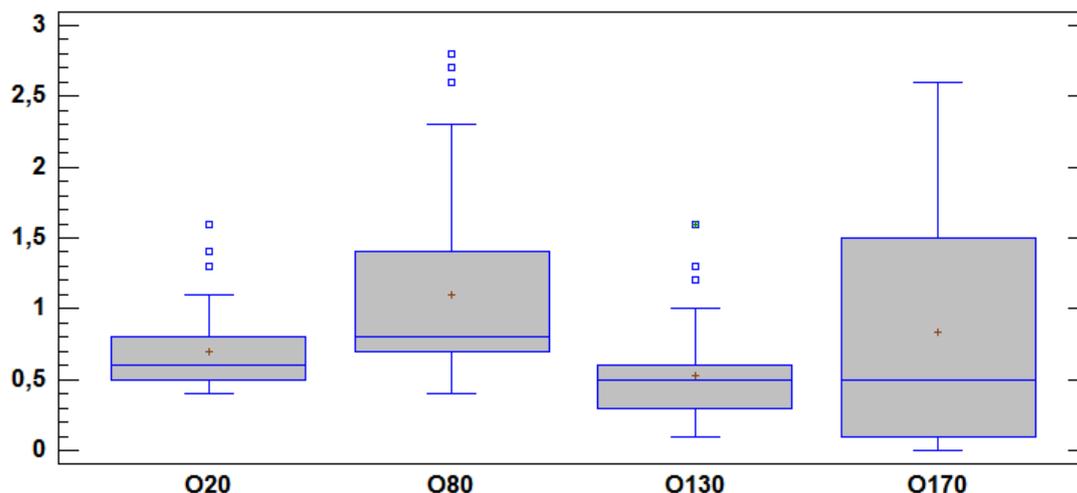
Como en el caso anterior, se estudian sobre un total de 300 probetas la absorción de los distintos tratamientos en la madera de *Populus x euramericana* "I-214". El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 9.** Valores descriptivos de la Absorción del Producto en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nº Ensayos</b>	<b>Media (g)</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Coefficiente de variación (%)</b>	<b>Mínimo (g)</b>	<b>Máximo (g)</b>
<b>O20</b>	<b>56</b>	<b>0,703</b>	<b>0,273</b>	<b>38,897</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>
<b>O80</b>	<b>51</b>	<b>1,103</b>	<b>0,660</b>	<b>59,868</b>	<b>0,4</b>	<b>2,8</b>
<b>O130</b>	<b>49</b>	<b>0,524</b>	<b>0,341</b>	<b>65,185</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>
<b>O170</b>	<b>42</b>	<b>0,833</b>	<b>0,839</b>	<b>100,702</b>	<b>0</b>	<b>2,6</b>

Analizando la tabla anterior se puede ver que la media más alta de la absorción de producto en la madera de chopo se obtiene en el tratamiento O180, que supone un aumento del 12,1% del peso inicial, seguido del tratamiento de inmersión O170 con un aumento del 11,8% respecto del peso inicial, estos resultados son menores a los publicados por Bazzyar (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 que las empleadas en este trabajo. Por otro lado, el menor resultado se ha obtenido al aplicar a las probetas el tratamiento O130.

Los datos de la tabla anterior se pueden apreciar de manera gráfica en la Figura 19.



**Figura 19.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Absorción en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

### 5.1.3. Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 75,5% 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* "I-214" (previamente tratadas con sus distintos tratamientos), con sales de Cloruro de sodio durante un periodo de tiempo de unos 15 días, al 75,5% de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa en las probetas de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 9. se muestra un resumen de los resultados de la Humedad tras los tratamientos con sales de Cloruro de sodio después de estar durante un periodo de tiempo de unos 15 días al 75,5 % de humedad relativa.

**Tabla 10.** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos con sales al 75,5% de humedad relativa.

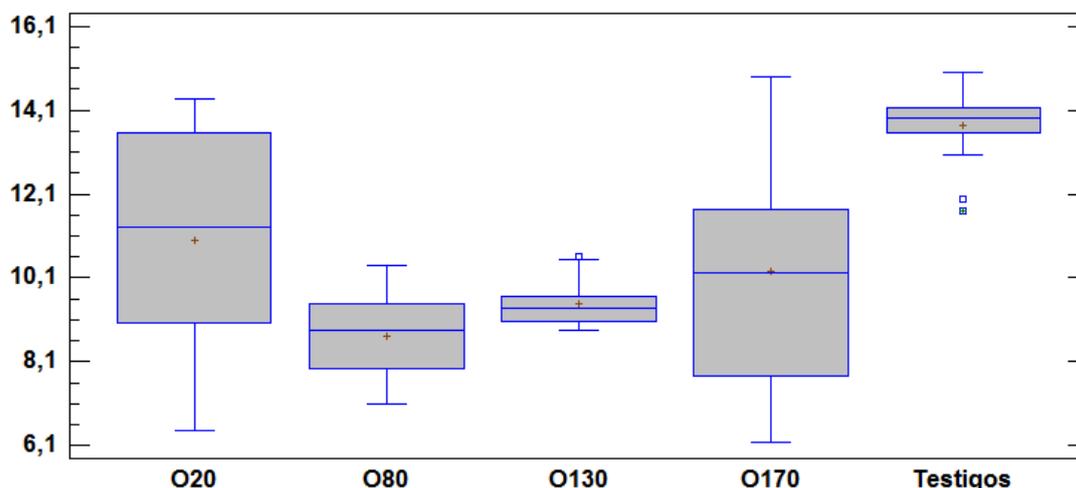
Tratamiento	Nº Ensayos	Media (%)	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O20	18	10,990	2,708	24,639	6,451	14,367

**Tabla 10 (Cont).** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos con sales al 75,5% de humedad relativa.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (%)	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O80	18	8,699	0,912	10,494	7,086	10,4
O130	20	9,471	0,546	5,766	8,849	10,619
O170	18	10,254	2,922	28,501	6,172	14,906
Testigos	20	13,734	0,785	5,720	11,711	15,0

En la tabla de arriba se puede observar que los mayores datos medios de humedad se han alcanzado en las probetas testigo y en el tratamiento O20, siendo lógico este resultado debido a que a las probetas testigo no se les hicieron ningún tipo de tratamiento y el tratamiento O20 es el tratamiento más liviano que hemos aplicado en el estudio. Los datos de humedad más bajos los presentan los tratamientos O80 y O170 como era de suponer. En general la aplicación de Oleotermia disminuye la captación de humedad como se ha visto en la madera de pino. Las conclusiones que arroja el coeficiente de variación de los diferentes tratamientos empleados, es que los datos obtenidos no son muy homogéneos, siendo el tratamiento de O130 el que cumple con mayor homogeneidad.

Los datos de la tabla anterior se pueden apreciar de manera gráfica en la Figura 20.



**Figura 20.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214".**

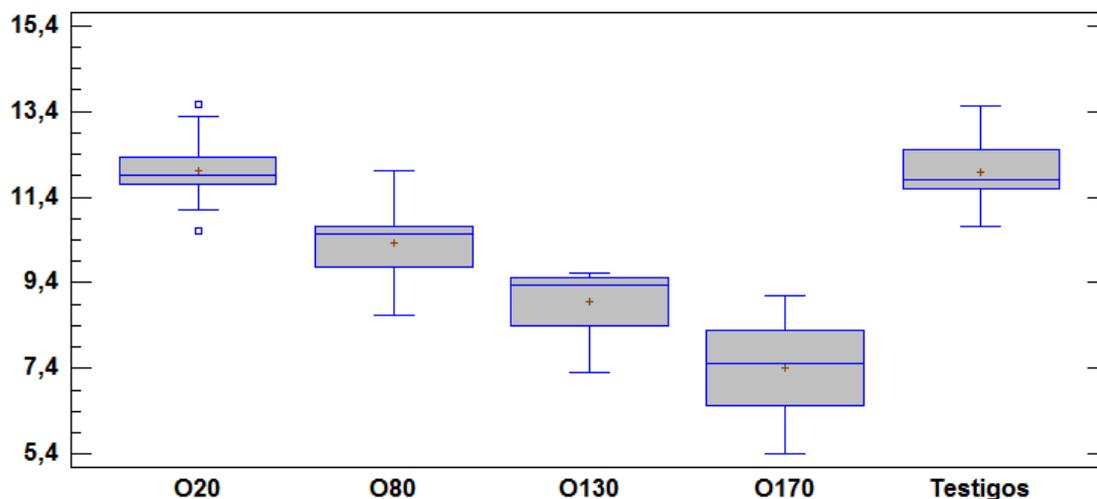
La toma de la variable humedad tras la aplicación del tratamiento de sales al 75,5 % de humedad relativa para las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" se hizo de la misma forma.

En la siguiente Tabla 10., se destaca que los mayores datos medios de humedad alcanzados han sido en los testigos y en los tratamientos O20 y O80, bastante lógico al no ser tratamientos muy agresivos en cuanto a la temperatura del producto. El menor de los datos de humedad media se localiza en el tratamiento O170, siendo el tratamiento de mayor temperatura aplicado. 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 para esta variable, señala que los datos recogidos son muy homogéneos para todos los casos de estudio, siendo el tratamiento de O20 el que cumple con mayor homogeneidad.

**Tabla 11.** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nº Ensayos</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Coficiente de variación (%)</b>	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>
<b>O20</b>	<b>19</b>	<b>12,032</b>	<b>0,726</b>	<b>6,041</b>	<b>10,619</b>	<b>13,580</b>
<b>O80</b>	<b>17</b>	<b>10,340</b>	<b>0,914</b>	<b>8,839</b>	<b>8,641</b>	<b>12,0</b>
<b>O130</b>	<b>20</b>	<b>8,948</b>	<b>0,793</b>	<b>8,869</b>	<b>7,317</b>	<b>9,638</b>
<b>O170</b>	<b>20</b>	<b>7,409</b>	<b>1,079</b>	<b>14,562</b>	<b>5,405</b>	<b>9,090</b>
<b>Testigos</b>	<b>20</b>	<b>11,964</b>	<b>0,701</b>	<b>5,860</b>	<b>10,714</b>	<b>13,513</b>

En la Figura 21. se muestra de forma gráfica la humedad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa.



**Figura 21.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos con sales al 75,5 % de humedad relativa.

#### 5.1.4. Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa

Igual que en 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* "I-214" (previamente tratadas). En este caso, las sales son Nitrato de potasio al 94% de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa en las probetas de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 11. se muestra un resumen de los resultados de la humedad tras los tratamientos con sales de Nitrato de potasio después de estar durante un periodo de tiempo de unos 15 días al 94 % de humedad relativa.

