



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA Y EDIFICACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA DE DISTINTAS ESPECIES, CON Y SIN RECUBRIMIENTO, MEDIANTE ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Projectista: Virginia Jacqueline Yika Paz

Directoras: Ana Lacasta Palacio

Laia Haurie Ibarra

Convocatoria: Octubre 2020

RESUMEN

En este proyecto se analiza el comportamiento de muestras de madera de dos especies, pino y abeto, con diferentes tipos de recubrimientos, mediante ensayos de envejecimiento acelerado.

Para llevar a cabo este análisis, hemos escogido 5 tipos distintos de tratamientos superficiales que aplicamos a las diferentes muestras de madera. Por otro lado, dejaremos una de las muestras de cada tipo de madera sin tratamiento.

Las muestras se han colocado en una máquina de envejecimiento acelerado (QUV) la cual simula artificialmente los agentes atmosféricos. Con este propósito está equipada con unas lámparas UVA-340 y con un sistema de chorreado de agua. El equipo se ha programado de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 927-6. Cada ciclo de exposición de una semana consiste en un periodo de condensación de 24 horas, seguido de 144 horas en las que se realizan 48 semiciclos de 3 horas, consistentes en 2h 30m de irradiación y 30 m de pulverización.

Para este proyecto, se han realizado 2 ensayos, uno en el mes de julio con una duración total de 336 horas y otro en el mes de septiembre con una duración de 672 horas.

Las muestras se supervisaron una vez por semana, día en el que se realizaron mediciones para controlar la evolución de cada una de las muestras, mediante fotografías de cada una de las muestras y la colorimetría a través del sistema CIE Lab.

Por otro lado, se ha determinado el ángulo de contacto de las muestras antes de empezar el ensayo de envejecimiento y después de la finalización del mismo ensayo.

- 2 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado
-

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	3
2 LA MADERA Y SU USO EN EL EXTERIOR	3
2.1 ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA	3
2.2 CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA	4
2.2.1 AGENTES ATMOSFÉRICOS	4
2.2.2 AGENTES BIÓTICOS	5
2.3 TRATAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN DE LA MADERA	7
3 EVALUACIÓN DEL ENVEJECIMIENTO Y DURABILIDAD. ESTADO DEL ARTE	12
3.1 ENSAYOS “IN SITU”	12
3.2 ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO	16
4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	17
4.1 MATERIALES UTILIZADOS	17
4.2 ENVEJECIMIENTO ACELERADO. EQUIPO Y PROTOCOLO.	19
4.3 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	21
4.4 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA	23
4.4.1 EVALUACIÓN FOTOGRÁFICA	23
4.4.2 COLORÍMETRIA	23
4.4.3 ANGULO DE CONTACTO	26
5 RESULTADOS	28
5.1 EVOLUCIÓN A TRAVÉS DEL ANÁLISIS FOTOGRÁFICO	28
5.2 CAMBIOS COLORÍMETRICOS	35
5.3 ÁNGULO DE CONTACTO Y SU EVOLUCIÓN	49
6 CONCLUSIONES	54
7 BIBLIOGRAFIA	55
ANEXO – COMPETENCIA TERCERA LENGUA	57

1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo final de grado pretende analizar el comportamiento de la madera de pino y abeto, con y sin recubrimiento, tras realizar el envejecimiento acelerado en la máquina QUV que simula los agentes atmosféricos como pueden ser los rayos ultravioletas y la humedad.

Con el fin de poder estudiar la evolución de las muestras con el tiempo, tomaremos fotografías y evaluaremos la colorimetría y el ángulo de contacto antes de someterlas a envejecimiento acelerado.

Durante los ensayos se irá viendo la evolución que presentan las diferentes muestras de madera en función de los distintos tratamientos superficiales aplicados a medida que transcurren las semanas. Cada siete días se controla el estado de las muestras mediante análisis visual mediante fotografías, colorimetría y ángulo de contacto.

Finalmente, se obtienen los resultados al realizar la comparativa entre los datos iniciales y los datos finales resultantes.

Para realizar la colorimetría he tomado como referencia la tesis doctoral de la autora Camila Burgos (2016) y la tesis de máster de la autora Mayibell Turbi Mojica (2015). Y artículos que hablan del envejecimiento tanto en luz natural como en la máquina de envejecimiento acelerado.

2 LA MADERA Y SU USO EN EL EXTERIOR

2.1 ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA

La madera es un material usado desde la antigüedad en la construcción de los edificios, ya que cuenta con numerosas propiedades positivas. Sin embargo, hay agentes bióticos y abióticos que pueden deteriorarla. La acción de la luz y del agua afectan las capas superficiales de la madera cambiándoles el color y volviendo áspera su superficie. En muchas ocasiones la madera presenta alabeos, que es una deformación curva, y agrietamientos. [1]

Los factores que provocan el envejecimiento de la madera son la radiación solar, la humedad, el oxígeno y la temperatura. La luz ultravioleta es uno de los factores que más afecta la superficie de la madera porque tiene la suficiente fuerza para separar los principales enlaces químicos que la constituyen. Y producen variaciones físicas y químicas, como el cambiar el color, el brillo y el ángulo de contacto. La lignina se encarga de absorber de un 80% a un 95% del coeficiente de absorción UVA [2]

A continuación, en la fotografía se muestra un ejemplo de la degradación del color de la fachada de una vivienda debido a los rayos UVA y otros agentes atmosféricos. Posteriormente observamos la rehabilitación mediante la sustitución de las lamas de madera de pino por lamas de friso de pino lijadas y barnizadas para conseguir un acabado rústico.

4 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado



Figura 2.1 Degradación del color de la madera de pino de la fachada y sustitución por nuevas lamas de pino
Fuente: <https://www.mcmcasas.com/project/fachada-madera-2/>

2.2 CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA

2.2.1 AGENTES ATMOSFÉRICOS

La radiación solar se compone de un amplio espectro donde se encuentra la radiación ultravioleta y la infrarroja.

La radiación ultravioleta incide sobre la superficie de la madera degradando la lignina y originando un color grisáceo. Si la madera no recibe protección, la celulosa será arrastrada por el agua de la lluvia. Y posteriormente las esporas de los hongos se alojarán en la superficie cambiando el color de la superficie en un gris oscuro o negro.

La radiación infrarroja calienta la superficie de la madera y le hace perder humedad. Al mismo tiempo, el interior de la madera no presenta cambios de temperatura ni de humedad. Lo que origina contracciones en la superficie y ningún cambio en el interior de la madera. Dando como resultado pequeñas fendas superficiales.

Para reducir los daños de la radiación solar sobre la superficie de la madera se le debe aplicar algún tipo de protección. Como pinturas, barnices y lasures con gran cantidad de pigmentos. [3]

La humedad afecta a la madera porque es un material higroscópico. La madera se expande cuando absorbe humedad y se contrae cuando la pierde. [4]

Otro problema puede surgir cuando, a bajas temperaturas, se congela el agua contenida en la madera. Según C. Burgos [4], cuando la madera tiene una humedad superior al 28% puede sufrir el efecto de hielo y deshielo. Si la humedad que se encuentra en la pared celular se hiela, aumentando de volumen, y luego se deshiela, y lo hace, en repetidas ocasiones, puede

producirse la destrucción de las células superficiales y provocar la pérdida de resistencia de la madera.

2.2.2 AGENTES BIÓTICOS

Los agentes bióticos se desarrollan en un alto contenido de humedad la cual puede ser proporcionada por el agua de la lluvia.

Los xilófagos son todos los seres vivos que se alimentan de la madera, degradándola y en ocasiones destruyéndola.

La siguiente tabla, se ha agrupado a los xilófagos según su origen y el tipo de degradación que provocan en la madera. [3]

Tabla 2.1. Xilófagos agrupados según su origen y tipo de degradación. Fuente: Joaquín Montón [3]

Hongos	Mohos	
	Hongos cromógenos	Azulado
	Hongos de pudrición	Pudrición parda o cúbica
		Pudrición blanca o fibrosa
	Pudrición Blanda	
Insectos	Ciclo larvario: Coleópteros	Líctidos
		Anóbidos
		Cerambícidos
	Sociales: Isópteros	Termitas

6 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Hongos

Son vegetales inferiores que necesitan tener como mínimo un contenido de agua del 20% y una temperatura que oscila de los 20 a 25°C para poder desarrollarse en la madera.

Los *mohos* se alimentan de las células superficiales, pero no afectan las propiedades mecánicas de la madera porque no degradan ni la celulosa ni la lignina. Su presencia se hace notable cuando la superficie presenta un color oscuro o una pelusa.

Los *hongos cromógenos* decoloran la madera, dándole un color azulado o verde y no afectan su resistencia físico – mecánica, porque la pared celular no es su fuente de alimento sino las sustancias que se encuentran en la albura.

Los *hongos de pudrición* tienen la capacidad de destruir la pared celular de la madera y de afectar su resistencia mecánica.

Los hongos de pudrición blanca atacan comúnmente las maderas latifoliadas y se alimentan de la lignina, aunque también afecta a la celulosa, pero de manera mínima.

Los hongos de pudrición marrón se alimentan de la celulosa, y cuando podemos ver un color marrón en forma cúbica en la madera quiere decir que ha disminuido o perdido su resistencia.

Los hongos de pudrición blanda reblandecen la superficie de la madera y cuando ésta se seca presenta cavidades en la pared celular, siendo visible solo a través de microscopios.

Insectos

Los insectos los dividiremos en dos grupos: los insectos de ciclo larvario y los insectos sociales.

Los *insectos de ciclo larvario* pasan por 4 fases: huevo, larva, pupa e insecto adulto.

El ciclo inicia cuando los insectos adultos dejan sus huevos, en las fisuras de la madera. Como larvas se alojan en el interior de la madera, alimentándose de ella y formando una red de túneles. Lo que afecta la resistencia de la madera.

Los líctidos (polillas) son insectos pequeños que se alimentan de la albura de maderas frondosas y su ciclo suele durar un año. Los túneles que crean en el interior de la madera son paralelas a las fibras y salen al exterior a través de un hueco que tiene un diámetro de 1 a 2 mm. Los restos que suelen dejar es un polvillo.

Los anóbidos (carcomas) atacan la albura de las coníferas y las frondosas europeas, y si todo les es favorable también se alimentan del duramen y su ciclo suele durar 3 años. Los orificios por donde salen al exterior mide de 1,5 a 3 mm de diámetro. Los restos que dejan al hacer las galerías son gruesos y granulados.

Los cerambícidos atacan la albura de las coníferas. Su ciclo vital tiene una duración aproximada de 10 años. Las larvas tienen un diámetro de 6 mm con 22 mm de longitud y salen al exterior por un orificio de 7 mm. El daño que provocan en la madera es grande y serán eliminadas al igual que las termitas.

Los *insectos sociales (termitas)* son los que más daño le hacen a la madera, pero a la vez son difíciles de localizar porque no dejan rastro. Solo se las localiza cuando se ven obligadas a hacer su recorrido por el exterior creando cordones donde se mantiene la humedad óptima que necesitan y están protegidas de la luz.

Son colonias muy organizadas y sus nidos suelen estar lejos del edificio que atacan. [3]

2.3 TRATAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN DE LA MADERA

En la protección de la madera se puede distinguir entre los tratamientos de protección superficial, que protegen frente a la acción de agentes atmosféricos como el sol y la lluvia, y los tratamientos protectores contra agentes bióticos. En el caso de los protectores contra agentes bióticos, el tratamiento debe contener algún principio activo que proporcione a la madera mayor resistencia frente a los xilófagos. La tabla 2.1 extraída de la norma UNE-EN 335:2013 resume las clases de uso y los agentes bióticos que pueden atacar la madera y los productos derivados de la madera.

Tabla 2.1. Resumen de las clases de uso y los agentes bióticos que atacan la madera según UNE-EN 335-2013^o

Clase de uso	Situación general de uso ^a	Aparición de agentes biológicos ^{b,c}				
		Hongos cromógenos	Hongos Xilófagos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
1	En interior, seco	-	-	U	L	-
2	En interior o bajo cubierta, no expuesto a la intemperie. Posibilidad de condensación de agua	U	U	U	L	-
3	Al exterior por encima del suelo, expuesto a la intemperie Se subdivide en: 3.1 Condiciones de humidificación breve 3.2 Condiciones de humidificación prolongada	U	U	U	L	-
4	Al exterior en contacto con el suelo y/o con agua dulce	U	U	U	L	-
5	Sumergido en agua salada de forma regular o permanente	U ^d	U ^d	U ^d	L ^d	U

U = Universalmente presente en Europa y territorios de la UE.
L = Localmente presente en Europa y territorios de la UE.

8 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Existen diferentes métodos de aplicación del tratamiento. A continuación, se describen los más relevantes:

- Productos decorativos para la protección superficial: Protegen la madera frente a los agentes atmosféricos como son el sol y la lluvia y frente a los cambios de humedad.
- Protectores de la madera: Realizados con compuestos químicos, aportan a la madera una mayor resistencia frente a los agentes bióticos.

Productos decorativos para la protección superficial

- Barniz:
Material de recubrimiento que, al ser aplicado, forma una película sólida transparente con propiedades protectoras, decorativas o técnicamente específicas.
Se utilizan en maderas interiores y exteriores.
Se aplica a través de pincelado y pulverizado.
- Pintura:
Material de recubrimiento pigmentado, en forma líquida, en pasta o en polvo, que, al ser aplicado a una superficie, forma una película opaca con propiedades protectoras, decorativas o técnicamente específicas.
Se usa en maderas interiores y exteriores.
Se aplica con pincelado y pulverizado.
- Lásures:
Productos a poro abierto, que además de llevar incorporados productos biocidas, llevan filtros solares que retardan la oxidación de la madera (lignina) por la acción de la radiación ultravioleta, que retrasan el cambio de color de la madera por la acción del sol. Este efecto se acentúa en los lasures pigmentados.

Se utiliza en maderas interiores y exteriores.
Se aplica con pincelado, pulverizado, autoclave (vacío-vacío). [9]

Protectores de la madera

- Productos en base de disolventes orgánicos:
Son productos constituidos por formulaciones complejas en las que actúan los siguientes elementos:
 - Principios activos: Compuestos orgánicos de síntesis
 - Coadyuvantes: Compuestos que aseguran la estabilidad del producto y la fijación de los principios activos en el interior de la madera.
 - Disolventes o diluyentes
Protege de hongos cromógenos, hongos de pudrición, insectos xilófagos larvarios e insectos sociales (termitas).

- Productos mixtos: Son productos novedosos cuyos principios activos mezclan sales minerales con productos de síntesis.

Protege de hongos cromógenos, hongos de pudrición, insectos xilófagos larvarios e insectos sociales (termitas)

- Protectores hidrodispersables:
Son mezclas de principios activos no solubles en agua a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua.

Protege de hongos cromógenos, hongos de pudrición, insectos xilófagos larvarios e insectos sociales (termitas).

- Protectores hidrosolubles:
Por su fijación a la madera se distinguen los siguientes productos.

- Productos de fijación rápida y no fácilmente deslavables.
- Productos de fijación lenta
- Productos carentes de sales fijadoras o deslavables

Protege de hongos cromógenos, hongos de pudrición, insectos xilófagos larvarios e insectos sociales (termitas). Para clase de uso 5: Moluscos y crustáceos xilófagos.

- Productos orgánicos naturales:
Son aceites de composición química compleja y se caracterizan por su densidad, viscosidad, curva de destilación y por su contenido de naftalenos, antracenos y productos fenólicos que determinan su eficacia.

Solo pueden aplicarse a madera seca y la madera tratada con ellos no admite acabado.

Protege de hongos cromógenos, hongos de pudrición, insectos xilófagos larvarios e insectos sociales (termitas). Para clase de uso 5: Moluscos y crustáceos xilófagos.[9]

Tipos de aplicaciones:

- Pincelado:

Es un tratamiento donde se usan brochas o pinceles para tratar la superficie de la madera de forma sencilla y rápida. Se pueden aplicar barniz, pinturas, aceites y lasures. No aporta mucha protección, y por este motivo no se recomienda usar la madera con esta protección en zonas que son húmedas. Normalmente se ponen 3 manos de producto, dejando que seque entre cada mano. Este tratamiento permite conseguir la clase de uso 1 y 2.

Nanotecnología

La nanotecnología se está aplicando actualmente en diferentes ámbitos. En los productos de protección de la madera hay impermeabilizantes hechos con partículas nanométricas de óxido que no se degradan.

10 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

En este proyecto usamos dos productos con nanotecnología: TECNADIS PRS PERFORMANCE que es hidrofugante y oleofugante y AQUASHIELD FORTE que es hidrofugante e hidropelente.

- Pulverizado:

La superficie de la madera es tratada con los mismos productos que en el pincelado, con la diferencia que en este caso se necesita un equipo de presión que se puede aplicar de forma manual o mecánica. Este tratamiento equivale a 3 manos de pincelado. Este tratamiento permite conseguir la clase de uso 1 y 2.



Figura 2.02 Pulverización de la madera. Fuente: www.bauhaus.es

- Inmersión breve:

Este tratamiento consiste en sumergir totalmente la pieza de madera en el líquido protector. El tiempo de inmersión puede oscilar de 10 segundos a 10 minutos. Y el líquido protector va de la superficie al interior por medio de los capilares que tiene la madera. Lo que permite una mayor protección que el pincelado y el pulverizado. Este tratamiento permite conseguir la clase de uso 1 y 2. [10]

- Inmersión prolongada:

En primer lugar, el porcentaje de humedad de la madera debe ser inferior a 18%, es decir tiene que estar seca. Luego se procede a sumergir la madera en un producto hidrosoluble o

en disolvente orgánico durante más de 10 minutos. Este tratamiento permite conseguir la clase de uso 3.

- Autoclave:

Este tratamiento protege a la madera de los agentes xilófagos. Y permite que la madera consiga la clase de uso 4 y 5. Se usa para maderas coníferas, pero el abeto es la excepción ya que no acepta este tratamiento debido a su estructura celular. Según la normativa europea se usa sales de cobre libres de cromo y arsénico para el proceso de presión. [10]

- Con presión:

Para que la madera este apta para entrar en el cilindro metálico cerrado, debe tener una humedad inferior al 28%. A través de vacíos y presiones se obliga al protector a entrar en la madera. Luego para que el producto protector se fije bien en el interior de la madera, hay que colocar las maderas una encima de la otra durante un tiempo que oscila entre 1 semana a 3 semanas. En este periodo el solvente se evaporará para que quede solo el producto protector. También podemos ver dos sistemas: de célula llena y de célula vacía, que se diferencian de acuerdo a como el producto se distribuyó en el interior de la madera.

- Doble vacío:

La madera tiene que estar completamente seca y tener una humedad inferior al 18%, para entrar en la autoclave y con una combinación de presión y vacíos se obliga al producto a entrar en la madera. La diferencia con el procedimiento anterior es que este protege todo el perímetro de la pared celular de la madera sin saturar el lumen de las células.

Tipos de penetración:

- Penetración superficial:

Es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm

- Penetración media

Es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es superior a 3mm sin llegar al 75 % de la parte impregnable

- Penetración profunda

Es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75 % de la parte impregnable.

Otros tratamientos:

- Madera termotratada

Es un proceso utilizado desde hace milenios, que tiene como finalidad incrementar la durabilidad a 80 años de la madera a través de quemar la madera. Y por finalidades económicas se usa principalmente las maderas coníferas.

Este proceso es destacable porque no necesita de productos químicos para su realización, eso quiere decir que aporta al mantenimiento del medio ambiente. Y consiste en elevar la temperatura de la madera, a una temperatura superior de los 200°C, y encontrarse en una zona con ausencia de oxígeno. Luego que la superficie está quemada, se prosigue a cepillar con un cepillo de púas para luego aplicar aceite natural.

Lo que esto provoca en la madera es irreversible porque transforma su estructura interna. Mejorando su resistencia a los agentes degradadores como los hongos, insectos y la humedad. La modificación química de los constituyentes de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina) aumenta la dureza y por ende su durabilidad. Aumentando la estabilidad de la madera, es decir su merma y su hinchazón disminuyen notablemente. El punto negativo es que este tratamiento reduce sus propiedades mecánicas. Y su uso más cotidiano es en el exterior o lugares de gran porcentaje de humedad [11]

12 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

- Madera acetilada

El tratamiento consiste en convertir los grupos de hidroxilos en grupos de acetilo mediante la aplicación de anhídrido acético. Este proceso transforma su estructura interna, aumentando su durabilidad y reduciendo la dilatación y contracción de la madera. La parte positiva en comparación con las maderas termo tratadas es que no se modifican las propiedades mecánicas y por ende este tipo de maderas se puede utilizar con fines estructurales de una edificación. La madera acetilada puede ser utilizada en aguas saladas porque la acetilación la ha hecho resistente a la sal y también le ha aumentado la dureza a la madera.

Un punto importante a resaltar es que para las sujeciones de la madera no se puede usar cualquier acero tiene que ser obligatoriamente inoxidable, porque sus niveles de ácido aumentaron con el tratamiento. También la madera mantiene su color después del tratamiento [12]

La madera acetilada se aclara cuando es expuesta a la radiación solar, ya que la acetilación impide que adquiera un color amarillento. [5]

- Madera sometida a tratamientos físicos-químicos por impregnación

Generalmente, la impregnación se realiza por monómeros o con oligómeros de hidrocarburos de pequeña masa molecular, adaptándose su viscosidad a cada caso. Estos compuestos rellenan todos los huecos, lo que evita que generen intercambios de vapor de agua con el exterior. [2]

- Tratamiento con alcohol furfúrico:

Es un proceso químico que cambia a las moléculas de celulosa con el fin de capacitarlas para absorber el alcohol furfúrico. El tratamiento usa reactivos químicos, catalizadores, amortiguadores, estabilizantes y como disolvente el agua.

La furfurilación mejora considerablemente la higroscopicidad de la madera y, al mismo tiempo, incrementa su densidad y su dureza. Las propiedades mecánicas tienden a incrementarse excepto la resistencia al impacto y el color de la madera se oscurece. [6]

3 EVALUACIÓN DEL ENVEJECIMIENTO Y DURABILIDAD. ESTADO DEL ARTE

3.1 ENSAYOS “IN SITU”

Los ensayos “in situ” consisten en someter las probetas a la acción de los agentes ambientales reales. Es el caso del trabajo realizado por Camila Burgos en su tesis doctoral [4] en el que, durante dos años, analizó la afectación de las probetas ubicadas en el exterior.

Los lugares donde se expusieron las muestras, todos ellos con clima mediterráneo, fueron Barcelona, Lleida, Sant Cugat, Santiago (Chile) y Concepción (Chile).

Los tratamientos elegidos fueron autoclave y termotratado, así como la aplicación de diversos acabados.

Primero se montaron las probetas en un expositor de acero inoxidable, quedando a la intemperie. Y cada dos meses fueron analizadas para observar la durabilidad del acabado.

Se registró el peso y la humedad, y se tomaron fotografías de cada muestra para verificar la degradación del color.

El método de medición de cada una de las muestras fue la siguiente:

Primero, retirar todas las probetas de los expositores.

- Son 22 probetas en España y 21 probetas en Chile.
- Limpiarlas del polvo que puedan tener con un paño seco para que las fotografías no se vean afectadas en su color.
- Anotar peso digital de cada una de ellas en plantilla Excel.
- Medir con el higrómetro cada una de ellas por donde está el número de identificación de la probeta y anotar su contenido de humedad en % en la plantilla Excel.



Figura 3.1. Expositor con las probetas en cubierta de EPSEB. Fuente: Tesis de Camila Burgos [4]

Se realizaron fichas con los datos climatológicos de los meses de exposición a la intemperie de las probetas en las distintas localizaciones con los datos proporcionados por METEOCAT Y METEOCHILE.

En su trabajo, C. Burgos evaluó las variaciones de color utilizando el sistema CIE Lab, que describimos más adelante (sección 4.4) y que se basa en tres parámetros: L (luminosidad), a (eje rojo-verde) y b (eje amarillo-azul). Cada muestra de la tesis fue identificada colocándole el lugar y el tiempo de exposición, el tipo de madera con su tratamiento y acabado, y los valores L, a y b. A partir de los parámetros (L, a, b) determinó el parámetro de degradación de color $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ (ver sección 4.4).

Para cada muestra, observó la evolución del inicio al primer año y al segundo año. Por ejemplo, para la muestra B1 (Abeto Douglas sin tratamiento) se obtuvo:

S1(61,31,46) S7(55,25,33) S13(55,19,26), lo que indica que el primer año disminuyó el rojo en 6 puntos y el amarillo en 13 puntos. El segundo año disminuyó el rojo en 6 puntos y el amarillo en 7 puntos. La luminosidad el primer año disminuyó hacia el negro en 6 puntos y el segundo año se mantuvo.

S1(L_i, a_i, b_i) S7(L₁, a₁, b₁) S13(L₂, a₂, b₂)

Describió que:

El tono disminuye el primer año porque paso de tener una a_i = 31 a una a₁ = 25.

La saturación disminuye el segundo año porque paso de tener una b_i = 46 a una b₂ = 26

14 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

La luminosidad es menor el primer año porque paso de tener una $L_i = 61$ a una $L_1 = 55$

Comparó el parámetro ΔE desde que se empezó el ensayo hasta el segundo año de exposición.

Si ΔE da un valor grande, el cambio de color ha sido grande.