**Tabla 12.** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa.

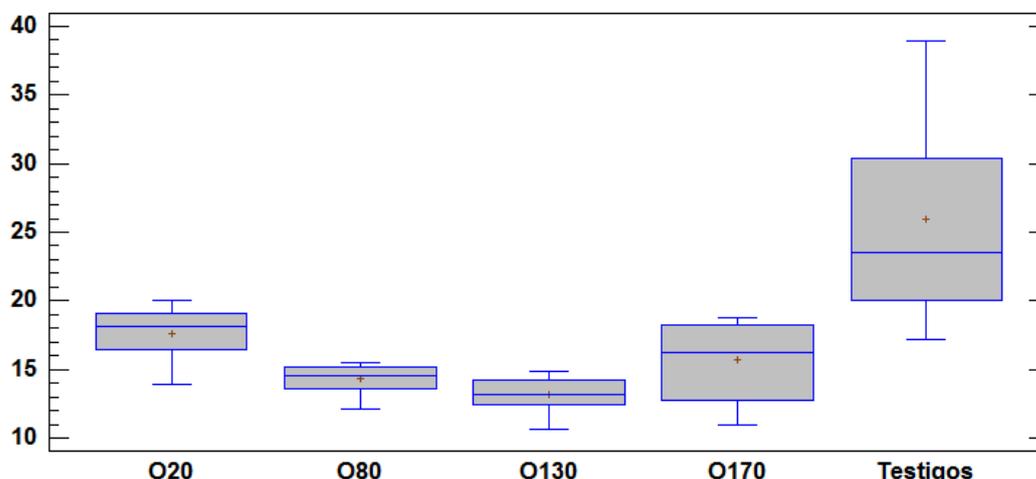
Tratamiento	Nº Ensayos	Media (%)	Desviación típica	Coeficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O20	17	17,617	1,875	10,644	13,930	20,0
O80	20	14,312	1,018	7,119	12,121	15,503

**Tabla 12 (Cont).** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (%)	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O130	18	13,194	1,219	9,242	10,691	14,843
O170	19	15,73	2,727	17,341	11,004	18,787
Testigos	19	25,938	7,074	27,275	17,213	38,888

La tabla anterior muestra una media más alta de la humedad en la madera de *Pinus pinaster* para las probetas testigo y el tratamiento de O20, siendo este último uno de los tratamientos que aporta menos protección. En caso contrario, con un menor resultado se ha obtenido en el tratamiento O130, siendo el más efectivo de los tratamientos (madera sin el hongo azulado). De forma general podemos decir que todos los tratamientos son efectivos, obteniendo mejores resultado si comparamos con las probetas testigo, aunque haya bastante diferencia entre la madera con el hongo y sin el hongo, hay una tendencia bastante marcada disminuyendo la humedad cuando se aumenta la temperatura. Atendiendo al coeficiente de variación, encontramos que todos los tratamientos poseen una homogeneidad en los datos obtenidos, siendo en las testigos el mayor.

La siguiente Figura 22. muestra de forma gráfica los resultados de la tabla de arriba.



**Figura 22.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos con sales al 94 % de humedad relativa.

- **Análisis descriptivo de la Humedad tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214".**

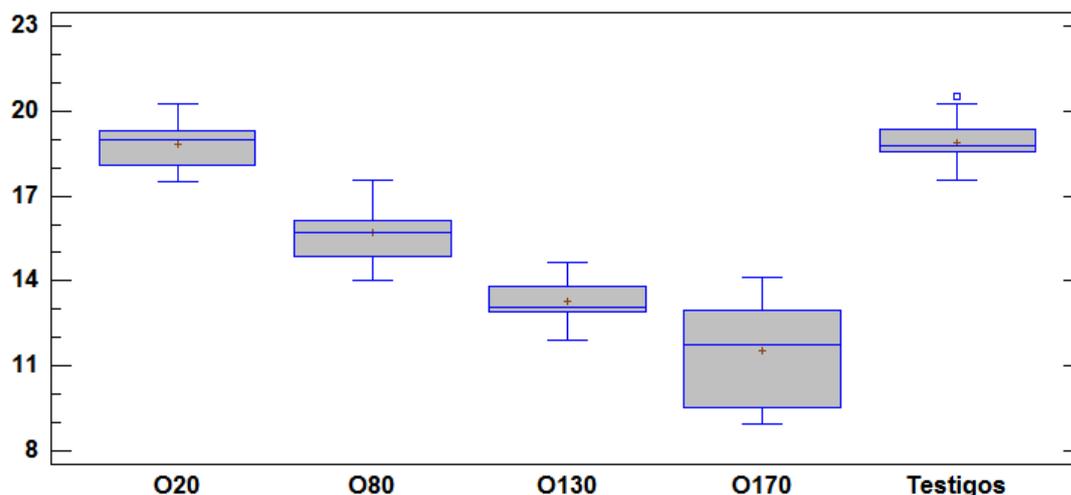
En el análisis de esta variable para las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" se obtiene el siguiente resumen presentado en la siguiente Tabla 12. En ella podemos ver que el mayor dato medio de humedad alcanzado ha sido en el tratamiento O20, muy parecidos a los testigo, por lo tanto poco eficiente. El menor de los datos de humedad media se localiza en el tratamiento O170. Podemos concluir con los resultados, que los tratamientos de Oleotermia, muestran efectividad. 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.

En el caso del chopo se ha observado que la humedad absorbida tiene una relación estrecha con la temperatura del tratamiento. Estos resultados coinciden 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 13.** Valores descriptivos de la Humedad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos con sales al 94% de humedad relativa.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nº Ensayos</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Coeficiente de variación (%)</b>	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>
<b>O20</b>	<b>19</b>	<b>18,830</b>	<b>0,798</b>	<b>4,238</b>	<b>17,525</b>	<b>20,253</b>
<b>O80</b>	<b>20</b>	<b>15,692</b>	<b>1,116</b>	<b>7,113</b>	<b>14,018</b>	<b>17,567</b>
<b>O130</b>	<b>18</b>	<b>13,289</b>	<b>0,683</b>	<b>5,142</b>	<b>11,904</b>	<b>14,634</b>
<b>O170</b>	<b>19</b>	<b>11,541</b>	<b>1,718</b>	<b>14,893</b>	<b>8,955</b>	<b>14,117</b>
<b>Testigos</b>	<b>20</b>	<b>18,884</b>	<b>0,796</b>	<b>4,219</b>	<b>17,567</b>	<b>20,535</b>

La siguiente Figura 23. muestra de forma gráfica los resultados de la tabla de arriba.



**Figura 23.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Humedad en las probetas de *Populus x euramericana* "I214" tras los tratamientos con sales al 94 % de humedad relativa.

#### 5.1.5. Análisis descriptivo de la Contracción Volumétrica Total, del Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal 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 y el volumen anhidro de las probetas de madera tanto de *Pinus pinaster* como de *Populus x euramericana* tratadas con sus correspondientes tratamientos.

La variable "Coeficiente de Contracción Volumétrica" es obtenida mediante la aplicación de una fórmula en la que se recoge 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.

- **Análisis descriptivo de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de *Pinus pinaster*.**

En la tabla inferior (Tabla 13.), se resumen los datos del análisis de la variable Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y las Contracciones Lineales Longitudinales.

Cabe destacar que casi todos los tratamientos propuestos suponen una menor contracción volumétrica comparando con las muestras testigo y con valores muy

similares en todos los tratamientos. La menor Contracción Volumétrica se consigue con la temperatura de 170°C con un 7,048 % frente a 11,626 % en la muestra testigo, Bazyar (2012) consiguió una reducción del 20% en la Contracción Volumétrica con tratamientos a 205°C durante más de 4 horas, y en otras especies (Sailer & Rapp 2001, Wang and Cooper 2005, Dubey et al 2012) que señalan una menor contracción de la madera tras los tratamientos.

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 O80 y O130. De forma general podemos ver que casi todos los tratamientos, disminuyen la Contracción Volumétrica.

En el caso de la variable "Coeficiente de Contracción Volumétrica" los mayores datos medios corresponden otra vez con los tratamientos O80 y O130. El menor de los datos de Contracción Volumétrica se alcanza con el tratamiento O20.

Los resultados del análisis de la variable "Contracción Lineal Longitudinal" muestran que los mayores datos medios corresponden al tratamiento O20, mientras que el menor de los datos para esta variable se alcanza con los tratamientos O80 y O130.

Se puede decir que este tipo de tratamiento parece reducir la Contracción Lineal Longitudinal de las probetas de *Pinus pinaster* estudiadas.

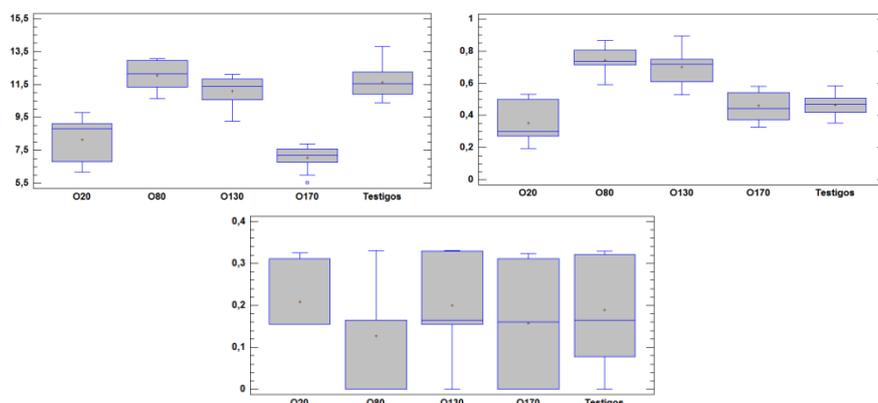
**Tabla 14.** Valores descriptivos de la Contracción Volumétrica Total, el coeficiente de contracción volumétrica y la contracción lineal longitudinal en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

TRATAMIENTOS	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LINEAL LONGITUDINAL
O20			
Media (%)	8,13	0,351	0,208
Nº datos	12	14	12
Coef. Variación (%)	16,091	34,724	37,643
O80			
Media (%)	12,033	0,743	0,126
Nº datos	15	13	13
Coef. Variación (%)	7,192	10,906	78,124

**Tabla 14 (Cont).** Valores descriptivos de la Contracción Volumétrica Total, el coeficiente de contracción volumétrica y la contracción lineal longitudinal en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

TRATAMIENTOS	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LINEAL LONGITUDINAL
O130			
Media (%)	11,100	0,700	0,199
Nº datos	12	14	14
Coef. Variación (%)	8,388	15,28	66,390
O170			
Media (%)	7,048	0,460	0,157
Nº datos	12	14	15
Coef. Variación (%)	10,016	19,213	84,211
Testigo			
Media (%)	11,626	0,465	0,188
Nº datos	14	13	12
Coef. Variación (%)	8,448	15,690	71,582

La siguiente Figura 24., muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 13.:



**Figura 24.** Gráficos de Caja y Bigotes de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

- **Análisis descriptivo de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214"**

En este apartado se analizaron las mismas variables que en el caso anterior pero en este caso para el *Populus x euramericana* "I-214". En la tabla inferior (Tabla 13.), se resumen los datos del análisis de la variable Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y las Contracciones Lineales Longitudinales.

**Tabla 15.** Valores descriptivos de la Contracción Volumétrica Total, el coeficiente de contracción volumétrica y la contracción lineal longitudinal en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

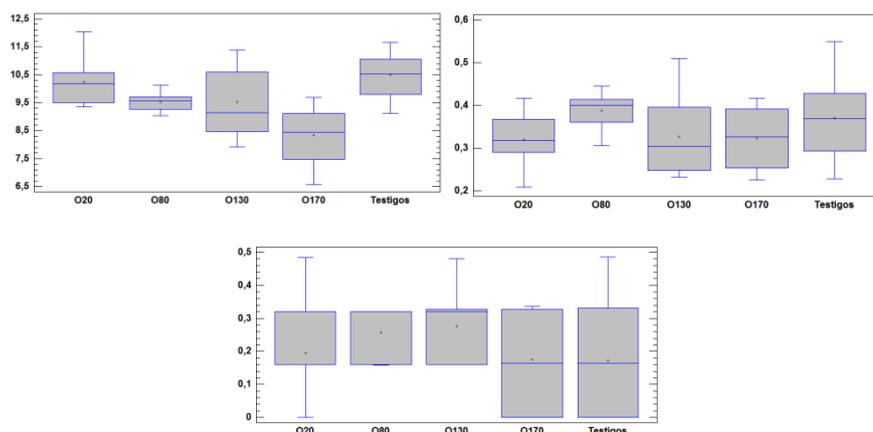
TRATAMIENTOS	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	COEFICIENTE CONTRACCIÓN	CONTRACCIÓN LINEAL LONGITUDINAL
O20			
Media (%)	10,228	0,319	0,194
Nº datos	13	14	14
Coef. Variación (%)	7,747	19,245	73,468
O80			
Media (%)	9,531	0,388	0,256
Nº datos	12	12	15
Coef. Variación (%)	3,526	10,575	31,711
O130			
Media (%)	9,531	0,327	0,275
Nº datos	14	9	14
Coef. Variación (%)	12,671	29,83	42,327
O170			
Media (%)	8,341	0,323	0,176
Nº datos	14	11	14
Coef. Variación (%)	12,671	20,295	77,351
Testigo			
Media (%)	10,489	0,370	0,172
Nº datos	16	20	19
Coef. Variación (%)	7,551	23,363	91,967

Los mayores datos medios de "Contracción Volumétrica Total" se alcanzan en las probetas Testigo como era de prever. Los menores de los datos se localizan en el tratamiento O170. El tratamiento de Oleotermia para el *Populus x euramericana* parece disminuir en Contracción Volumétrica, siendo 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.

En el caso de la variable "Coeficiente de Contracción Volumétrica" los mayores datos medios corresponden con los tratamientos O80 y O130. El menor de los datos de Contracción Volumétrica se alcanza con el tratamiento O20. Estos resultados han sido los mismos que para los del pino.

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 O130. Y los menores de los datos se localizan en el tratamiento O170.



**Figura 25.** Gráfico de Caja y Bigotes de la Contracción Volumétrica Total, el Coeficiente de Contracción Volumétrica y la Contracción Lineal Longitudinal en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

#### 5.1.6. Análisis descriptivo de la Higroscopicidad de los tratamientos en las probetas.

En este apartado se estudiará la variable de estudio "Higroscopicidad", que se ha calculado según la norma UNE 56-532-77 y que representa el equilibrio dinámico con las condiciones higrotermicas del medio en el que se encuentra la madera.

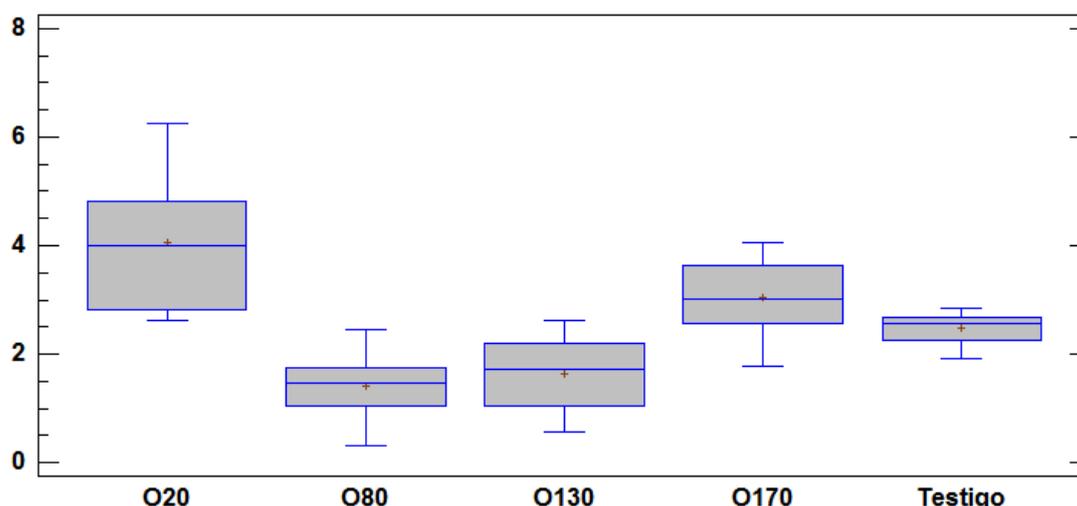
- **Análisis descriptivo de la Higroscopicidad en las probetas de *Pinus Pinaster*.**

En la Tabla 15. se muestra los valores descriptivos de la Higroscopicidad en las probetas de *Pinus pinaster*, que muestra una media más alta en los tratamientos O20 y O170, estas pertenecen a las maderas que presentaban el hongo azulado. El menor resultado en cambio se ha obtenido con los tratamientos O80 y O130 que son los que no presentan dicho hongo. En cuanto al coeficiente de variación encontramos que todos los tratamientos poseen una homogeneidad excepto los del tratamiento O80.

**Tabla 16.** Valores descriptivos de la Higroscopicidad en las probetas de *Pinus pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (Kg/m <sup>3</sup> )	Máximo (Kg/m <sup>3</sup> )
O20	14	4,045	1,158	28,630	2,623	6,262
O80	15	1,408	0,566	40,207	0,303	2,460
O130	15	1,626	0,648	39,887	0,566	2,619
O170	15	3,040	0,665	21,873	1,785	4,061
Testigo	13	2,494	0,275	11,060	1,908	2,840

En la siguiente Figura 26. se muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 15.



**Figura 26.** Gráfico de Caja y Bigotes de Higroscopicidad en las probetas de *Pinus Pinaster* tras los tratamientos de Oleotermia.

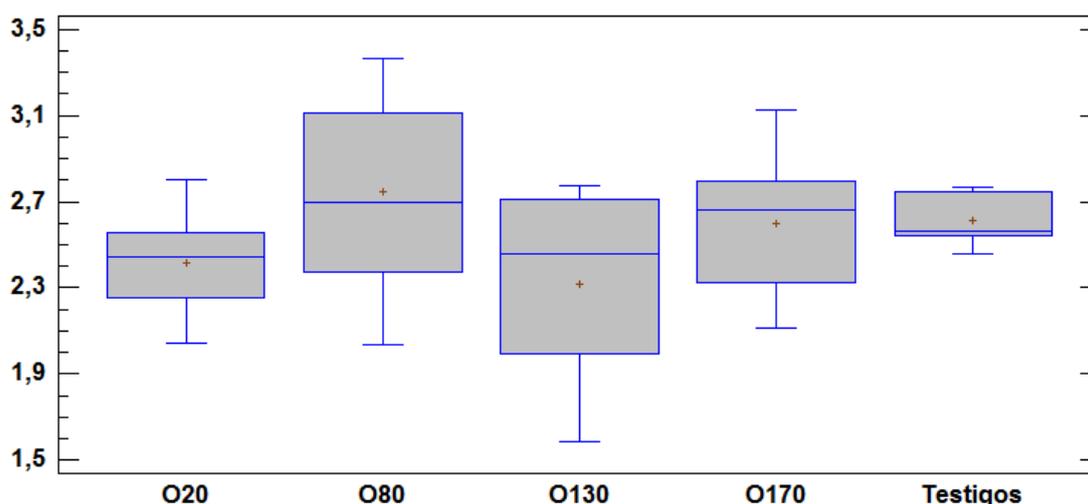
- **Análisis descriptivo de la Higroscopicidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214".**

En las probetas de madera de chopo se utilizó el procedimiento anterior. En la tabla 16. se puede apreciar una media más alta en los tratamientos O170 y Testigos. El menor resultado en cambio se ha obtenido en el tratamiento O130, aunque no haya mucha diferencia entre ningún tratamiento. En cuanto al Coeficiente de variación, se ve que todos los datos son bastante homogéneos.

**Tabla 17.** Valores descriptivos de la Higroscopicidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

Tratamiento	Nº Ensayos	Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Desviación típica	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (Kg/m <sup>3</sup> )	Máximo (Kg/m <sup>3</sup> )
O20	15	2,417	0,210	8,717	2,046	2,801
O80	13	2,746	0,448	16,322	2,038	3,363
O130	14	2,318	0,416	17,951	1,583	2,771
O170	12	2,595	0,311	11,9849	2,110	3,127
Testigos	11	2,614	0,117	4,494	2,455	2,766

En la siguiente Figura 27. se muestra de forma gráfica la Tabla 16.



**Figura 27.** Gráfico de Caja y Bigotes de Higroscopicidad en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos de Oleotermia.

## 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 de la variable Densidad.

- **Comparación de la variable Densidad entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En este apartado se realizará la comparación de la variable Densidad entre los diferentes tratamientos de Oleotermia realizados.