En la tesis Camila Burgos creó un Excel con los ΔE

Tabla 3.1. Parte del Excel de ΔE . Fuente: Tesis de Camila Burgos

	B				L				V			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
Probeta 1	-6 O L	-12 R R	-20 A A	24,08	-11 L L	0 R R	-7 A A	13,04	20 L L	-19 R R	-22 A A	35,28
Probeta 2	3 O L	-6 R R	-3 A A	7,35	-13 O L	2 R R	4 A A	13,75	8 L L	8 R R	15 A A	18,79
Probeta 3	-10 O L	14 R R	10 A A	19,90	-31 O L	18 R R	17 A A	39,67	-14 O L	11 R R	7 A A	19,13
Probeta 4	7 O L	4 R R	3 A A	8,60	-7 O L	8 R R	2 A A	10,82	11 L L	7 R R	9 A A	15,84
Probeta 5	-5 O L	8 R R	5 A A	10,68	-17 O L	11 R R	10 A A	22,58	0 L L	5 R R	-3 A A	5,83
Probeta 6	-1 O L	10 R R	-3 A A	10,49	-11 O L	8 R R	0 A A	13,60	3 L L	9 R R	-3 A A	9,95
Probeta 7	5 O L	13 R R	-9 A A	16,58	3 L L	-6 R R	-3 A A	7,35	9 L L	6 R R	-8 A A	13,45
Probeta 8	-23 O L	3 R R	3 A A	23,39	-29 O L	9 R R	13 A A	33,03	-43 O L	5 R R	2 A A	43,34
Probeta 9	-14 O L	-1 R R	-11 A A	17,83	-21 O L	6 R R	0 A A	21,84	-16 O L	-6 R R	-19 A A	25,55
Probeta 10	-19 O L	0 R R	-12 A A	22,47	-21 O L	8 R R	5 A A	23,02	-1 O L	-3 R R	5 A A	5,92
Probeta 11	-16 O L	10 R R	12 A A	22,36	-26 O L	18 R R	22 A A	38,52	-14 O L	7 R R	4 A A	16,16
Probeta 12	-8 O L	0 R R	0 A A	8,00	-16 O L	4 R R	5 A A	17,23	-27 O L	2 R R	3 A A	27,24
Probeta 13	-8 O L	0 R R	-3 A A	8,54	-8 O L	1 R R	1 A A	8,12	-9 O L	-6 R R	-15 A A	18,49
Probeta 14	-6 O L	-1 R R	-5 A A	7,87	-9 O L	4 R R	5 A A	11,05	-14 O L	-2 R R	-8 A A	16,25
Probeta 15	3 O L	-1 R R	-2 A A	3,74	-7 O L	1 R R	5 A A	8,66	-10 O L	3 R R	4 A A	11,18
Probeta 16	-15 O L	3 R R	-26 A A	31,91	-22 O L	12 R R	-16 A A	29,73	-22 O L	3 R R	-29 A A	36,52
Probeta 17	-1 O L	-4 R R	-24 A A	24,35	4 L L	-4 R R	-12 A A	13,27	1 L L	-5 R R	-26 A A	26,50
Probeta 18	16 L L	-11 R R	-4 A A	19,82	14 L L	-7 R R	2 A A	15,78	8 L L	-10 R R	-6 A A	14,14
Probeta 19	15 L L	-13 R R	-4 A A	20,25	1 L L	-5 R R	4 A A	6,48	1 L L	-9 R R	-5 A A	10,34
Probeta 20	36 L L	-19 R R	-20 A A	44,94	28 L L	-19 R R	-22 A A	40,36	34 L L	-16 R R	-17 A A	41,24
Probeta 21	10 L L	-9 R R	-11 A A	16,88	1 L L	-7 R R	-10 A A	12,25	8 L L	-10 R R	-14 A A	18,97
Probeta 22	11 L L	-13 R R	-13 A A	21,42	1 L L	-5 R R	-6 A A	7,87	1 L L	-5 R R	-3 A A	5,92

Se realizó una ficha de fotografías donde aparece la muestra cuando se inicia el ensayo, a los 6 meses, a los 12 meses, a los 18 meses y a los 24 meses de exposición para que se pueda visualizar la degradación del color que sufrió cada una de las probetas.

Se ha tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- ΔE entre 0 y 15 indica que el cambio de color es mínimo.
- ΔE entre 15 y 30 indica que el cambio de color es medio.
- ΔE entre 30 y valores superiores indica que el cambio de color es mayor.

Otras degradaciones que se observaron en las probetas fueron: grietas, hongos, descascarillado y lavado del acabado. Cada probeta fue fotografiada a través de un microscopio PCE-MM200 Microscope, con aumento de 200X. Y las fotografías fueron valoradas de acuerdo a lo que se veía.

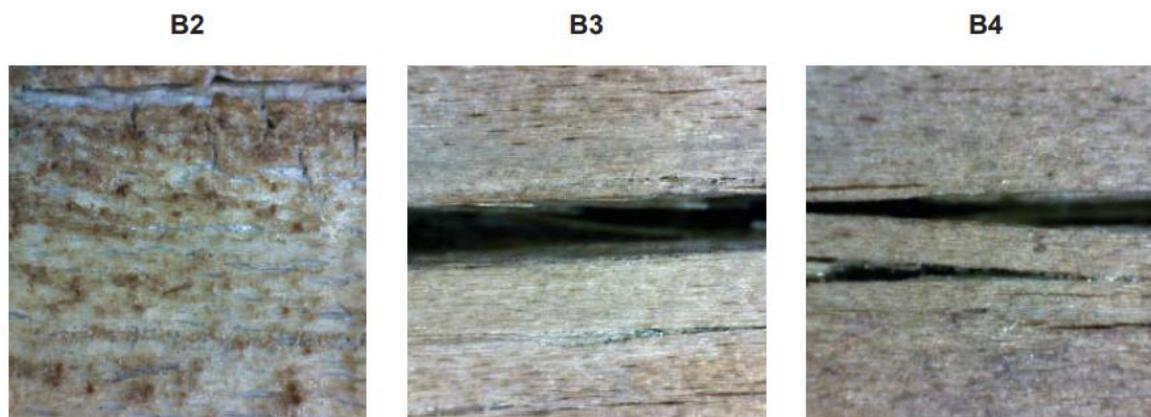


Figura 3.2. Fotografías tomadas del microscopio. Fuente: Tesis de Camila Burgos

Se realizó una tabla con los valores de ΔE y se marcó con amarillo los valores de ΔE más pequeños y con lila los valores de ΔE más grandes.

Tabla 3.2. ΔE de todas las probetas analizadas. Fuente: Tesis de Camila Burgos [4]

	ΔE							
	Barcelona	Lleida	Vallés	MEDIA ESPAÑA	Santiago	Concepción	MEDIA CHILE	MEDIA TOTAL
Probeta 1	24,08	13,04	35,28	24,13	40,91	38,43	39,67	31,90
Probeta 2	7,35	13,75	18,79	13,30	21,98	27,39	24,69	19,00
Probeta 3	19,90	39,67	19,13	26,23	18,03	32,03	25,03	25,63
Probeta 4	8,60	10,82	15,84	11,75	22,87	30,44	26,66	19,21
Probeta 5	10,68	22,58	5,83	13,03	10,63	30,68	20,66	16,85
Probeta 6	10,49	13,60	9,95	11,35	6,78	19,72	13,25	12,30
Probeta 7	16,58	7,35	13,45	12,46	5,10	12,53	8,82	10,64
Probeta 8	23,39	33,03	43,34	33,25	32,08	29,34	30,71	31,98
Probeta 9	17,83	21,84	25,55	21,74	12,88	24,37	18,63	20,19
Probeta 10	22,47	23,02	5,92	17,14	5,20	6,16	5,68	11,41
Probeta 11	22,36	38,52	16,16	25,68	27,48	9,43	18,46	22,07
Probeta 12	8,00	17,23	27,24	17,49	23,28	35,62	29,45	23,47
Probeta 13	8,54	8,12	18,49	11,72	16,31	20,81	18,56	15,14
Probeta 14	7,87	11,05	16,25	11,72	12,69	22,89	17,79	14,76
Probeta 15	3,74	8,66	11,18	7,86	16,40	16,73	16,57	12,22
Probeta 16	31,91	29,73	30,52	32,72	11,79	0,78	9,29	21,01
Probeta 17	24,35	13,27	26,50	21,37	0,00	0,00	0,00	21,37
Probeta 18	19,82	15,78	14,14	16,58	23,69	11,05	17,37	16,98
Probeta 19	20,25	6,48	10,34	12,36	13,08	13,45	13,27	12,82
Probeta 20	44,94	40,36	41,24	42,18	34,00	44,56	39,28	40,73
Probeta 21	16,88	12,25	18,97	16,03	27,50	36,74	32,12	24,08
Probeta 22	21,42	7,87	5,92	11,74	6,08	4,12	5,10	8,42
Total	17,79	18,55	19,82	18,72	18,51	22,54	20,53	19,63

Se concluyó que en Chile la degradación del color es mucho mayor que en España.

Se pudo comprobar que tanto la autoclave como el termotratado son buenos tratamientos para el buen funcionamiento de la madera en el exterior. Sobre todo, si se le añade un acabado superficial adecuado para la madera y su uso.

16 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

El barniz no tuvo un buen comportamiento ni en Chile ni en España.
Pero el que si tuvo un buen comportamiento fue el producto natural Livos.

Los tratamientos y acabados que mejor funcionaron fueron:

- Alerce/ Araucaria, sin tratamiento y lasur en base a agua.
- Abeto rojo, termotratado y lasur en base a agua
- tablero estratificado de alta densidad – Parklex

Y los que tuvieron peor comportamiento fueron:

- Abeto Douglas/ Pino Oregón, sin tratamiento y lasur en base a disolvente orgánico
- Alerce/Araucaria, sin tratamiento y sin acabado
- Abeto rojo, termotratado y barniz

3.2 ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Los ensayos “in situ” requieren mucho tiempo de exposición. Sin embargo, es posible someter las probetas a los llamados ensayos de envejecimiento acelerado. En ellos las muestras son sometidas a la radiación artificial de lámparas de luz ultravioletas, así como a ciclos de condensación y/o rociado de agua.

Liu et al. [2] realizaron una comparativa entre probetas sometidas a la luz natural del sol durante 733 días y probetas sometidas a luz artificial durante 180 horas respectivamente. En dicho trabajo, se compararon los cambios de color de la superficie en varios intervalos, obteniendo como resultado que las maderas sufrieron un envejecimiento más severo en la exposición a la luz artificial que en la exposición a la luz solar natural. En comparación con la luz solar natural, se identificó un proceso de envejecimiento aproximadamente 30 veces más rápido en la luz artificial.

Las 3 muestras de madera que fueron expuestas a la luz solar se expusieron a una temperatura ambiente que varió de 18 a 25°C. Se analizaron 7 veces en total a lo largo de todo el ensayo Y al finalizar el ensayo a los 733 días. Los resultados de la colorimetría fueron la disminución del ΔL , que significa que las muestras se opacaron y el aumento de Δa y Δb , que significa que las maderas se volvieron rojas y amarillas. Y lo mismo sucedió con las maderas envejecidas por luz artificial a una temperatura constante de 65°C.

Se pudo observar que la meteorización o degradación de la madera fue 30 veces más rápida en la luz artificial que la natural porque los valores de ΔE fueron muy parecidos cuando las muestras de luz artificial llevaban 60 horas de exposición y las de luz natural llevaban 70 días.

Ayadi, N. et al. (2003) realizaron un estudio a través de ensayos para observar el comportamiento del color en las maderas tratadas térmicamente. Las maderas recibieron un tratamiento térmico a base de nitrógeno durante dos horas y con una temperatura de 240°C. Las muestras tratadas térmicamente fueron expuestas a unas lámparas de 340 UV durante un periodo de 835 horas. Todo el proceso de experimentación demostró que las maderas tratadas tuvieron una mayor estabilidad del color en comparación con la madera no tratada.

Para llegar a estos resultados se realizaron mediciones a través del sistema CIE Lab y las coordenadas INDE.

Los primeros 7 días de ensayo, las mediciones de color se realizaron cada 24 horas y después una vez por semana.

Las muestras no tratadas desde el comienzo del ensayo se opacaron y adquirieron un color rojizo amarillento. En cambio, el tratamiento térmico evita este fenómeno en la madera.

4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIALES UTILIZADOS

Tipos de madera

Se han utilizado dos especies de madera: pino y abeto.

- Pino:

Es una madera abundante, impregnable y fácil de trabajar. Por su bajo coste en el mercado es muy utilizada en la construcción.

- Abeto:

Es una madera considerada poco durable. La albura es poco impregnable y su duramen no es impregnable.

Tratamiento superficial

Se han aplicado a las muestras de pino y abeto 6 productos para su tratamiento superficial. Siendo uno de ellos un fondo de imprimación, un producto previo a la aplicación de Xylazel Sol y Xylazel Plus.



Figura 4.1. Productos para protección superficial

18 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Según las fichas técnicas de Xylazel y Tecnan describimos los productos:

- **Xylazel sol:**
Lasur protector de la madera en base disolvente, con protección frente al sol, la intemperie y la humedad.
Deja transpirar a la madera permitiendo que se establezca un equilibrio con la humedad ambiental.
- **Xylazel Plus:**
Lasur protector de la madera a poro abierto, base disolvente, en acabado satinado e incoloro.
Resistente a la acción del sol, la lluvia, la humedad y la agresión medioambiental.
- **Tecnadis PRS performance:**
Producto hidrofugante y olefugante de base nanotecnológica, diseñado especialmente para superficies horizontales (también puede ser aplicado en superficies verticales/fachadas).
Evita la acumulación/absorción y penetración de agua y otros líquidos de naturaleza orgánica sobre las superficies tratadas, respetando completamente la estructura y la porosidad natural de los materiales.
- **Aquashield FORTE:**
Hidrofugante/ hidrorepelente reforzado basado en nanopartículas de muy altas prestaciones. Protector transparente, no visible, transpirable, de alto rendimiento, diseñado principalmente para la protección frente a la acción del agua de materiales porosos y poco porosos.
- **Xylazel aceite para Teca:**
Es una mezcla de aceites y resinas naturales, escogidos para nutrir la madera. Indicado para el mantenimiento de maderas exóticas y tropicales.
Protege a la madera de agrietamientos cuando es expuesto al sol.

4.2 ENVEJECIMIENTO ACELERADO. EQUIPO Y PROTOCOLO.

- Aparato

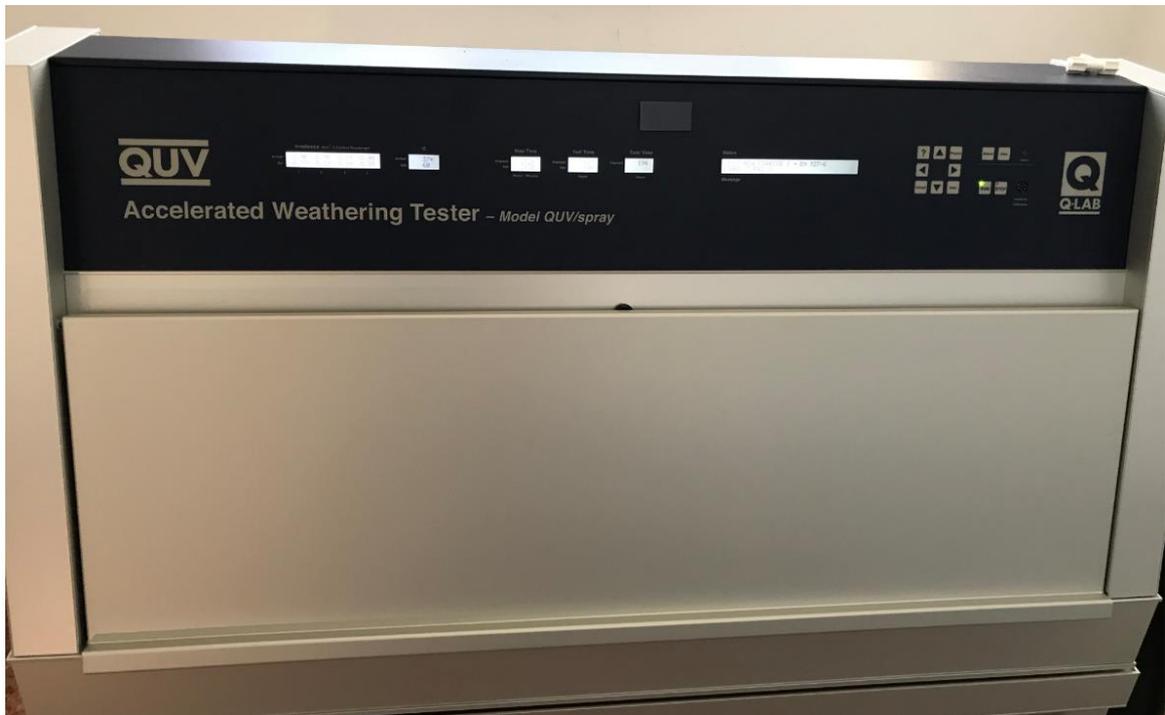


Figura 4.2. Máquina de envejecimiento acelerado QUV

Cámara de ensayo

El aparato es un QUV accelerated weathering tester – model QUV spray.

La cámara donde se realiza el envejecimiento acelerado está hecha con un material que resiste de manera óptima la corrosión, por el tipo de funcionamiento que tiene que realizar. Cuenta con lámparas, una cubeta de agua provista de calentadores, pulverizadores y soportes para colocar las muestras a ensayar.

Lámparas

Cada lámpara UV emite luz UV a partir de un arco de mercurio a baja presión. El interior de la lámpara se recubre de fósforo para que haya una correcta distribución espectral de la luz. La lámpara conforme a la Norma EN ISO 16474-3 debe emitir 340 nm y por ende es UVA 340.

Dispositivos para la humectación de las probetas de ensayo

Las probetas de ensayo se deben humedecer por condensación del agua caliente que se encuentra en la cubeta y por la pulverización. El pH del agua debe de estar entre 5 y 7,5 y la máxima conductividad eléctrica debe de ser de 2 ms/m para que las probetas no se manchen.

20 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Termómetro del cuerpo negro

El termómetro del cuerpo negro es expuesto a todos los parámetros de humedad, rayos UVA, chorros de agua a la que se somete la muestra. Porque el cuerpo negro que está unido a un sensor es el que regula la temperatura.

Control de la irradiancia

La irradiancia a 340 nm se debe ajustar a 0,89 W/(m²nm).

- Exposición

Ciclo de exposición

Es procedimiento utilizado sigue la norma UNE-EN 927-6:2019. Cada ciclo del ensayo dura una semana es decir 168 horas. Donde las primeras 24 horas son de condensación a una temperatura de 45 ± 3°C. Y luego ciclos de 3h donde 2h 30 min son de irradiación y 30 min de pulverización de agua. En total son 48 ciclos por ensayo.

Tabla 4.1. Ciclos de exposición. Fuente: UNE-EN 927-6:2019

Etapas	Función	Temperatura	Duración	Condición
1	Condensación	(45 ± 3) °C	24 h	-
2	Etapas del sub-ciclo 3 + 4		144 h consistentes en 48 ciclos de 3 h formados por las etapas 3 y 4	-
3	UV	(60 ± 3) °C	2,5 h	Punto de consigna de la irradiancia 0,89 W/(m ² nm) a 340 nm
4	Pulverización	-	0,5 h	6 l/min a 7 l/min, UV apagado

Según la norma UNE-EN 927-6:2019 no se pueden establecer correlaciones válidas entre el envejecimiento artificial y el envejecimiento natural debido a la influencia de un gran número de factores conforme a la naturaleza del recubrimiento y del sustrato.

Análisis de probetas

La máquina se paró cada 7 días para realizar las mediciones de las muestras. La pausa se hizo cuando la máquina se encontraba en el ciclo de irradiación para que la muestra saliera seca.

Una vez las muestras estaban fuera, se procedía a tomar las fotografías y a realizar la colorimetría. Cuando se acababa el análisis las muestras se volvían a colocar dentro de la máquina y el ensayo continuaba.

Estas evaluaciones se realizaron periódicamente para tener un control de la evolución de la degradación de las muestras.



Figura 4.3. Muestras de pino dentro de la máquina QUV

4.3 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas de madera recibieron un tratamiento superficial por pincelado.

Primera fase



Figura 4.4. Productos para protección superficial

Dimensiones:

Pino: 30 cm de alto x 7 cm de ancho x 1 cm de espesor

Abeto: 30 cm de alto x 7 cm de ancho x 1,5 cm de espesor

Madera acetilada: 30 cm de alto x 7 cm de ancho x 1,5 cm de espesor

Se prepararon 6 muestras de pino, 6 muestras de abeto y una acetilada. Las 13 muestras se ensayaron en la cámara de envejecimiento acelerado. Al tener una altura de 30 cm, cada muestra queda expuesta, dentro de la cámara en dos ventanas de exposición. Por tanto, equivale a ensayar un total de 26 muestras.

22 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Hay una muestra de pino y una de abeto con Xylazel Sol, Xylazel Plus, Tecnadis PRS performance, Aquashield FORTE y Xylazel aceite clásico.

Y una muestra de pino y una de abeto se queda sin ningún tratamiento superficial

Tabla 4.2. Nomenclatura de las muestras de la primera fase

	Pino	Abeto
Sin tratamiento superficial	P.S.T	A.S.T
Xylazel Sol	P. XSOL	A. XSOL
Xylazel Plus	P. XPLUS	A. XPLUS
Tecnadis PRS performance	P. PRS	A. PRS
Aquashield FORTE	P. FORTE	A. FORTE
Xylazel aceite clásico	P. NAT	A. NAT

Segunda fase

Dimensiones:

Pino: 15 cm de alto x 7 cm de ancho x 1,2 cm de espesor

Abeto: 15 cm de alto x 7 cm de ancho x 1,5 cm de espesor

Madera acetilada: 15 cm de alto x 7 cm de ancho x 1,5 cm de espesor

Se prepararon 12 muestras de pino y 12 muestras de abeto. Solo 6 muestras de pino y 6 de abeto se ensayaron dentro de la cámara de envejecimiento acelerado. El resto de muestras se quedaron fuera de la cámara, para luego poder comparar los resultados.

Hay 2 muestras de pino y 2 muestras de abeto con Xylazel Sol, Xylazel Plus, Tecnadis PRS performance, Aquashield FORTE y Xylazel aceite clásico.

Y dos muestras de pino y dos de abeto quedan sin ninguna protección superficial.

Tabla 4.3. Nomenclatura de las muestras de la segunda fase

	Pino en cámara	Pino	Abeto en cámara	Abeto
Sin tratamiento superficial	P.S.T	*P.S.T	A.S.T	*A.S.T
Xylazel Sol	P. XSOL	*P. XSOL	A. XSOL	*A. XSOL
Xylazel Plus	P. XPLUS	*P. XPLUS	A. XPLUS	*A. XPLUS
Tecnadis PRS performance	P. PRS	*P. PRS	A. PRS	*A. PRS
Aquashield FORTE	P. FORTE	*P. FORTE	A. FORTE	*A. FORTE
Xylazel aceite clásico	P. NAT	*P. NAT	A. NAT	*A. NAT

La nomenclatura con * son las muestras que se quedaron fuera de la cámara de envejecimiento acelerado.

4.4 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA

4.4.1 EVALUACIÓN FOTOGRÁFICA

Las fotografías se han realizado bajo un mismo fondo, en un mismo lugar y con la misma intensidad de luz.

4.4.2 COLORÍMETRIA

Para entender la colorimetría es importante saber que el color no es una propiedad física y no se puede evaluar solo visualmente. Necesita de parámetros para poder analizarlo de forma efectiva.

Por esto fue necesario establecer un sistema que describa el color, como la trivariancia perspectiva, que es la capacidad para poder diferenciar los colores a partir de tres características perspectivas, las cuales son: [7]

- Tono (matiz): Es el que conoce como el color (rojo, verde, azul, amarillo, etc) y es el que diferencia un color espectral de otro.
- Saturación: Es el grado de pureza del color. Un color muy saturado está formado, en casi toda su intensidad, por una longitud de onda dominante. Mientras que un color poco saturado tendrá contribuciones en intensidad de otras longitudes
- Luminosidad: Es el atributo mediante el cual el color percibido se considera equivalente a un valor de gris entre blanco y negro.

Colorimetría CIE-Lab

Este sistema se ha utilizado para evaluar el cambio de color de cada una de las muestras ensayadas. Es un sistema que también han utilizado Camila Burgos y Mayibell Turbi Mojica cada una en sus respectivas tesis.

El CIE en los años 70 creó un sistema con tres valores triestímulo para establecer una escala de cromaticidad.

El sistema se determina en tres ejes en un espacio 3D que son L, a y b.

- L: Este eje es perpendicular al eje a y al eje b y representa la luminosidad.

L = 0 es negro

L = 100 es blanco

- a: En este eje oscilan el color rojo y verde

+a = rojo

-a = verde

- b: En este eje oscilan el color amarillo y azul.

24 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

+b = amarillo

-b = azul

L es el brillo del color y los valores de a y b nos proporcionan el tono y la saturación.

ΔL es la diferencia de brillo de ambos colores

Δa es la diferencia de la variación de los componentes rojo y verde de ambos colores

Δb es la diferencia de la variación de los componentes amarillo y azul

ΔE es un valor que nos muestra el grado de degradación de color que ha sufrido la madera.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

De acuerdo a los valores obtenidos el cambio puede ser mínimo, medio o mayor.

ΔE cuando el valor da de 0 a 15, el cambio es mínimo

ΔE cuando el valor da de 15 a 30, el cambio es medio

ΔE cuando el valor da de 30 a más, el cambio es mayor

Aparato de Colorimetría

El colorímetro es un aparato con el que se hizo las mediciones de cada muestra.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

- Calibrar el aparato colorímetro.
- Colocar la plantilla sobre la muestra.
- Colocar el lente del aparato sobre circulo de la plantilla
- Hallar los valores L, a y b que me proporciona el programa en el ordenador
- Guardar el archivo en la extensión del programa
- Anotar los valores de L, a y b en una libreta y pasarlos a una tabla Excel.