**Tabla 18.** Tabla ANOVA para la variable Densidad de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,498332	4	0,124583	175,34	0,0000
Intra grupos	0,181889	256	0,000710		
Total (Corr.)	0,680222	260			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 175,344, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se ha hecho la Prueba de Múltiples Rangos con el método LSD de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

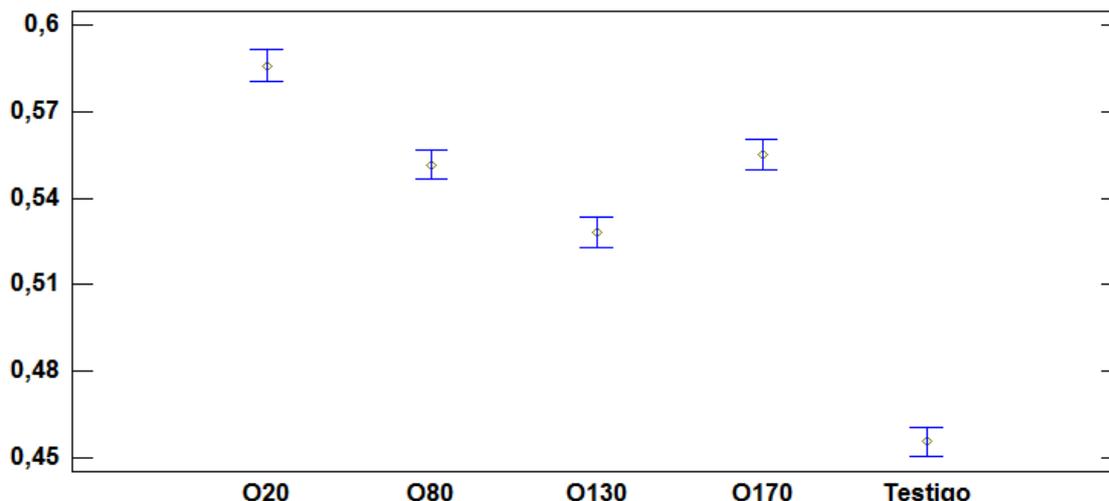
La Tabla 18. aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. En este caso, para la variable "Densidad" del *Pinus pinaster*, los tratamientos O80 y O170 son significativamente iguales, sin embargo todos los demás tratamientos son significativamente diferentes y con densidad superior a las probetas testigo.

**Tabla 19.** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Densidad de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Testigo	54	0,455834	X
O130	51	0,5283	X
O80	57	0,55147	X
O170	52	0,555001	X
O20	47	0,585861	X

En la Figura 28., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que la densidad va disminuyendo cuando se aumenta la temperatura de los tratamientos. Esto se debe, como se indicó anteriormente y como la bibliografía consultada arroja (Mohebbi et al., 2014), a que las altas temperaturas disminuyen la densidad de la madera tratada.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 28:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Densidad de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Densidad entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

En la Tabla 19. se puede observar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 20.** Tabla ANOVA para la variable Densidad de *Populus x euramericana* “I-214”.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,177563	4	0,0443907	13,35	0,0000
Intra grupos	0,931324	280	0,00332616		
Total (Corr.)	1,10889	284			

La Tabla 20. aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Entre los tratamientos O20, O170 y O80 no existen diferencias estadísticamente significativas y el tratamiento O130 y los Testigos también son iguales.

**Tabla 21.** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Densidad de *Populus x euramericana* “I-214”.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O130	48	0,349354	X
Testigo	59	0,359828	X
O20	59	0,398361	X
O170	59	0,404882	X
O80	60	0,412681	X

En la Figura 29., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que todos los tratamientos a excepción del O130 suponen un aumento de la densidad respecto de las muestras testigo.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

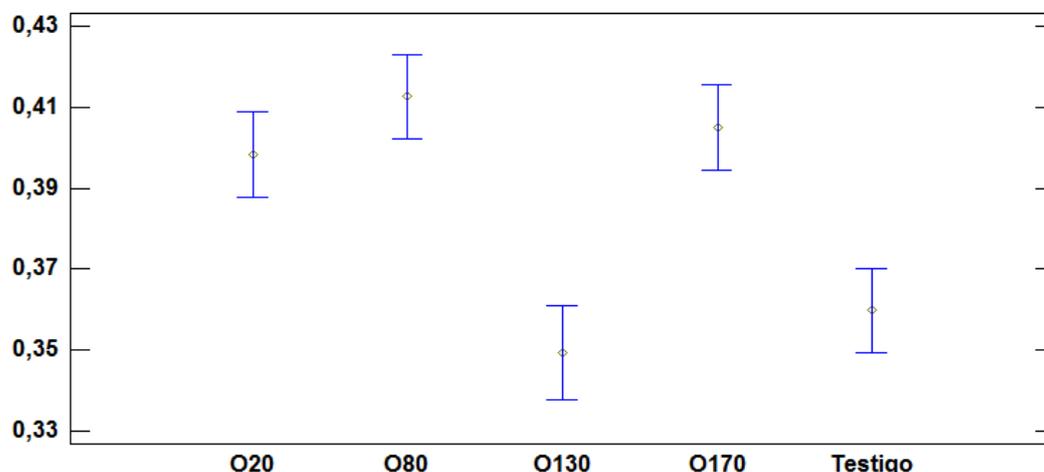


Figura 29. Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Densidad de *Populus x euramericana* "I-214".

### 5.2.2. Comparación variable Absorción de Producto.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Absorción entre los diferentes tratamientos de Oleotermia realizados.

- **Comparación variable Absorción de Producto entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 21. se puede observar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 4 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 22: Tabla ANOVA para la variable Absorción de Producto de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	443,183	3	147,728	169,27	0,0000
Intra grupos	198,116	227	0,872759		
Total (Corr.)	641,299	230			

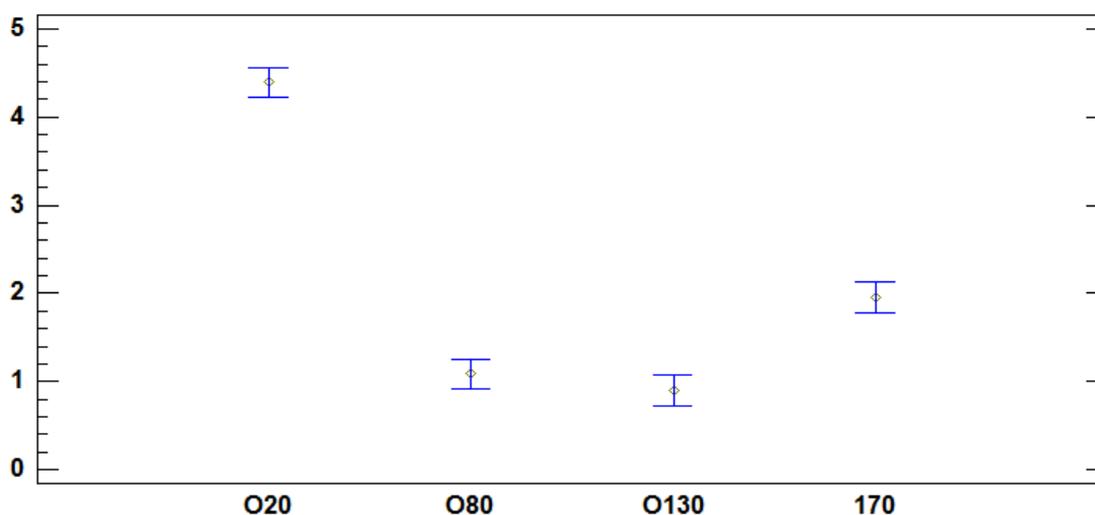
La Tabla 22. aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O130 y O80, son significativamente iguales. Sin embargo los demás tratamientos son significativamente diferentes al resto de tratamientos.

**Tabla 23:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Absorción de Producto de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O130	56	0,894643	X
O80	60	1,09167	X
O170	58	1,95172	X
O20	57	4,39298	X

En la Figura 30., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que el tratamiento O20 tiene una diferencia significativa con los demás tratamientos. Mientras que en los demás tratamientos se puede observar un aumento de Absorción del Producto cuando aumenta la temperatura.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 30.** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Absorción de Producto de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Absorción de Producto entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

En la Tabla 23. se puede observar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 4 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 24.** Tabla ANOVA para la variable Absorción de Producto de *Populus x euramericana* “I-214”.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,97735	3	2,99245	9,60	0,0000
Intra grupos	60,4424	194	0,311559		
Total (Corr.)	69,4198	197			

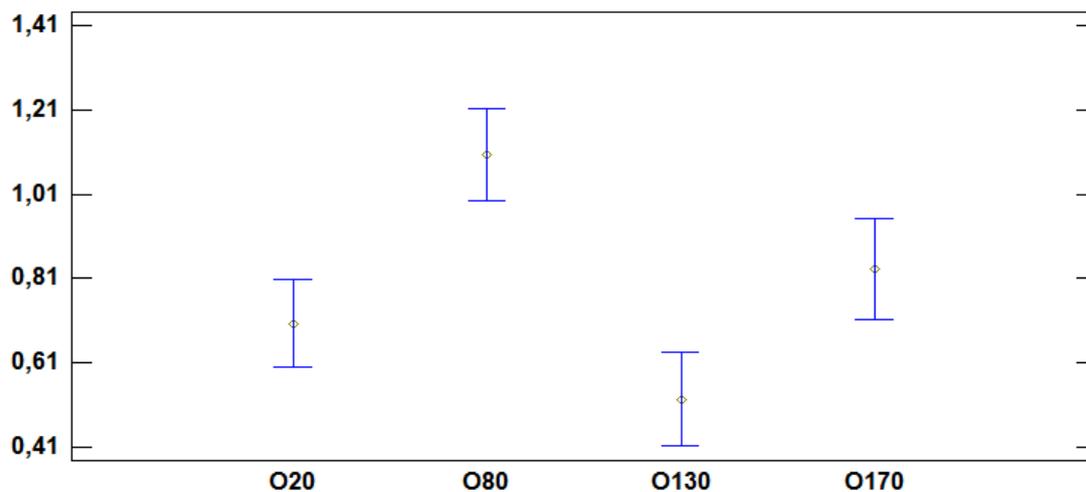
La Tabla 24. aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O130 y O20, son significativamente iguales entre sí. Los tratamientos O20 y O170 también son significativamente iguales entre sí, sin embargo el tratamiento O80 es significativamente diferente al resto de tratamientos y tiene una mayor absorción de producto lo que puede deberse a que a esa temperatura no se produce la eliminación de sustancias volátiles y resinas que suponen pérdida de peso de la madera lo cual puede ocultar la absorción real del producto

**Tabla 25:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Absorción de Producto de *Populus x euramericana* "I-214".

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O130	49	0,52449	X
O20	56	0,703571	XX
O170	42	0,833333	X
O80	51	1,10392	X

En la Figura 29., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que el tratamiento O80 tiene una diferencia significativa comparando con los demás tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 31:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Absorción de Producto de *Populus x euramericana* "I-214".

### 5.2.3. Comparación variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Humedad tras el tratamiento con sales de al 75,5 % de humedad relativa de las probetas entre los diferentes tratamientos.

- **Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 25. se puede observar el valor-P de la prueba-F. En este caso, el Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 26:** Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	291,372	4	72,843	21,51	0,0000
Intra grupos	301,446	89	3,38704		
Total (Corr.)	592,818	93			

La Tabla 26. aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O80-O130, O130-O170 y O170-O20 son significativamente iguales entre sí. Las probetas Testigo sin embargo, son significativamente diferentes a todos los demás tratamientos con una media de humedad de equilibrio higroscópico superior como era de esperar.