Figura 4.5. Plantilla para colorímetro y muestra de pino



Figura 4.6. Muestra, plantilla y aparato colorímetro

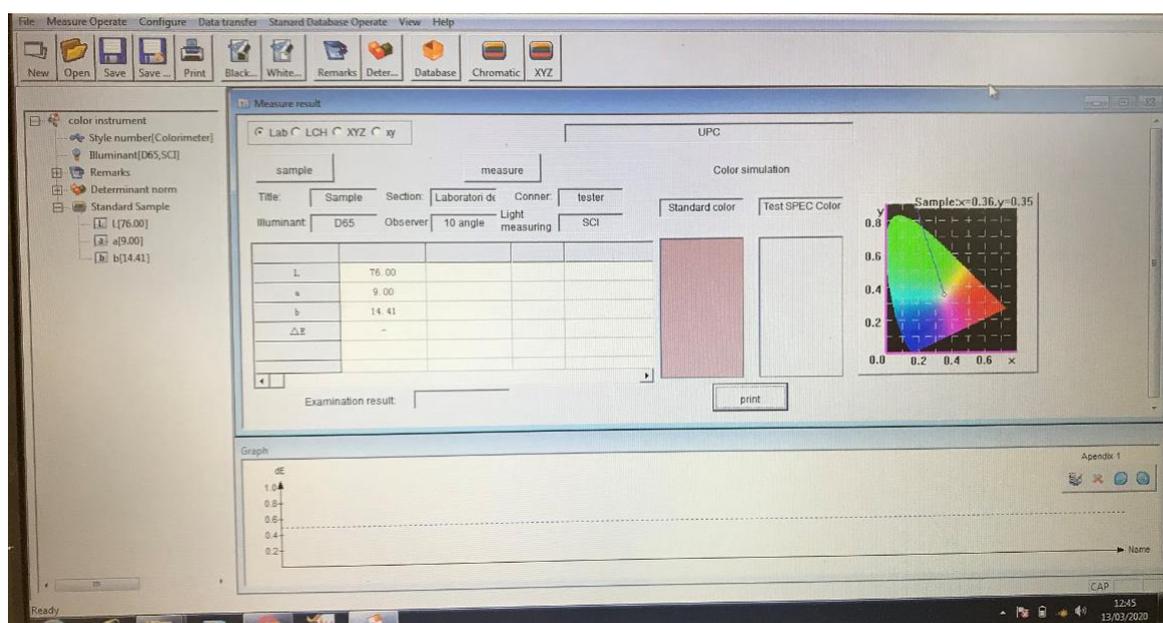


Figura 4.7. Programa del Colorímetro en el ordenador

Primera fase

Las muestras tenían unas dimensiones de 7 cm de ancho y 30 cm de alto. Cada muestra, se ubica en un soporte que tiene dos ventanas de exposición.

Por esta razón la plantilla se hizo con 5 círculos donde posteriormente se colocaría el lente del aparato de colorímetro para obtener los valores L, a y b.

El punto 1 no queda expuesta a la radiación y a la condensación, pero los 4 puntos restantes sí.

Segunda fase

Las muestras tenían unas dimensiones de 7 cm de ancho y 15 cm de alto. En cada soporte se colocaron dos muestras: una de pino en la parte superior y una de abeto en la inferior.

Se usó la misma plantilla que en el mes de Julio. Solo que en el pino el punto 1 queda fuera de exposición y el punto 2 y 3 quedan expuestos. Y en el abeto el punto 3 queda fuera de exposición y el punto 1 y 2 quedan expuestos por la radiación y condensación. Y lo mismo sucede con la muestra de madera acetilada.

4.4.3 ÁNGULO DE CONTACTO

El ángulo de contacto o también llamado de humectancia es el ángulo que forma la superficie de la sustancia líquida con la superficie del sólido, cuando estas dos entran en contacto. Y es útil para conocer las propiedades de humectabilidad de los materiales y para observar los cambios en las superficies que presentan tratamientos.

El ángulo de contacto depende de las tensiones superficiales del sólido (γ_S), del líquido (γ_L) e interfacial sólido/líquido ($\gamma_{S/L}$).

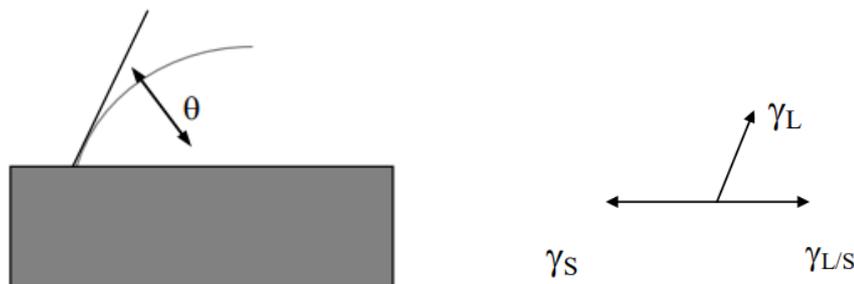


Figura 4.8. A la izq. Ángulo de contacto y a la derecha las tensiones superficiales
Fuente: PDF de J. Torrent Burgués FOOT-UPC, Terrassa [8]

El ángulo Θ es aproximadamente 0° cuando el sólido es hidrófilo

El ángulo Θ varía entre 0° y 30° cuando el sólido es hidrófilo

El ángulo Θ es mayor de 90° cuando el sólido es hidrófobo

El ángulo Θ es mayor a 150° cuando el sólido es muy hidrófobo

El microscopio digital es el aparato utilizado para captar las imágenes de la gota de agua sobre la superficie en cada una de las muestras.

Procedimiento empleado:

- Colocar adecuadamente el microscopio en la zona donde se colocará la gota de agua.
- Colocar la gota de agua sobre la superficie con la ayuda de una pipeta de plástico
- Capturar la imagen
- Guardar las fotos en JPG
- Con el mismo programa abrir las fotos obtenidas y medir el ángulo de contacto.

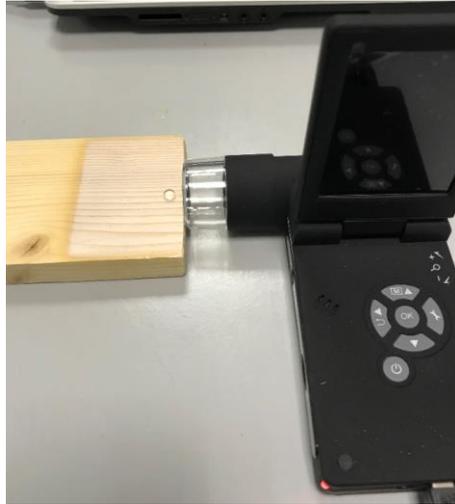


Figura 4.9. Microscopio digital para el ángulo de contacto

El ángulo de contacto se ha realizado con las muestras del ensayo de la primera fase. El cual tuvo una duración de dos semanas dentro de la cámara de envejecimiento acelerado.

Es importante comentar que la foto se realizó cuando la gota llevaba 30 segundos sobre la superficie.

28 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

5 RESULTADOS

5.1 EVOLUCIÓN A TRAVÉS DEL ANÁLISIS FOTOGRÁFICO

Primera fase:

Pino

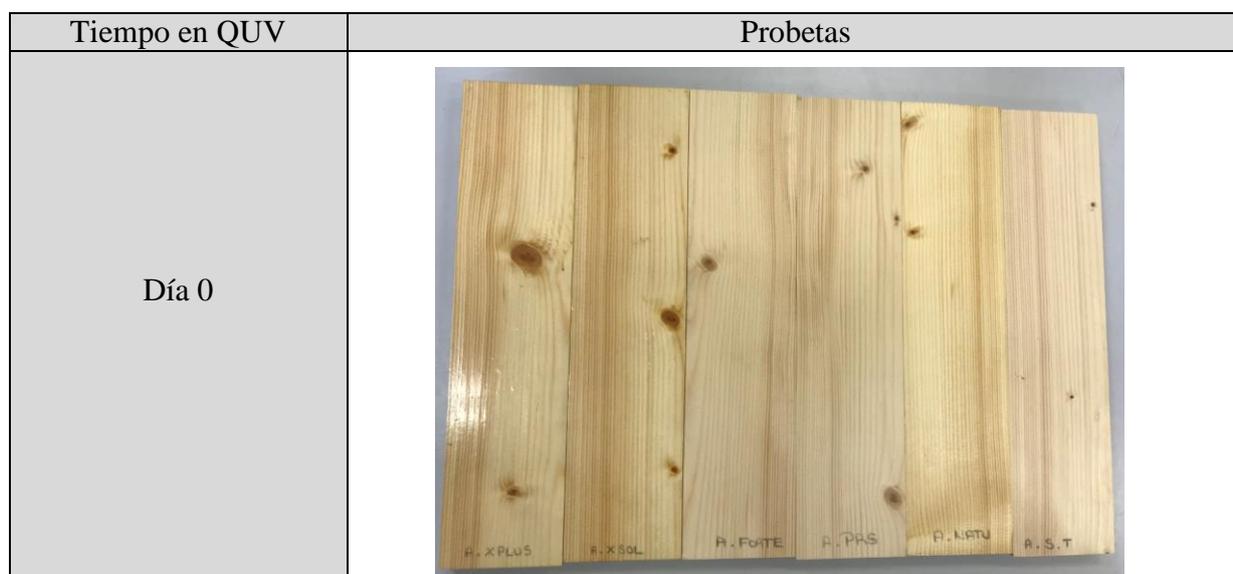
Tabla 5.1. Muestras de pino del ensayo de la primera fase. Los nombres indicados en la parte inferior de cada probeta se corresponden con la nomenclatura y orden de la tabla 4.2.

Tiempo en QUV	Probetas
Día 0	
Día 7	

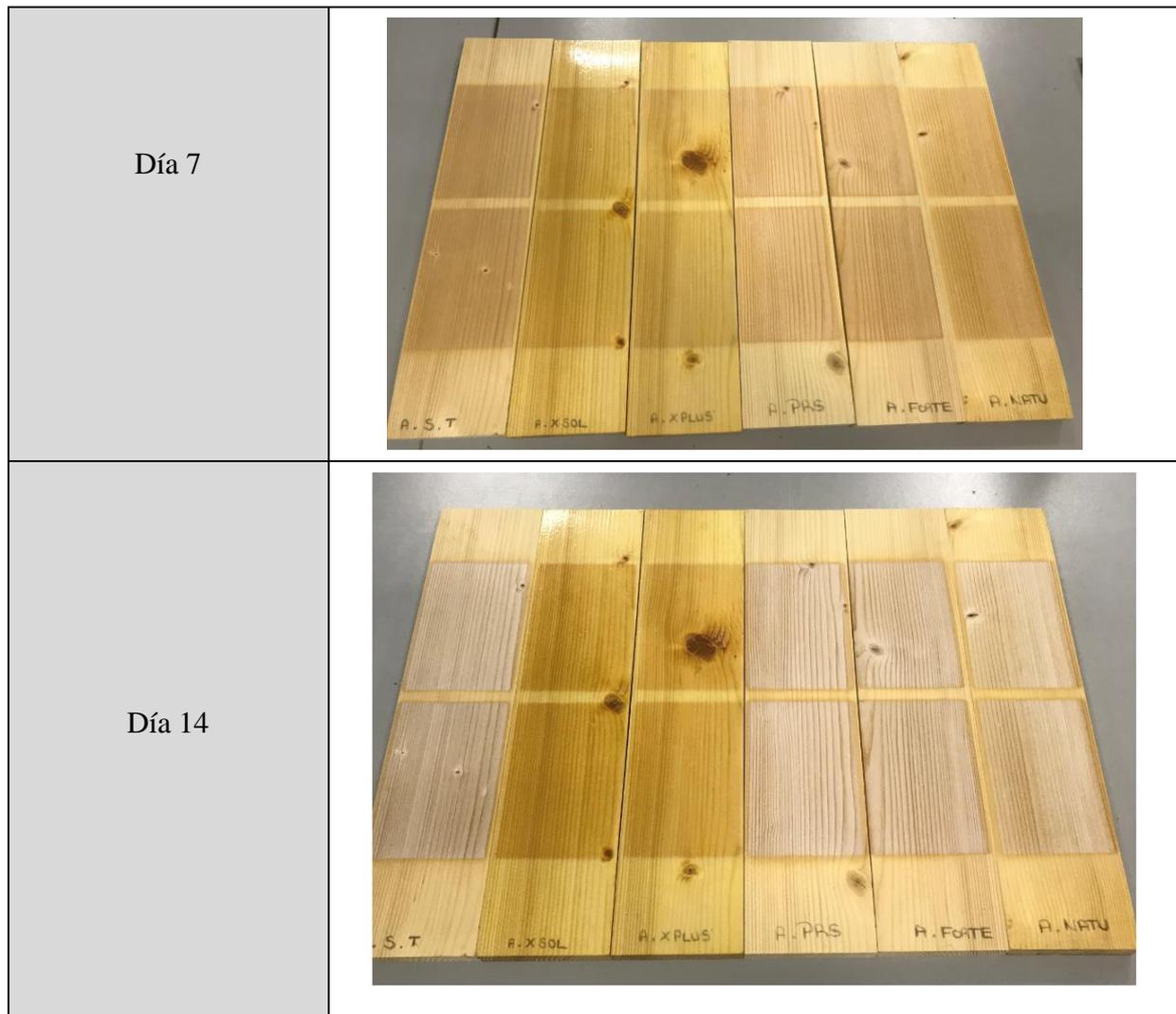


Abeto:

Tabla 5.2. Muestras de abeto de primera fase. Los nombres indicados en la parte inferior de cada probeta se corresponden con la nomenclatura y orden de la tabla 4.2



30 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado



Podemos observar a simple vista como la primera de exposición en la cámara opaca a todas las muestras. Y como en la segunda semana todas las muestras menos las de XSOL y XPLUS se aclaran. Y aunque aquí no aparece la foto de la acetilada, esta probeta también se aclara.

Pino y Abeto:

Ante el envejecimiento se puede apreciar fendas superficiales en las muestras de pino, que es algo que no se observa en las muestras de abeto.

También se observa el desgaste del tratamiento superficial en todas las muestras. En las muestras de XPLUS Y XFORTE se ve con más claridad porque las zonas que mantienen el recubrimiento se notan con más brillo.

Segunda fase

Pino:

Desde la primera semana de exposición de las muestras de pino en la cámara de envejecimiento acelerado se observó que todas las muestras presentaban fendas superficiales.

Tabla 5.3. Muestras de pino de la segunda fase. Los nombres indicados en la parte inferior de cada probeta se corresponden con la nomenclatura y orden de la tabla 4.3

Tiempo QUV	Sin tratamiento	Xylazel sol	Xylazel plus	PRS	FORTE	Aceite natural
Día 0						
Día 7						
Día 14						

32 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Día 21						
Día 28						

Abeto:

Las probetas de abeto no presentan fendas superficiales ni profundas como sucede en las de pino.

Tabla 5.4. Muestras de abeto de la segunda fase. Los nombres indicados en la parte inferior de cada probeta se corresponden con la nomenclatura y orden de la tabla 4.3.

Tiempo QUV	Sin tratamiento	Xylazel sol	Xylazel plus	PRS	FORTE	Aceite natural
Día 0						

Día 7	 <p>A.S.T. SEPT</p>	 <p>A.XEOL. SEPT</p>	 <p>A.XPLUS. SEPT</p>	 <p>A.PAS. SEPT</p>	 <p>A.FORTE. SEPT</p>	 <p>A.A.NAT. SEPT</p>
Día 14	 <p>A.S.T. SEPT</p>	 <p>A.XEOL. SEPT</p>	 <p>A.XPLUS. SEPT</p>	 <p>A.PAS. SEPT</p>	 <p>A.FORTE. SEPT</p>	 <p>A.A.NAT. SEPT</p>
Día 21	 <p>A.S.T. SEPT</p>	 <p>A.XEOL. SEPT</p>	 <p>A.XPLUS. SEPT</p>	 <p>A.PAS. SEPT</p>	 <p>A.FORTE. SEPT</p>	 <p>A.A.NAT. SEPT</p>
Día 28	 <p>A.S.T. SEPT</p>	 <p>A.XEOL. SEPT</p>	 <p>A.XPLUS. SEPT</p>	 <p>A.PAS. SEPT</p>	 <p>A.FORTE. SEPT</p>	 <p>A.A.NAT. SEPT</p>

34 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Madera acetilada

Tabla 5.5. Muestra de madera acetilada de la segunda fase

Tiempo QUV	Acetilada
Día 0	
Día 7	
Día 14	
Día 21	



De manera visual podemos ver que el cambio de color del pino es más irregular que el de abeto. Porque en su superficie se aprecian como manchas y da un aspecto estético muy desfavorable.

En cambio, la madera de abeto presenta un cambio más homogéneo a nivel estético y no da la sensación de madera vieja como el pino.

La madera acetilada se ha ido aclarando semana tras semana a lo largo de todo el proceso de envejecimiento.

5.2 CAMBIOS COLORIMÉTRICOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, en cada una de las fases, en término de los parámetros L, a y b introducidos en la sección 4.4. Para cada muestra (fase 1), se ha determinado las variaciones respecto a la situación inicial (antes del envejecimiento) ΔL , Δa y Δb , así como ΔE y las variaciones respecto al día 7 ΔL y ΔE . Se ha considerado el promedio de 4 puntos de medida (fase 1) o 2 puntos de medida (fase 2) tal como se explicó previamente. En las muestras (fase 2) se muestra la evolución de L desde el inicio hasta la finalización del envejecimiento y las variaciones de ΔE con respecto a la situación inicial y respecto al día 7.

Primera fase

- Pino

ΔL : Luminosidad

Los resultados de $\Delta(L_7-L_0)$ nos dan negativos en todas las muestras lo que significa que se han oscurecido en la primera semana de envejecimiento. Y las fotos nos demuestran estos resultados.

El $\Delta(L_{14}-L_7)$ comparan los valores de la segunda semana de envejecimiento con respecto a la primera semana. Y los únicos que dan valores negativos son los recubrimientos de Xylazel, esto significa que estas muestras han seguido oscureciéndose. Y las demás muestras se han aclarado.

36 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Es importante resaltar que los valores dependen del lugar específico de la muestra donde se haya realizado la colorimetría, ya que sobre todo en el caso del pino presenta zonas un color inicial no homogéneo.

Los parámetros de Δa , Δb y ΔE se calculan a partir del promedio de cuatro puntos obtenidos de la muestra y al haber estado solo dos semanas son difíciles de interpretar. Pero el parámetro que si tiene resultados claros es ΔL , ya que los valores se pueden corroborar con las fotos.

Tabla 5.6. Valores de ΔL de muestras de pino, primera fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(L_7-L_0)$	-1,47	-5,83	-5,77	-3,92	-4,01	-3,35
$\Delta(L_{14}-L_0)$	3,87	-8,33	-9,11	-1,28	-0,19	1,69
$\Delta(L_{14}-L_7)$	2,14	-3,49	-2,68	2,90	4,38	5,04

Δa : Eje rojo - verde

Tabla 5.7. Valores de Δa de muestras de pino, primera fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(a_7-a_0)$	0,93	3,97	2,51	2,41	2,57	1,63
$\Delta(a_{14}-a_0)$	2,94	6,76	6,06	-1,41	-1,88	-3,91
$\Delta(a_{14}-a_7)$	-3,12	3,66	3,23	-4,05	-4,90	-5,54

Δb : Eje amarillo - azul

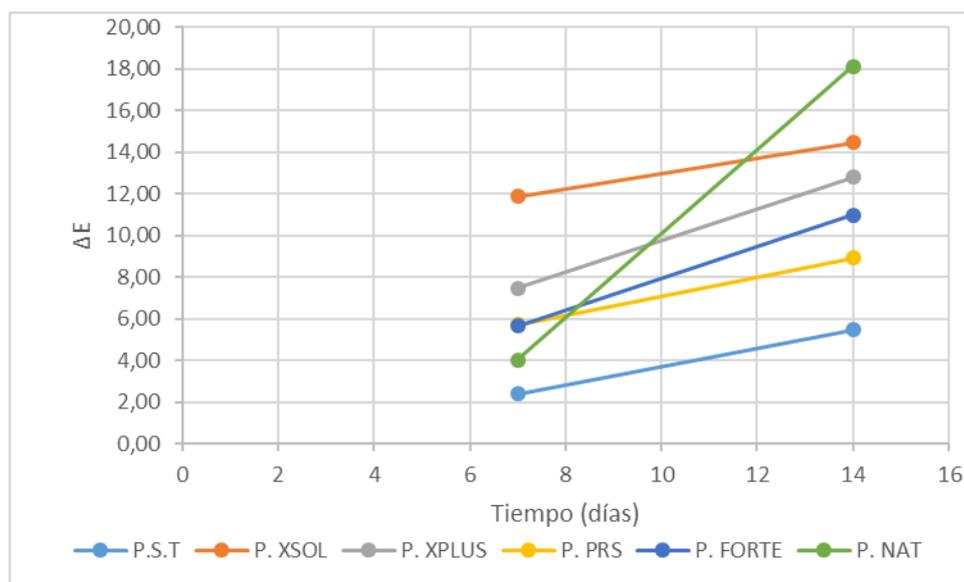
Tabla 5.8. Valores de Δb de muestras de pino, primera fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(b_7-b_0)$	0,83	9,54	3,91	2,92	2,56	-0,24
$\Delta(b_{14}-b_0)$	2,11	9,45	6,54	-8,48	-10,74	-17,62
$\Delta(b_{14}-b_7)$	-10,39	1,86	2,47	-12,22	-14,91	-17,38

ΔE : Grado de degradación del color

Tabla 5.9. Valores de ΔE de muestras de pino, primera fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(E_7-E_0)$	2,39	11,90	7,49	5,74	5,67	4,02
$\Delta(E_{14}-E_0)$	5,48	14,46	12,81	8,93	10,98	18,14
$\Delta(E_{14}-E_7)$	11,06	5,40	4,92	13,20	16,29	18,95



Gráfica 5.1. Valores de ΔE de muestras de pino, primera fase

- Abeto

ΔL : Luminosidad

En el abeto sucede lo mismo que en el pino, el valor que se puede interpretar con mayor facilidad es ΔL .

La primera semana de exposición todas las muestras dan valores negativos lo que significa que se han oscurecido.

Los resultados de $\Delta(L_{14}-L_7)$ que es el diferencial de L del día 14 (semana 2) en relación con el del día 7 (semana 1), demuestra que tanto el XPLUS y el XSOL dan valores negativos lo que significa que las muestras se han oscurecido. En cambio, las otras muestras dan positivo lo que significa que se han aclarado.

Tabla 5.10. Valores de ΔL de muestras de abeto, primera fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(L_7-L_0)$	-7,58	-5,94	-6,4	-8,51	-10,4	-8,57
$\Delta(L_{14}-L_0)$	-5,16	-9,89	-10,58	-6,78	-8,82	-6,24
$\Delta(L_{14}-L_7)$	2,75	-3,95	-4,03	1,73	1,58	2,59

Δa : Eje rojo - verde

Tabla 5.11. Valores de Δa de muestras de abeto, primera fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(a_7-a_0)$	2,50	2,01	2,38	3,81	4,33	4,39
$\Delta(a_{14}-a_0)$	-0,92	5,51	5,87	0,71	1,26	1,17
$\Delta(a_{14}-a_7)$	-3,60	3,50	3,30	-3,10	-11,12	-3,37

Δb : Eje amarillo – azul

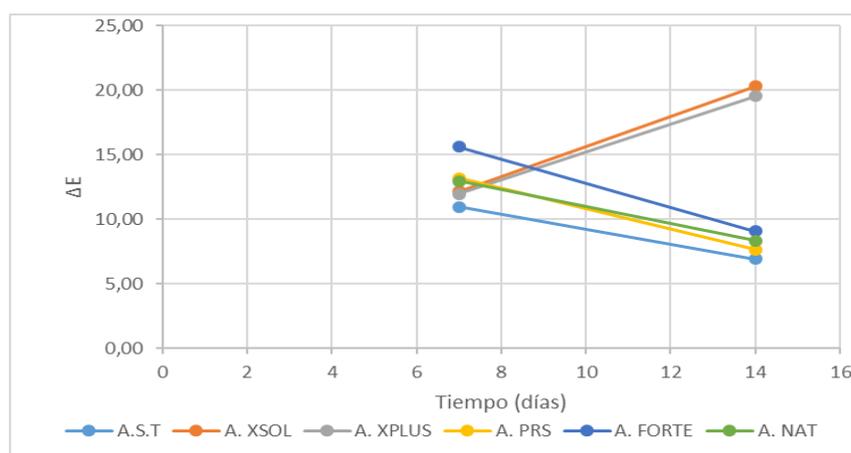
Tabla 5.12. Valores de Δb de muestras de abeto, primera fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(b_7-b_0)$	7,49	10,41	9,81	9,33	10,85	8,70
$\Delta(b_{14}-b_0)$	-4,02	16,86	15,28	-3,25	-1,68	-5,20
$\Delta(b_{14}-b_7)$	-11,85	6,46	7,33	-12,58	-12,53	-14,04

ΔE : Grado de degradación del color

Tabla 5.13. Valores de ΔE de muestras de abeto, primera fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(E_7-E_0)$	10,95	12,15	11,98	13,19	15,64	12,98
$\Delta(E_{14}-E_0)$	6,93	20,32	19,54	7,67	9,07	8,36
$\Delta(E_{14}-E_7)$	12,71	8,35	8,99	13,07	16,83	14,68



Gráfica 5.2. Valores de ΔE de muestras de pino, primera fase

- Acetilada

ΔL : Luminosidad

Los valores de $\Delta(L_7-L_0)$ y $\Delta(L_{14}-L_0)$ dan positivos lo que significa que la muestra se aclara en comparación con la muestra inicial. Pero de la semana 1 a la semana 2 se oscurece ligeramente porque da -0,49.

Tabla 5.14. Valores de ΔL de muestras acetiladas, primera fase

	ACET.
$\Delta(L_7-L_0)$	4,46
$\Delta(L_{14}-L_0)$	4,22
$\Delta(L_{14}-L_7)$	-0,49

Δa : Eje rojo – verde

Tabla 5.15. Valores de Δa de muestras acetiladas, primera fase

	ACET.
$\Delta(a_7-a_0)$	-0,43
$\Delta(a_{14}-a_0)$	-0,10
$\Delta(a_{14}-a_7)$	0,42

Δb : Eje amarillo – azul

Tabla 5.16. Valores de Δb de muestras acetiladas, primera fase

	ACET.
$\Delta(b_7-b_0)$	1,22
$\Delta(b_{14}-b_0)$	-3,57
$\Delta(b_{14}-b_7)$	-4,33

ΔE : Grado de degradación del color

Tabla 5.17. Valores de ΔE de muestras acetiladas, primera fase

	ACET.
$\Delta(E_7-E_0)$	4,67
$\Delta(E_{14}-E_0)$	5,57
$\Delta(E_{14}-E_7)$	4,41

Segunda fase

En la segunda fase se han realizado ensayos durante cuatro semanas y por tanto es posible ver una variación de color durante más tiempo.

- Pino

ΔL : Luminosidad

En esta segunda fase sucede como en la fase 1, los $\Delta(L_7-L_0)$ dan todos con valores negativos. La primera semana de exposición oscurece todas las muestras.