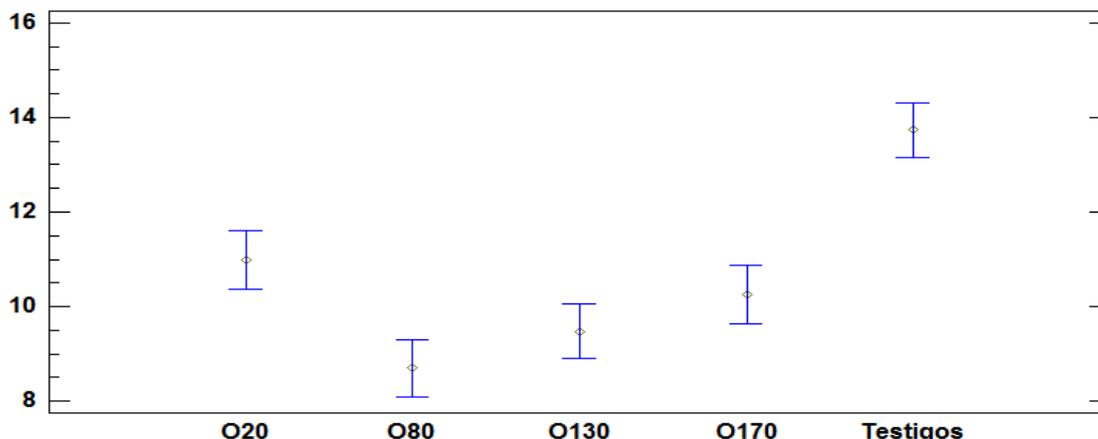
**Tabla 27:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O80	18	8,69969	X
O130	20	9,47146	XX
O170	18	10,2546	XX
O20	18	10,9907	X
Testigos	20	13,7344	X

En la Figura 32., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que las probetas Testigo presentan una diferencia significativa por encima de todos los demás

tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 32:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa entre tratamientos de *Populus x euramericana* "I-214".**

En la Tabla 27. se puede observar el valor-P de la prueba-F. En este caso, el Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 28:** Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de *Populus x euramericana* "I-214".

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	312,818	4	78,2045	107,33	0,0000
Intra grupos	66,3081	91	0,728661		
Total (Corr.)	379,126	95			

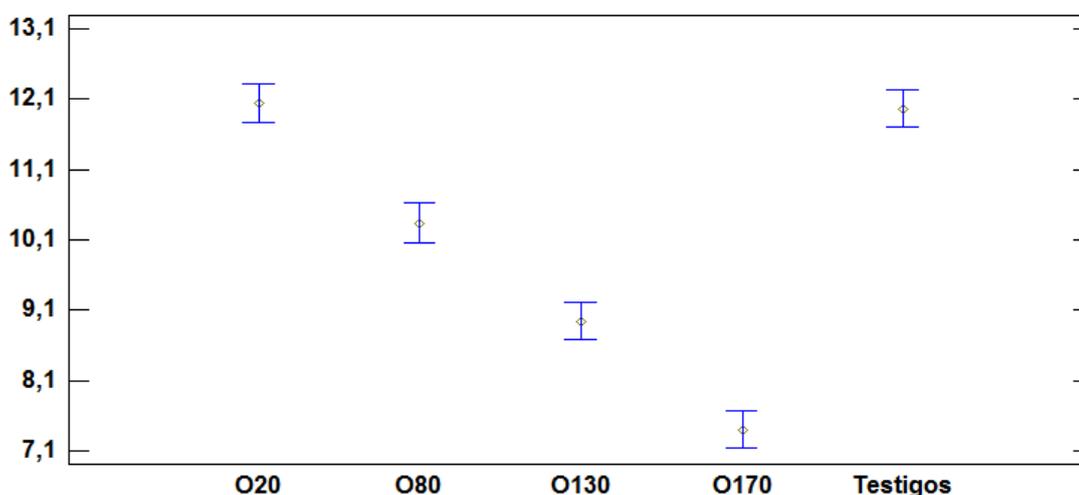
Como indica la Tabla 28. se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O20 y Testigos son significativamente iguales entre sí, mientras que los demás tratamientos son significativamente diferentes. Esto se debe, como se indicó anteriormente y como la bibliografía consultada arroja, a que los tratamientos de oleotermia propuestos a temperaturas superiores a 20°C consiguen una mayor estabilidad higroscópica de la madera.

**Tabla 29:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 75,5% de humedad relativa de *Populus x euramericana* "I-214".

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O170	20	7,40935	X
O130	20	8,94818	X
O80	17	10,3406	X
Testigos	20	11,9648	X
O20	19	12,0328	X

En la Figura 33., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que las medias de los tratamientos disminuyen considerablemente cuando aumenta la temperatura de los tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 33:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 75,5 % de humedad relativa de *Populus x euramericana* "I-214".

#### 5.2.4. Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Humedad tras el tratamiento con sales de al 94% de humedad relativa de las probetas entre los diferentes tratamientos.

- **Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 29. se puede observar el valor-P de la prueba-F. En este caso, el Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 30:** Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1947,81	4	486,953	37,72	0,0000
Intra grupos	1136,13	88	12,9106		
Total (Corr.)	3083,95	92			

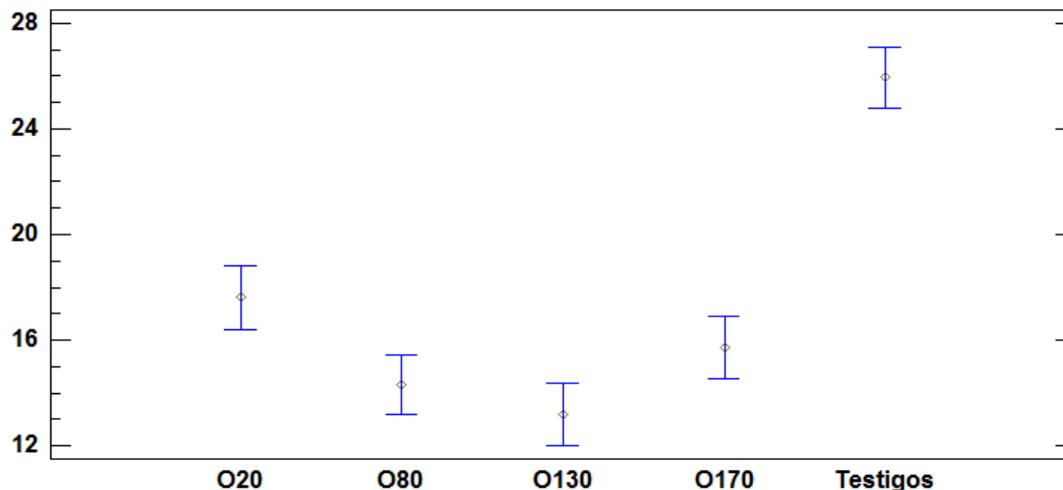
En la Tabla 30. se observan 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O130-O80, O80-O170 y O170-O20 son significativamente iguales entre sí.

**Tabla 31:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O130	18	13,194	X
O80	20	14,3128	XX
O170	19	15,73	XX
O20	17	17,6176	X
Testigos	19	25,9381	X

En la Figura 34., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que las probetas Testigo presentan una diferencia significativa en cuanto a la humedad de equilibrio higroscópico por encima de todos los demás tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 34:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

En la Tabla 31. se puede observar el valor-P de la prueba-F. Como el Valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 32:** Tabla ANOVA para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de *Populus x euramericana* “I-214”.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	822,191	4	205,548	172,66	0,0000
Intra grupos	108,33	91	1,19044		
Total (Corr.)	930,522	95			

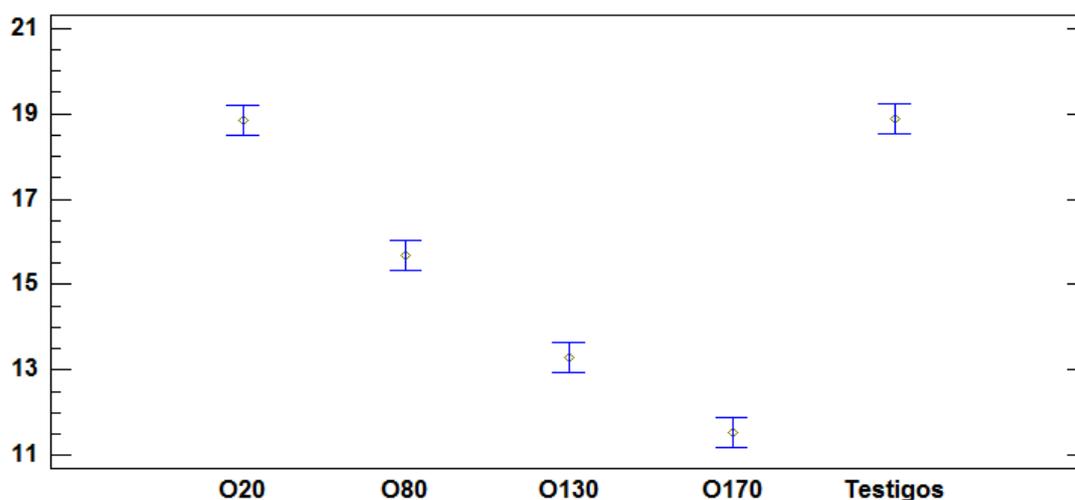
Como indica la Tabla 32. se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Los que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O20 y Testigos son significativamente iguales entre sí, mientras que los demás tratamientos son significativamente diferentes. Esto se debe, como se indicó anteriormente y como la bibliografía consultada arroja, a que los tratamientos de Oleotermia propuestos de temperatura superior a 20°C consiguen una mayor estabilidad higroscópica de la madera.

**Tabla 33:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Humedad tras tratamiento con sales al 94% de humedad relativa de *Populus x euramericana* "I-214".

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O170	19	11,5416	X
O130	18	13,2891	X
O80	20	15,6923	X
O20	19	18,8309	X
Testigos	20	18,884	X

En la Figura 34., se observa gráficamente la tabla anterior.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 35:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Humedad tras el tratamiento con sales al 94 % de humedad relativa de *Populus x euramericana* "I-214".

### 5.2.5. Comparación variable Contracción Volumétrica Total.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Contracción Volumétrica entre tratamientos.