La muestra de XPLUS continúa oscureciéndose a lo largo de las semanas, los diferenciales de L que son respecto al día 7 como punto inicial nos muestran pequeños valores negativos. En cambio, los diferenciales de L que son respecto al día 0, dan valores negativos más grandes que quiere decir que el oscurecimiento es mayor.

Los valores de ΔL de la muestra XSOL no dan negativos como muestra la foto porque el color no es homogéneo. Hay zonas que están más oscuras que otras y esto se debe al desgaste

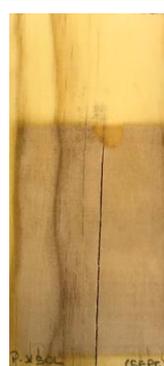
40 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

del recubrimiento sobre algunas partes de la muestra. Y esto último se repite en todas las muestras de pino. Además, ya sea por las vetas o por la pérdida de recubrimiento tiene zonas unas zonas claras y otras oscuras y, dependiendo de donde se hayan tomado los parámetros, podrá variar el valor.

Tabla 5.18. Valores de ΔL de muestras de pino, segunda fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(L_7-L_0)$	-12,99	-13,73	-11,23	-13,73	-14,77	-14,67
$\Delta(L_{14}-L_0)$	-9,58	-12,07	-15,18	-10,46	-12,97	-10,66
$\Delta(L_{21}-L_0)$	-6,35	-9,11	-16,06	-7,85	-11,58	-6,38
$\Delta(L_{28}-L_0)$	-4,59	-8,09	-14,77	-7,11	-10,01	-3,94
$\Delta(L_{14}-L_7)$	3,41	1,66	-3,96	3,27	1,81	4,01
$\Delta(L_{21}-L_7)$	6,64	4,62	-4,83	5,88	3,20	8,29
$\Delta(L_{28}-L_7)$	8,40	5,64	-3,55	6,62	4,77	10,73

Tabla 5.19. Fotografías de todas las muestras de pino sacadas una vez por semana

Probeta	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
P.S.T					
P. XSOL					

P. XPLUS	 <p>P. XPLUS SEPT</p>	 <p>P. XPLUS SEPT</p>	 <p>P. XPLUS SEPT</p>	 <p>P. XPLUS SEPT</p>	 <p>P. XPLUS SEPT</p>
P. PRS	 <p>P. PRS (SEPT)</p>	 <p>P. PRS (SEPT)</p>	 <p>P. PRS (SEPT)</p>	 <p>P. PRS (SEPT)</p>	 <p>P. PRS (SEPT)</p>
P.FORTE	 <p>P. FORTE SEPT</p>	 <p>P. FORTE SEPT</p>	 <p>P. FORTE SEPT</p>	 <p>P. FORTE SEPT</p>	 <p>P. FORTE SEPT</p>
P. NAT	 <p>P. NAT SEPT</p>	 <p>P. NAT SEPT</p>	 <p>P. NAT SEPT</p>	 <p>P. NAT SEPT</p>	 <p>P. NAT SEPT</p>

42 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

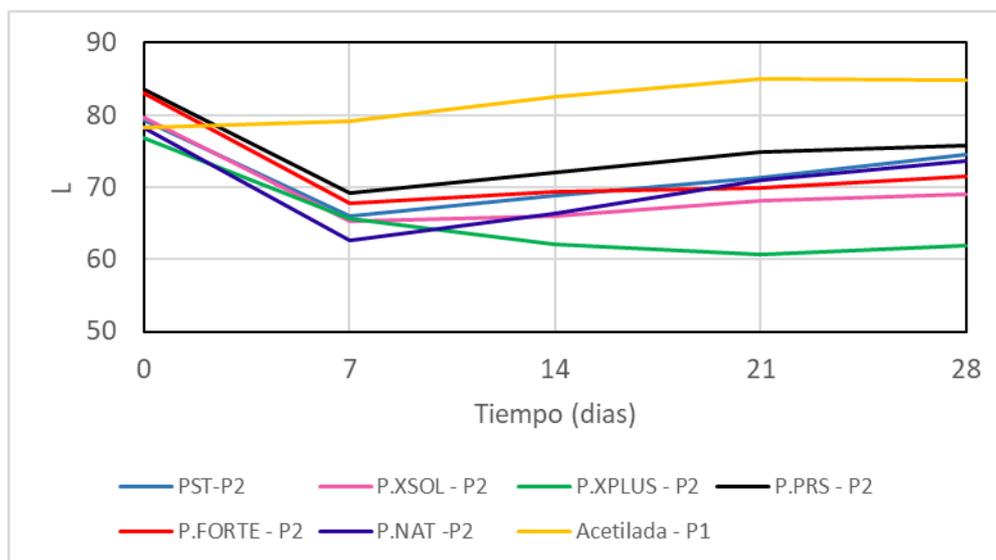
Evolución de L

La evolución de L nos confirma los valores obtenidos en ΔL . Como se observa en la gráfica 5.3 y 5.4, L disminuye la primera semana lo cual significa un oscurecimiento de las muestras. En el caso de la XPLUS L sigue disminuyendo en la gráfica. XSOL se mantiene en su línea de valores mientras que las demás muestras presentan una recta ascendente, que quiere decir que se ha aclarado. Tanto las muestras de pino como las de abeto se comparan en las gráficas con los resultados de la acetilada. Tal como se comentará posteriormente, la madera acetilada es la única que no muestra oscurecimiento en ningún momento.

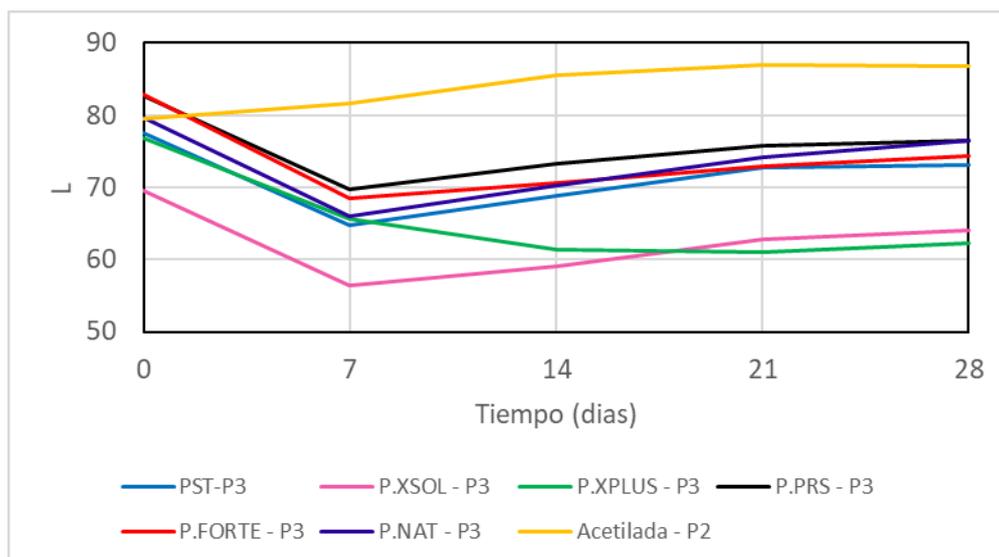
Tabla 5.20. Valores de L de dos puntos de cada muestra de pino y la acetilada, segunda fase

L	0	7	14	21	28
PST-P2	79,31	66,03	68,78	71,40	74,58
PST-P3	77,52	64,83	68,90	72,74	73,08
P.XSOL - p2	79,65	65,30	66,08	68,15	69,03
P.XSOL - p2	69,61	56,51	59,05	62,89	64,05
P.XPLUS - P2	76,90	65,70	62,02	60,61	61,92
P.XPLUS - P3	76,88	65,63	61,40	61,06	62,32
P.PRS - P2	83,68	69,27	72,11	74,89	75,74
P.PRS - P3	82,71	69,67	73,36	75,81	76,44
P.FORTE - P2	83,07	67,86	69,41	69,92	71,55
P.FORTE - P3	82,88	68,55	70,61	72,88	74,39
P.NAT -P2	78,29	62,69	66,37	71,07	73,72
P.NAT - P3	79,73	66,00	70,33	74,19	76,42

Acet. - P1	78,26	79,23	82,50	84,94	84,86
Acet. - P2	79,51	81,62	85,60	87,00	86,83



Gráfica 5.3. Evolución de L, muestras de pino y acetilada, fase 2



Gráfica 5.4. Evolución de L, muestras de pino y acetilada, fase 2

ΔE : Grado de degradación del color

Como comentábamos con los valores de ΔL , los parámetros van ligados con el punto donde se haya realizado la colorimetría. Los resultados nos muestran que teniendo como punto de partida el día 7 casi todos experimentan cambios mínimos o medios. Respecto a la degradación del color, al comparar los valores de la última semana con los iniciales observamos que la única muestra que presenta un valor superior a 15 (y que por tanto, sufre un cambio medio) es la P.XPLUS. El resto tiene un cambio mínimo.

Tabla 5.21. Valores de ΔE de muestras de pino, segunda fase

	P.S.T	P. XSOL	P. XPLUS	P. PRS	P. FORTE	P. NAT
$\Delta(E_7-E_0)$	13,53	16,09	17,53	15,23	16,92	15,04
$\Delta(E_{14}-E_0)$	10,22	13,09	19,90	10,67	13,21	11,83
$\Delta(E_{21}-E_0)$	11,28	12,56	17,68	9,55	11,92	14,29
$\Delta(E_{28}-E_0)$	10,88	11,88	17,75	8,58	10,41	14,50
$\Delta(E_{14}-E_7)$	7,82	6,76	4,23	7,35	6,43	9,13
$\Delta(E_{21}-E_7)$	14,45	14,48	10,14	12,92	10,74	17,98
$\Delta(E_{28}-E_7)$	15,95	15,12	7,10	12,74	11,16	20,17

- Abeto

Las muestras de abeto al igual que las de pino se oscurecen los 7 primeros días de envejecimiento acelerado. Saliendo ΔL con respecto al día 0 con valores negativos.

Y luego la misma dinámica que en el pino, que ΔL con respecto al día 7 tiene valores negativos en XPLUS y XSOL, que significa que las muestras se siguen oscureciendo. Y las demás muestras dan valores positivos que quiere decir que se van aclarando.

44 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Lo positivo del abeto es que mantiene su color más homogéneo que el pino. Aunque también se puede visualizar zonas más claras que otras, pero en su conjunto no se nota tanto.

ΔL : Luminosidad

Tabla 5.22. Valores de ΔL de muestras de abeto, segunda fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(L_7-L_0)$	-15,05	-10,02	-4,77	-16,36	-17,30	-17,09
$\Delta(L_{14}-L_0)$	-12,47	-13,42	-6,88	-13,94	-15,12	-14,43
$\Delta(L_{21}-L_0)$	-10,91	-16,53	-9,50	-11,43	-12,52	-12,02
$\Delta(L_{28}-L_0)$	-9,99	-15,21	-8,80	-10,13	-11,04	-11,12
$\Delta(L_{14}-L_7)$	2,59	-3,40	-2,61	2,42	2,18	2,65
$\Delta(L_{21}-L_7)$	4,14	-6,51	-5,22	4,93	4,78	5,07
$\Delta(L_{28}-L_7)$	5,07	-5,20	-4,53	6,23	6,27	5,97

Tabla 5.23. Fotografías de todas las muestras de abeto sacadas una vez por semana

Probeta	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
A.S.T					
A. XSOL					

A. XPLUS					
A. PRS					
A.FORTE					
A. NAT					

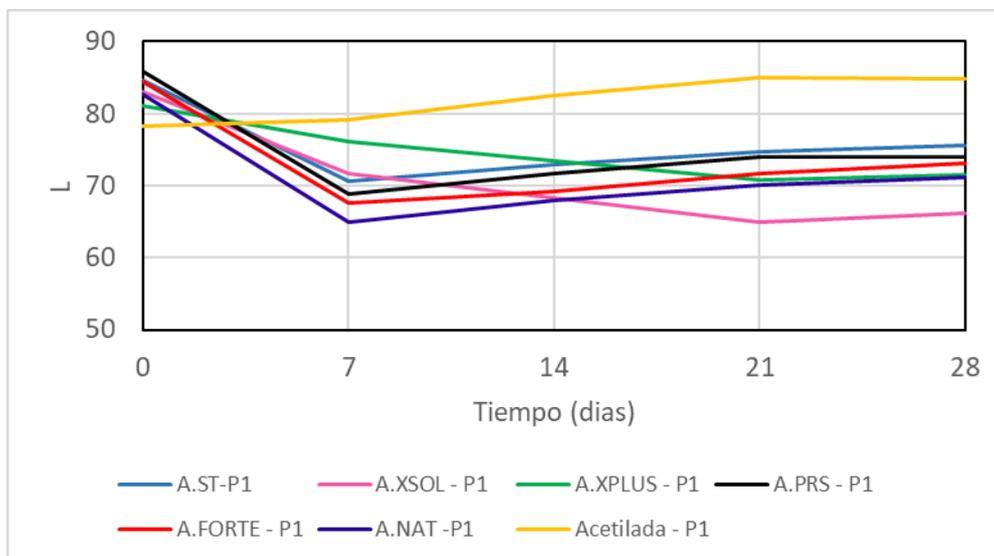
46 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