- **Comparación variable Contracción Volumétrica Total entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 33. se puede observar el valor-P de la prueba-F. Para la variable Contracción Volumétrica Total el Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 34:** Tabla ANOVA para la variable Contracción Volumétrica Total de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	258,965	4	64,7412	68,30	0,0000
Intra grupos	56,8773	60	0,947954		
Total (Corr.)	315,842	64			

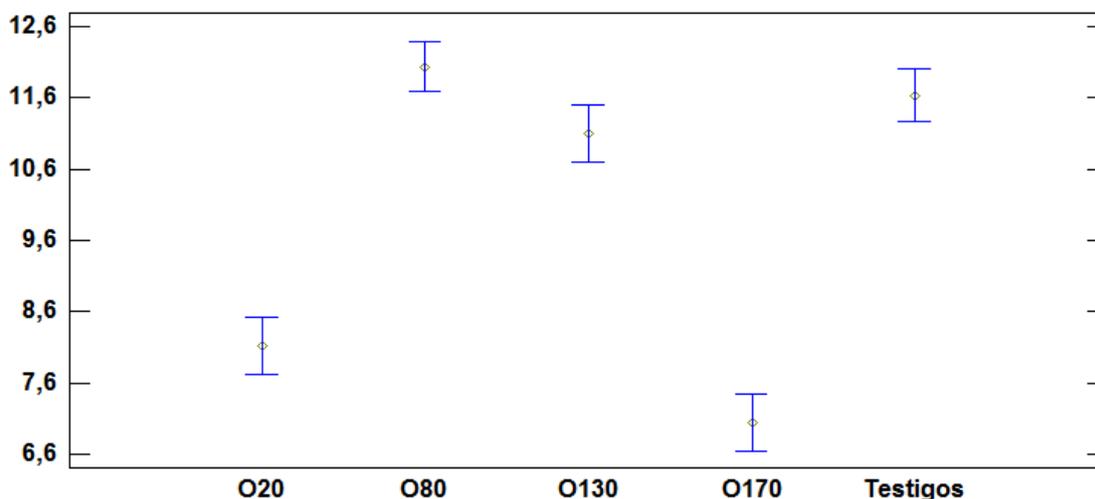
La prueba de Rangos Múltiple para la variable Contracción Volumétrica Total tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 34., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cuatro grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O130-Testigos y Testigos-O80 son significativamente iguales.

**Tabla 35:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Volumétrica Total de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O170	12	7,04841	X
O20	12	8,13007	X
O130	12	11,1002	X
Testigos	14	11,6266	XX
O80	15	12,0337	X

En la Figura 36., se observa gráficamente la tabla anterior. Se puede observar que las probetas que tienen el hongo azulado presentan una diferencia significativa por debajo de todos los demás tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 36:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Volumétrica Total de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Contracción Volumétrica total entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

Para la variable Contracción Volumétrica Total el valor-P de la prueba-F se puede observar en la Tabla 35. El Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 36:** Tabla ANOVA para la variable Contracción Volumétrica Total de *Populus x euramericana* “I-214”.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	39,9491	4	9,98728	12,41	0,0000
Intra grupos	51,4942	64	0,804597		
Total (Corr.)	91,4433	68			

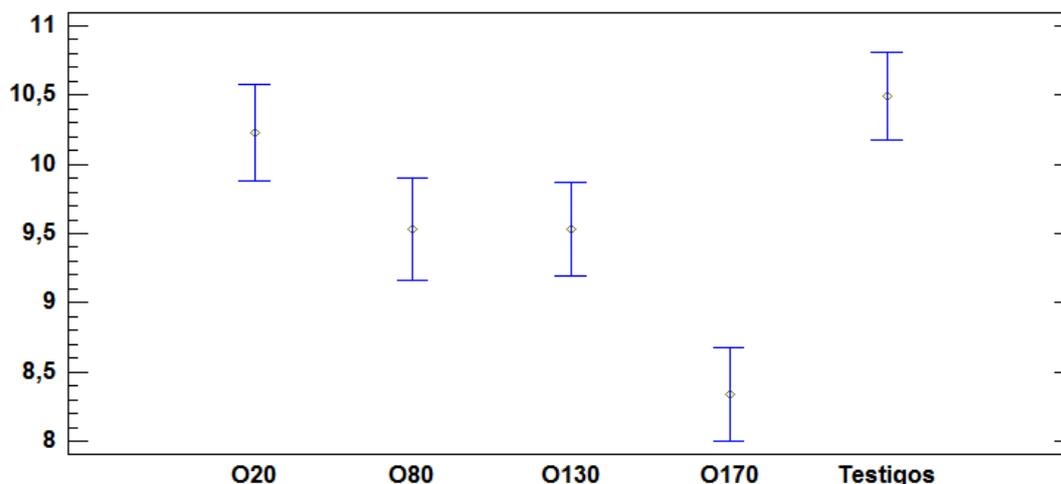
La prueba de Rangos Múltiple para la variable Contracción Volumétrica Total tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 36., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen cuatro grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O130-O80, O80-O20 y O20-Testigos son significativamente iguales entre sí.

**Tabla 37:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Volumétrica Total de *Populus x euramericana* “I-214”.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O170	14	8,34152	X
O130	14	9,53115	X
O80	12	9,53156	XX
O20	13	10,228	XX
Testigos	16	10,4894	X

En la Figura 36., se puede observar gráficamente la tabla anterior, donde se aprecia claramente que existe una tendencia. Se puede observar que las probetas que con mayor temperatura de tratamiento presentan una menor Contracción Volumétrica.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



**Figura 37:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Volumétrica Total de *Populus x euramericana* "I-214".

#### 5.2.6. Comparación variable Coeficiente de Contracción Volumétrica.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica entre tratamientos.

- **Comparación variable Coeficiente de Contracción Volumétrica entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 37. se puede observar el valor-P de la prueba-F. Para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica el Valor-P es menor que 0,05, entonces existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 38:** Tabla ANOVA para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,55424	4	0,388559	41,70	0,0000
Intra grupos	0,586975	63	0,00931707		
Total (Corr.)	2,14121	67			

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 38., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen tres grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias

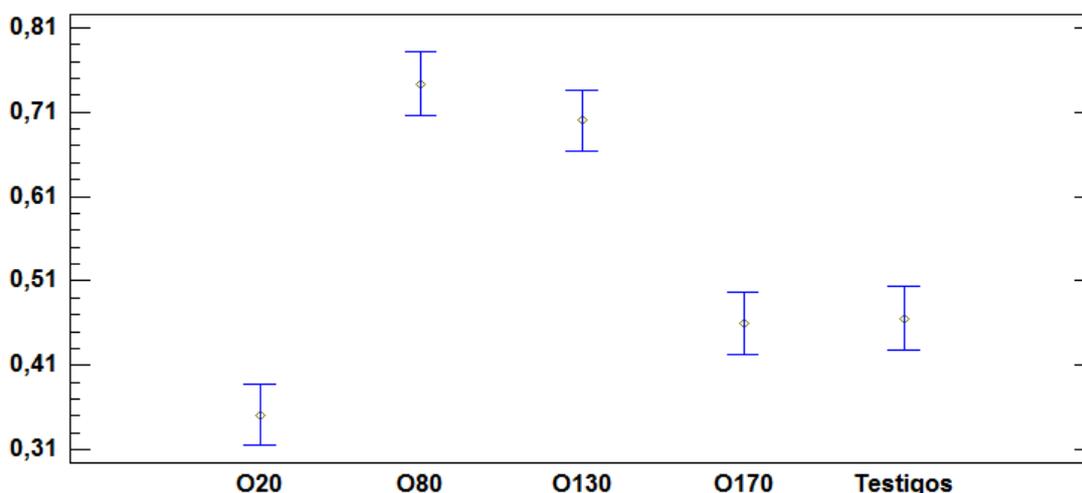
estadísticamente significativas entre ellos. Así, los tratamientos O170-O20 y O130-O80 son significativamente iguales entre sí.

**Tabla 39:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O20	14	0,35154	X
O170	14	0,460092	X
Testigos	13	0,465628	X
O130	14	0,700066	X
O80	13	0,743314	X

En la Figura 38., se puede observar como los tratamientos O80 y O130 presentan un Coeficiente de Contracción Volumétrica muy superior a los demás tratamientos.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 38:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Coeficiente de Contracción Volumétrica entre tratamientos de *Populus x euramericana* "I-214".**

En la Tabla 39. se puede observar el valor-P de la prueba-F para *Populus x euramericana* "I-214". Para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica el Valor-P es mayor que 0,05, entonces se puede decir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 40:** Tabla ANOVA para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Populus x euramericana* "I-214".

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0506717	4	0,0126679	2,35	0,0644
Intra grupos	0,32926	61	0,0053977		
Total (Corr.)	0,379932	65			

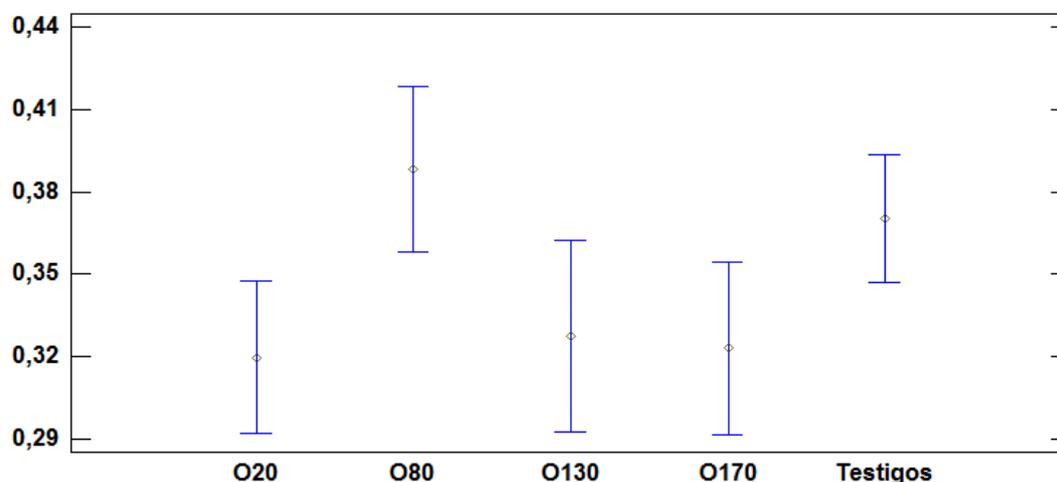
La prueba de Rangos Múltiple para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica para el chopo tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 40., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen dos grupos diferentes. Los tratamientos que pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Así, en este caso solo los tratamientos O20 y O170 son significativamente diferentes al tratamiento O80.

**Tabla 41:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Populus x euramericana* "I-214".

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O20	14	0,319772	X
O170	11	0,323227	X
O130	9	0,327474	XX
Testigos	20	0,370157	XX
O80	12	0,388032	X

En la Figura 39. se puede observar de forma gráfica que todos los tratamientos tienen una media muy similar, y que el único que destaca es el tratamiento O80.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 39:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Coeficiente de Contracción Volumétrica de *Populus x euramericana* "I-214".

### 5.2.7. Comparación variable Contracción Lineal Longitudinal.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Contracción Lineal Longitudinal entre tratamientos.

- **Comparación variable Contracción Lineal Longitudinal entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

Para la variable Contracción Lineal Longitudinal el valor-P de la prueba-F se puede observar en la Tabla 41. Como el Valor-P es mayor que 0,05, entonces no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 42:** Tabla ANOVA para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0589768	4	0,0147442	1,05	0,3907
Intra grupos	0,859298	61	0,0140869		
Total (Corr.)	0,918275	65			

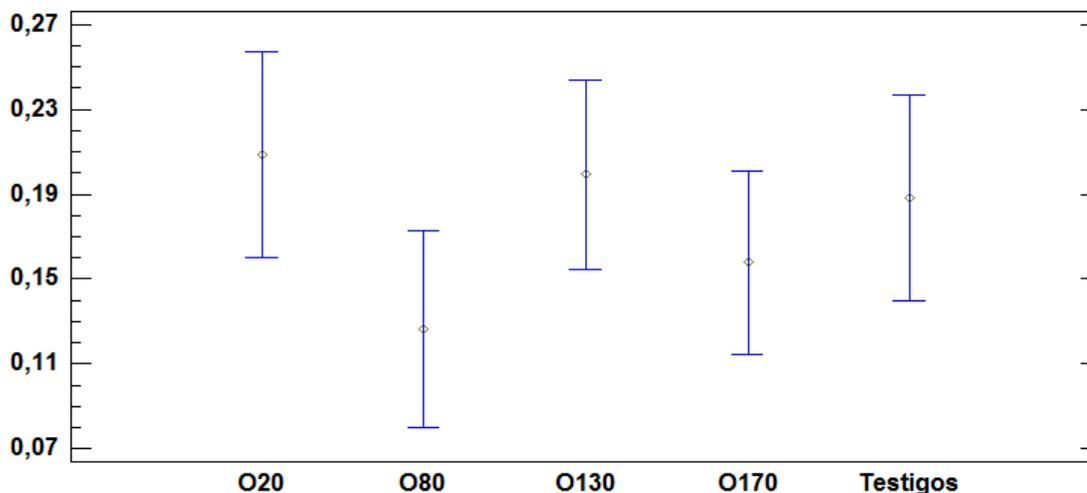
La prueba de Rangos Múltiple para la variable Contracción Volumétrica Longitudinal para el pino tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 42., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtiene uno solo grupo. Entonces como todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

**Tabla 43:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O80	13	0,126336	X
O170	15	0,157917	X
Testigos	12	0,188093	X
O130	14	0,199313	X
O20	12	0,208518	X

En la Figura 40. se puede observar de forma gráfica la Tabla 42.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 40:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Contracción Lineal Longitudinal entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

Para la variable Contracción Lineal Longitudinal el valor-P de la prueba-F se puede observar en la Tabla 43. Como el Valor-P es mayor que 0,05, entonces no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 44:** Tabla ANOVA para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Populus x euramericana* “I-214”.

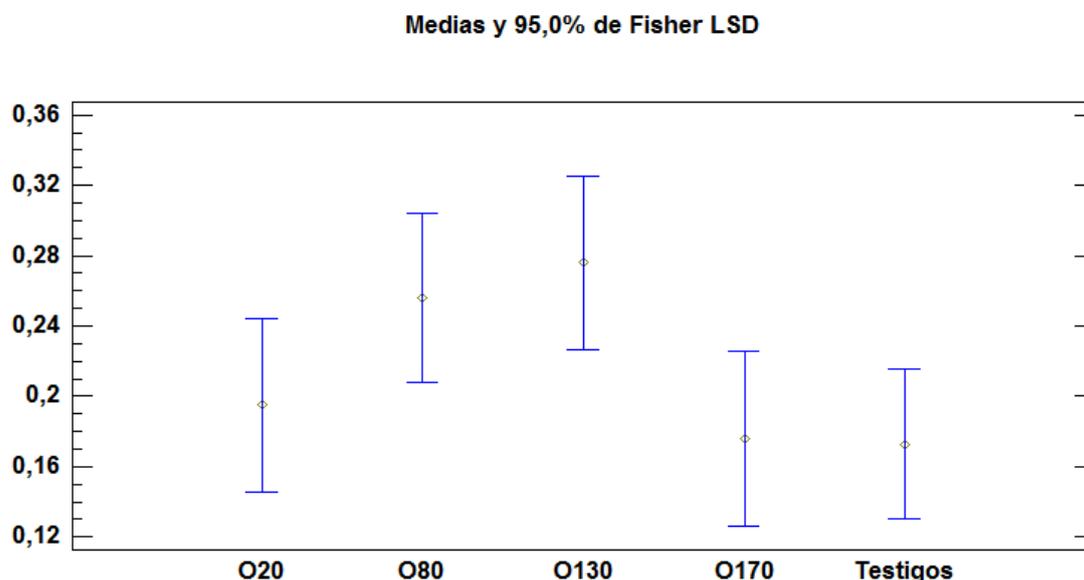
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,137975	4	0,0344938	1,99	0,1057
Intra grupos	1,23213	71	0,0173539		
Total (Corr.)	1,3701	75			

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Contracción Volumétrica Longitudinal para el chopo tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 44., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtiene uno solo grupo. Entonces como todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo, no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

**Tabla 45:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Populus x euramericana* "I-214".

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Testigos	19	0,172715	X
O170	14	0,176147	X
O20	14	0,194995	XX
O80	15	0,256292	XX
O130	14	0,275949	X

En la Figura 41. se puede observar de forma gráfica la Tabla 44.



**Figura 41:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Contracción Lineal Longitudinal de *Populus x euramericana* "I-214".

#### 5.2.8. Comparación variable Higroscopicidad.

En este apartado se realizará la comparación de la variable Higroscopicidad entre los tratamientos realizados.

- **Comparación variable Higroscopicidad entre tratamientos de *Pinus pinaster*.**

En la Tabla 45. se puede observar el valor-P de la prueba-F para el pino. Para la variable Higroscopicidad el Valor-P es menor que 0,05, entonces se puede decir que

existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 46:** Tabla ANOVA para la variable Higroscopicidad de *Pinus pinaster*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	67,0982	4	16,7745	32,17	0,0000
Intra grupos	34,9316	67	0,521367		
Total (Corr.)	102,03	71			

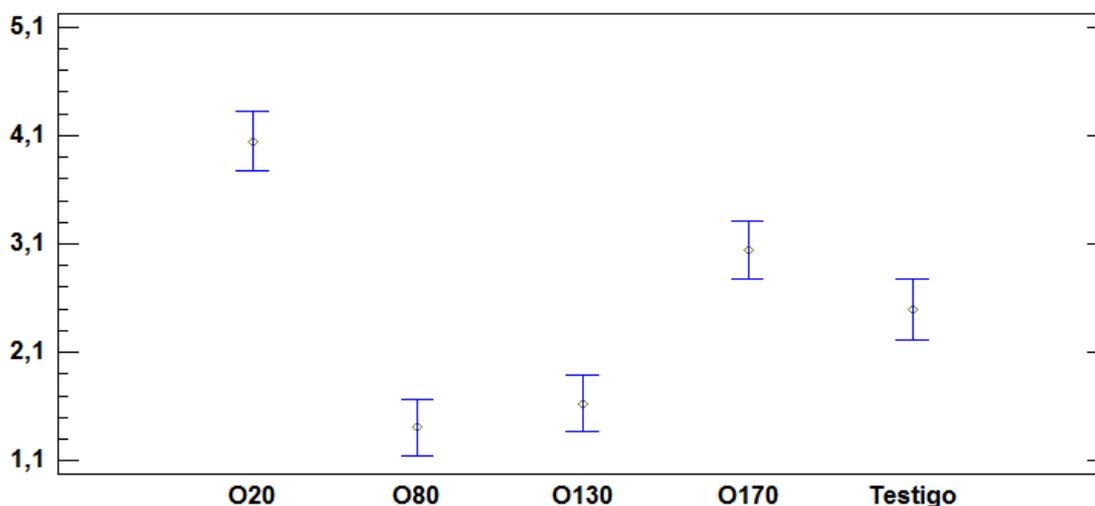
La prueba de Rangos Múltiple para la variable Higroscopicidad del pino tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 46., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen tres grupos. En este caso, los tratamientos O80-O130 y Testigo-O170 son estadísticamente iguales entre si.

**Tabla 47:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Higroscopicidad de *Pinus pinaster*.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O80	15	1,40898	X
O130	15	1,62684	X
Testigo	13	2,49477	X
O170	15	3,04081	X
O20	14	4,04505	X

En la Figura 42. se puede observar de forma gráfica la Tabla 46.

**Medias y 95,0% de Fisher LSD**



**Figura 42:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Higroscopicidad de *Pinus pinaster*.

- **Comparación variable Higroscopicidad entre tratamientos de *Populus x euramericana* “I-214”.**

En la Tabla 47. se puede observar el valor-P de la prueba-F para el chopo. Para la variable Higroscopicidad el Valor-P es menor que 0,05, entonces se puede decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 48:** Tabla ANOVA para la variable Higroscopicidad de *Populus x euramericana* “I-214”.

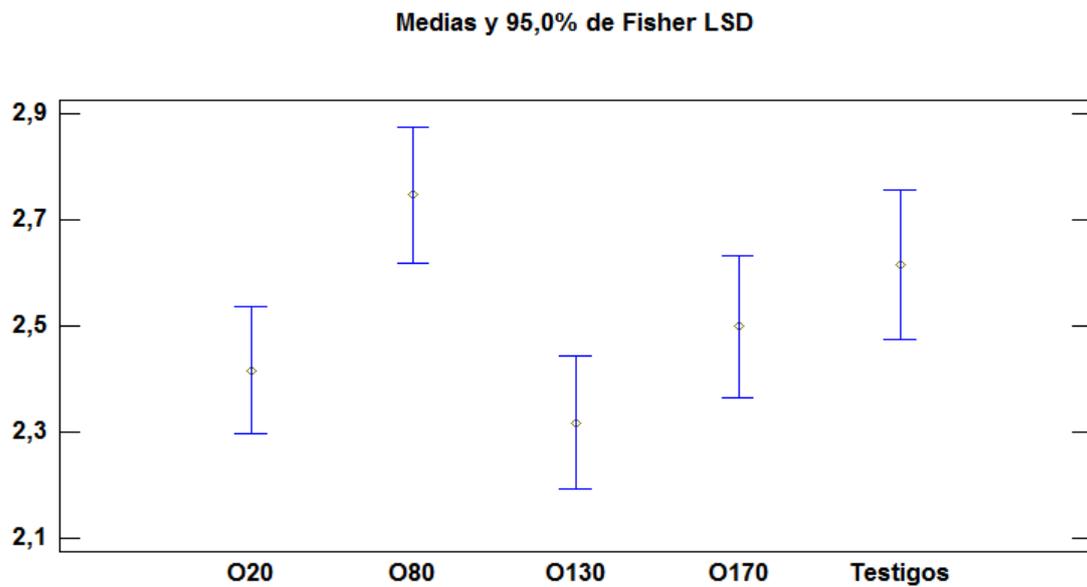
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,49278	4	0,373196	3,46	0,0131
Intra grupos	6,47401	60	0,1079		
Total (Corr.)	7,9668	64			

La prueba de Rangos Múltiple para la variable Higroscopicidad del chopo tras los tratamientos de Oleotermia queda reflejada en la Tabla 48., donde comparando las medias de los distintos tratamientos se obtienen tres grupos.

**Tabla 49:** Prueba de Rangos Múltiple con el método LSD de Fisher para la variable Higroscopicidad de *Populus x euramericana* “I-214”.

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
O130	14	2,31839	X
O20	15	2,41702	XX
O170	12	2,49928	XXX
Testigos	11	2,61469	XX
O80	13	2,74651	X

En la Figura 43. se puede observar de forma gráfica la Tabla 48.



**Figura 43:** Gráfico de medias e intervalos Fisher LSD al 95% para la variable Higrscopicidad de *Populus x euramericana* "I-214".



## 6. CONCLUSIONES

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 6. CONCLUSIONES

En este punto se expondrá de forma breve y concisa las principales conclusiones a las que se ha llegado tras haber analizado los resultados obtenidos en este estudio y tras compararlos con diferentes trabajos de temática análoga. Es conveniente destacar la heterogeneidad de las probetas, es por esto que los datos obtenidos han de tomarse con mucha cautela.

El objetivo principal es desarrollar técnicas de tratamientos con productos naturales para mejorar la estabilidad y durabilidad de maderas como *Pinus pinaster* Ait. y de especies poco durables como es el caso del género *Populus*.

En relación a los ensayos de tratamientos por Oleotermia controlando variables como la duración y temperatura.

En este trabajo los tratamientos se han hecho mediante inmersión en aceite de girasol reciclado a temperatura ambiente, a 80°C, a 130°C y a 170°C durante 60 minutos. Respecto al tiempo y a las temperaturas y utilizadas en otros artículos, hay que decir que en la mayoría de ellos tanto el tiempo como la temperatura empleada era superior a la utilizada en este trabajo. Es por esto que algunos de los resultados no sean idénticos. Esto ha sido, porque hemos intentado buscar un sistema menos costoso que nos ofreciera los mismos resultados.

Los análisis de las propiedades físicas como la Densidad, Contracciones, etc. de las muestras tratadas con los tratamientos planteados indican;

Respecto a los datos recogidos sobre la variación de **Densidad** al aplicar los distintos tratamientos en las distintas probetas y en ambas especies, en todos los casos la densidad después del tratamiento es mayor que las Testigo a excepto a 170°C para el chopo que no hay variación en la densidad respecto a las Testigo. El tratamiento que peores resultados ofrece de densidad O80 en el chopo y O170 en el pino.

Los valores medios de **Absorción de producto** más altos en el caso de *Pinus pinaster* se obtuvieron al aplicar el tratamiento O20. En el caso de la especie *Populus x euramericana* el tratamiento O80 resulta ser muy efectivo. La absorción de producto se comporta de manera diferente entre las dos especies, pero el tratamiento con el que menos aceite se absorbe en ambas especies es el O130, esto puede ser debido a que a esta temperatura la madera pierde casi toda la humedad y en el caso del pino además a ésta temperatura se evaporan los compuestos volátiles de la madera.

De forma general para las **Humedades tras los tratamientos** con sales al 75,5% y al 94% de humedad los datos obtenidos muestran que las probetas testigo y el tratamiento más liviano, el O20, son los que aportan menos protección a las maderas y alcanzando mayores valores medios de humedad. Por lo tanto, se puede afirmar de forma contundente que los de Oleotermia O80, O130 y O170 reducen la humedad de equilibrio higroscópico consiguiendo una buena estabilidad dimensional de la madera.

La **Contracción Volumétrica Total**, tanto en el caso del *Pinus pinaster* como en el caso del *Populus x euramericana* "I-214" se puede decir que los tratamientos de

Oleotermia aplicados disminuyen las variables y se alcanzan menores datos medios con los tratamientos de más altas temperaturas de ensayo. Se puede decir que las probetas de *Pinus pinaster* que contenían el hongo azulado, presentan una media estadísticamente significativa inferior a las demás probetas. En los casos del **Coefficiente de Contracción Volumétrica** y la **Contracción Lineal Longitudinal** no hay apenas diferencias significativas en ninguna de las especies para los tratamientos realizados.

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 disminuye con el aumento de temperatura. En la madera de *Populus x euramericana* en cambio, no hay apenas diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento que mejor se comporta frente a la higroscopicidad en ambas especies es el tratamiento O130.

Como última conclusión, se considera pertinente seguir con este estudio, la aplicación de tratamientos con Oleotermia con aceite reciclado. Ya que existen muy pocos estudios al respecto y concretamente con este tipo de aceite.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Harriet Umerez Olabarria

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

MASTER INGENIERÍA DE MONTES



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, 2008. Máster Universitario en Restauración y Gestión Integral del Patrimonio Construido.
- Acuña Rello, L., Casado Sanz, M., Lázaro Sánchez, M<sup>a</sup>T., 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).
- Alía, R. y S. Martín. 2009. Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino negral (*Pinus pinaster*). Foresta. Madrid. España. 6 páginas. ISSN 1575-2356
- Álvarez Bag, G., Fernández Frenández, MM., Diez Casero, J.J. 2009. *Ophiostoma minus* asociado a masas de *Pinus pinaster* (Aiton) con síntomas de decaimiento en Castilla y León)
- Álvarez H., Fernández-Golfín J.I., 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. M.A.P.A. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera (AITIM). Guía de la madera 1994. AITIM. Madrid
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera (AITIM). Especies de maderas 1997. AITIM. Madrid.
- 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, M.; Acuña, L.; Basterra, L.A.; Ramón-Cueto, G.; Vecilla, 2012 D.Titulo: Grading of *Populus x euramericana* I-214 timber for structural use. 'Holzforschung'. Vol 66, Issue 5, Páginas: 633-638
- Conde, M. 2004. Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra* Subsp. *Salzmannii*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.

- De la Cruz, A. C. 2005. Dinámica de nutrientes en parcelas experimentales de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier "I-214". Tesis doctoral. Engler, A.1964. Syllabus der Pflanzenfamilien II. Gebrüder Bontraeger. Berlín.
- 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.
- Engler, A. 1964 Syllabus der Pflanzenfamilien (ed. por M. Melchior) 2. Berlin.
- Fang C.-H., Cloutier A., Blanchet P., Kouba 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., & Kouba A., 2012. Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment. Part II: Hygroscopicity and mechanical properties. *BioResources* 7(1), 925-935.
- Fernandez-Golfín Seco, J.L. et al. 2000. La madera de la Construcción, Cap 1 "Propiedades Elastomecánicas de la madera", pp. 5-45. Instituto Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
- García, L, Guindeo, A. y Laín, L.C, 1992. Maderas del Mundo. Tomo II: Frondosas de Ba-ey. Ed. AITIM, Madrid, 217 pag.
- Gibbs, J.N. 1993. The biology of ophiostomatoid fungi causing sapstain in trees and freshly cut logs. St. Paul, Minnesota. Pp. 153-160.
- Grau, J.M. 1991. Ecología del chopo. Selección natural. En: El cultivo del chopo. Monografías Universitarias. Universidad Internacional Alfonso VIII. Soria. 13-49.
- Grau, J.M. 2003. La necesidad de ampliación del Catálogo Nacional de clones de chopo. *Revista Forestalis en Castilla y León (FAFCYLE)* 00: 14-15.
- Grenier, D., Baillères, H., Méot, J-M., Langbour, P. and Lanvin, J-D. (2003) A study of water loss and oil absorption during oleothermic treatment of wood. *Proceedings of the first European Conference on Wood Modification*, Ghent, Belgium, 23-32.
- Guía AITIM de la Madera. Productos de Madera para la Arquitectura. Octubre 2008.
- Guindeo, A y Peraza, C., 1976. La madera como materia prima. Ed. AITIM, Madrid, 197 pag.
- Hermoso, E. 2001. Caracterización mecánica de la madera Estructural de *Pinus sylvestris* L. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Hermoso, E., Carballo J. Fernández-Golfín. J.I., 2007. Caracterización estructural de la madera de *Pinus radiata* D. Don del País Vasco (España) acorde a las modificaciones normativas. INIA. Madrid.

- 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.
- López González, G.1982. Guía INCAFO de los árboles y arbustos de la Península Ibérica. INCAFO. Madrid.
- Mohebbi, B. Kevily, H. Kazemi-Najafi, S. 2014. Oleothermal modification of fir wood with a combination of soybean oil and maleic anhydride an its effects on physico-mechanical properties of treated wood. *Wood Sci Technol* (2014) 48: 797-809
- 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.
- Otrosina W. J.; Bannwart, D.; Roncadori, R. W., 1999. Root-infecting fungi associated with decline of longleaf pine in the southeastern United States. *Plant Soil*, 217: 145-150.
- Padró, A.; Orensanz, J.1987. El chopo y su cultivo. Serie General Técnica. MAPA. 446 pp.
- Padró, A.1992. Clones de chopo para el valle medio del Ebro. Diputación General de Aragón. Servicio de Investigación Agraria. Zaragoza
- Padró, A. 2001. Aspectos generales y legales del chopo como material forestal de reproducción de empleo en la populicultura. I Simposio del chopo. Zamora. Junta de Castilla y León. 23-41.
- Quimicas-Thai. (Web en línea, [www.quimicasthai.wordpress.com](http://www.quimicasthai.wordpress.com)). Consulta: 15/11/2014
- Rey-Prieto, A. Riesco-Muñoz, G. 2012. Influencia del azulado (mancha azul) en la densidad y estabilidad dimensional de la madera de *Pinus sylvestris*.
- 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.
- Sanz, F. et al., 2006. Aplicaciones industriales de la madera de *Pinus pinaster*. Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e o Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia (CIS Madeira).
- Soriano, C. 1993. *Populus*. In S. Castroviejo & al. (eds.), *Flora ibérica* 3: 471-477. Real Jardín Botánico.

- UNE-EN 338:1999. Estructuras de maderas. Clases resistentes. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.
- UNE-EN 408:2004. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.
- UNE 56-528-78. Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayos. 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 56-531-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.
- UNE 56-532-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la Higrscopicidad. 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.
- Unsal 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.
- 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.