Evolución de L

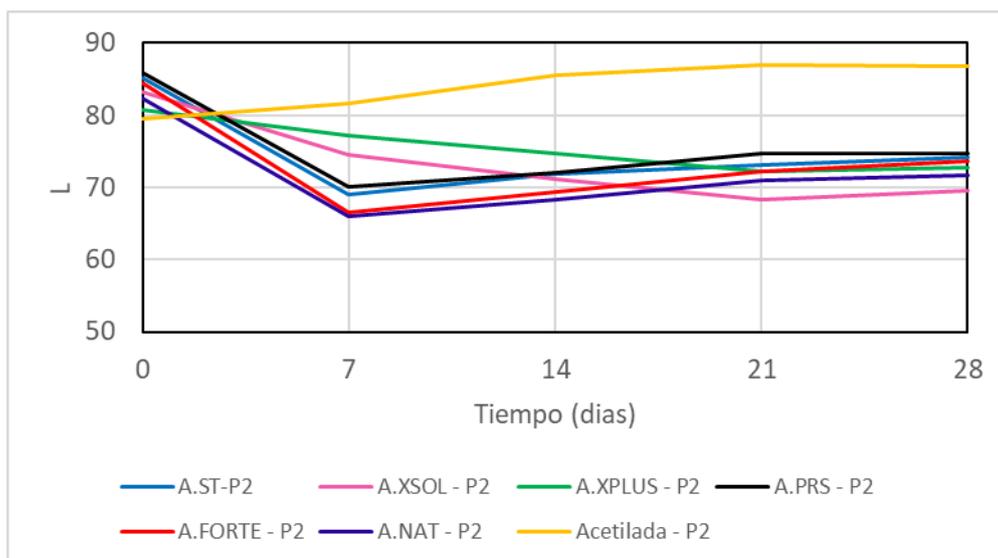
Tabla 5.24. Valores de L de dos puntos de cada muestra de abeto y la acetilada, segunda fase

L	0	7	14	21	28
A.ST-P1	84,60	70,69	72,94	74,78	75,57
A.ST-P2	85,17	68,98	71,90	73,17	74,23
A.XSOL - P1	83,00	71,67	68,36	64,89	66,28
A.XSOL - P2	83,28	74,58	71,09	68,34	69,58
A.XPLUS - P1	81,08	76,12	73,42	70,73	71,50
A.XPLUS - P2	80,79	77,21	74,69	72,15	72,77
A.PRS - P1	85,82	68,89	71,68	74,03	74,03
A.PRS - P2	85,87	70,09	72,14	74,80	74,80
A.FORTE - P1	84,41	67,66	69,27	71,64	73,14
A.FORTE - P2	84,42	66,57	69,32	72,15	73,62
A.NAT - P1	82,74	64,98	67,89	70,12	71,12
A.NAT - P2	82,34	65,93	68,33	70,92	71,73

Acetilada - P1	78,26	79,23	82,50	84,94	84,86
Acetilada - P2	79,51	81,62	85,60	87,00	86,83



Gráfica 5.5. Evolución de L, muestras de abeto y acetilada, punto 1, fase 2



Gráfica 5.6. Evolución de L, muestras de pino y acetilada, punto 2, fase 2

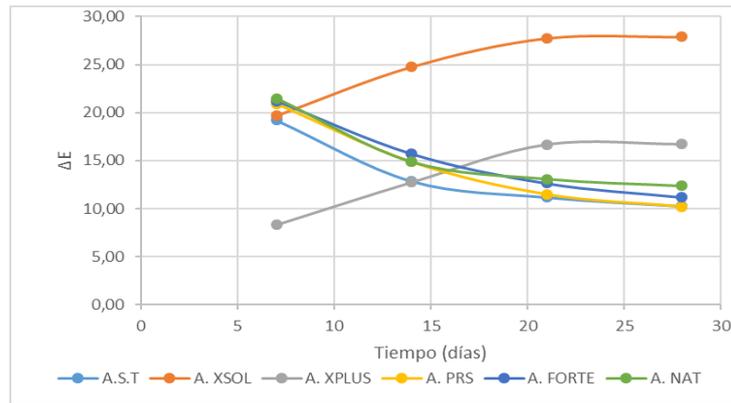
ΔE : Grado de degradación del color

Al igual que en el caso del pino los resultados para el grado de degradación del color nos muestran cambios mínimos y medios. Al comparar los valores de la última semana con los iniciales observamos que las muestras que presentan un valor superior a 15 (y que por tanto, sufre un cambio medio) son la A.XSOL y AXPLUS. El resto tiene un cambio mínimo.

Tabla 5.25. Valores de ΔE de muestras de abeto, segunda fase

	A.S.T	A. XSOL	A. XPLUS	A. PRS	A. FORTE	A. NAT
$\Delta(E_7-E_0)$	19,20	19,67	8,31	20,91	21,20	21,46
$\Delta(E_{14}-E_0)$	12,87	24,76	12,74	14,85	15,71	14,87
$\Delta(E_{21}-E_0)$	11,19	27,73	16,68	11,47	12,64	13,08
$\Delta(E_{28}-E_0)$	10,27	27,88	16,71	10,21	11,20	12,36
$\Delta(E_{14}-E_7)$	9,22	5,21	4,44	8,29	8,36	10,09
$\Delta(E_{21}-E_7)$	14,53	8,82	8,62	14,78	14,47	18,46
$\Delta(E_{28}-E_7)$	14,87	8,70	8,42	15,38	14,82	18,75

48 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado



Gráfica 5.7. Valores de ΔE de muestras de abeto, segunda fase

- Acetilada

ΔL : Luminosidad

Mirando la recta de la madera acetilada en la evolución de L se observa lo mismo que en ΔL que los valores son positivos, esto quiere decir que la muestra se fue aclarando cada semana de manera homogénea.

Tabla 5.26. Valores de ΔL de muestras acetiladas, segunda fase

	ACET.
$\Delta(L_7-L_0)$	1,54
$\Delta(L_{14}-L_0)$	5,16
$\Delta(L_{21}-L_0)$	7,08
$\Delta(L_{28}-L_0)$	6,96
$\Delta(L_{14}-L_7)$	3,62
$\Delta(L_{21}-L_7)$	5,54
$\Delta(L_{28}-L_7)$	5,42

Probeta	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
ACET.					

ΔE : Grado de degradación del color

El grado de degradación del color al final del experimento es medio (ligeramente superior a 15), no obstante, cabe señalar que aunque el cambio de color ha sido importante cabe señalar que se ha producido de forma homogénea.

Tabla 5.27. Valores de ΔE de muestras acetiladas, segunda fase

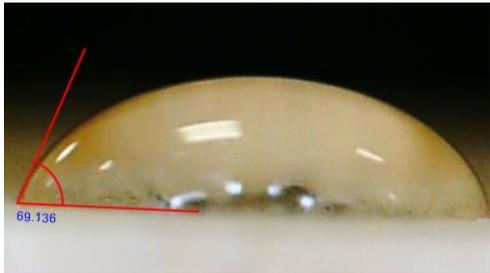
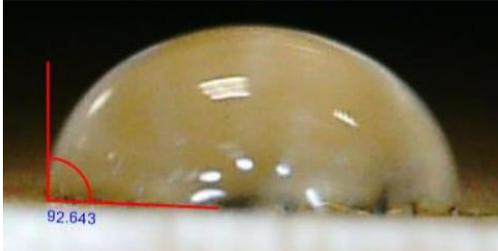
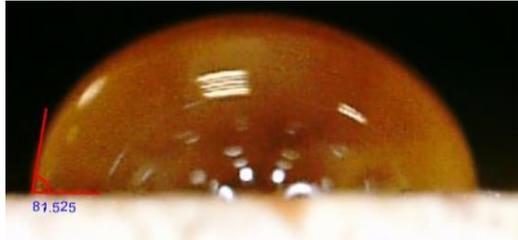
	ACET.
$\Delta(E_7-E_0)$	4,57
$\Delta(E_{14}-E_0)$	11,21
$\Delta(E_{21}-E_0)$	15,24
$\Delta(E_{28}-E_0)$	15,59
$\Delta(E_{14}-E_7)$	6,81
$\Delta(E_{21}-E_7)$	10,81
$\Delta(E_{28}-E_7)$	11,15

5.3 ÁNGULO DE CONTACTO Y SU EVOLUCIÓN

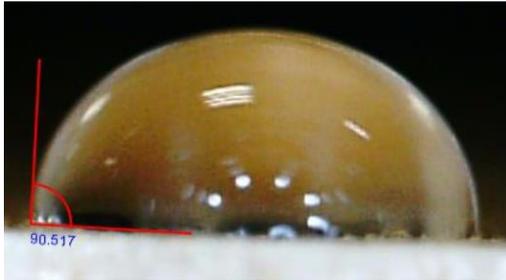
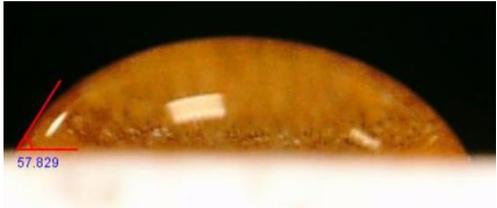
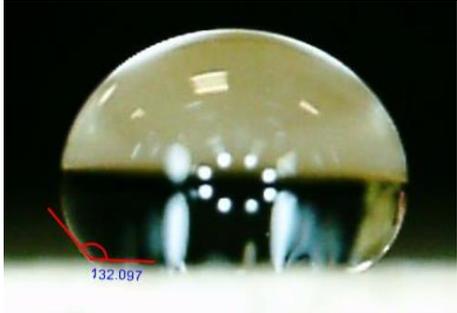
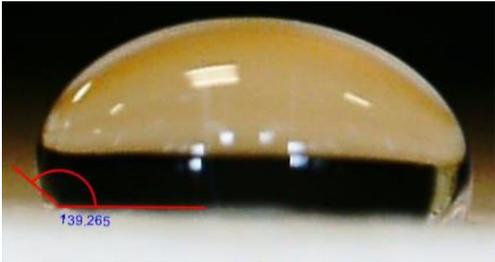
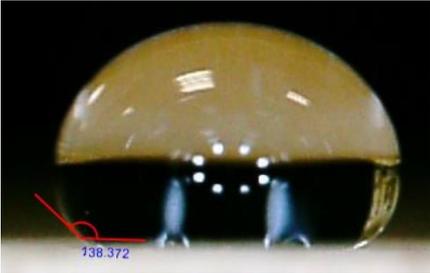
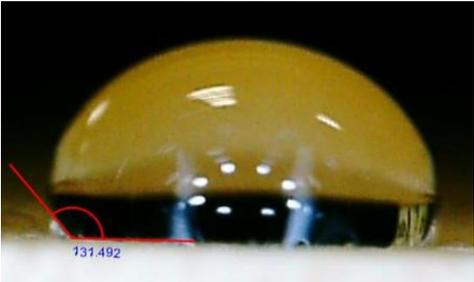
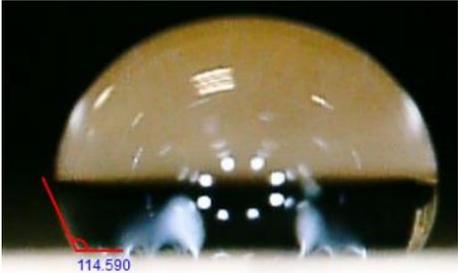
A continuación, se muestran las fotografías de una gota de agua depositada en cada una de las superficies consideradas, antes y después del proceso de envejecimiento acelerado. En las mismas imágenes se muestra el valor del ángulo de contacto.

- Pino

Tabla 5.28. Angulo de contacto, muestras de pino, primera fase

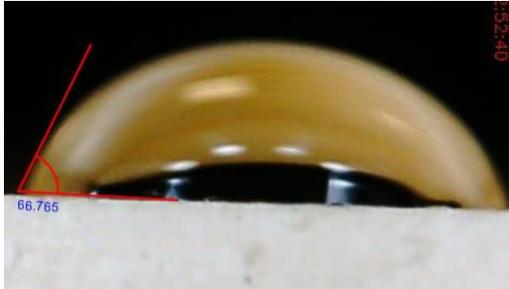
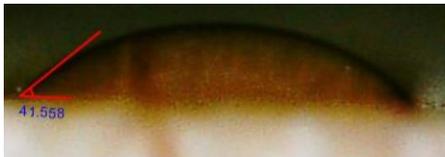
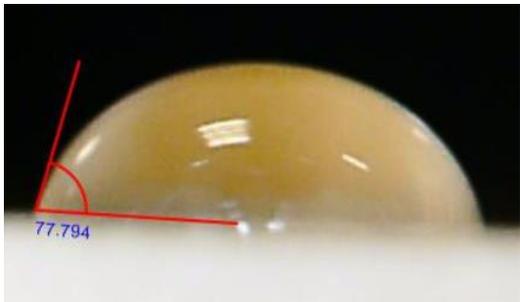
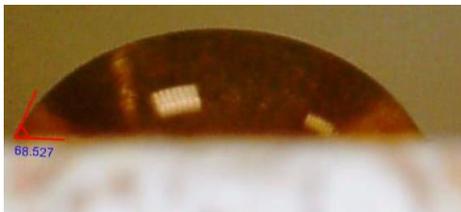
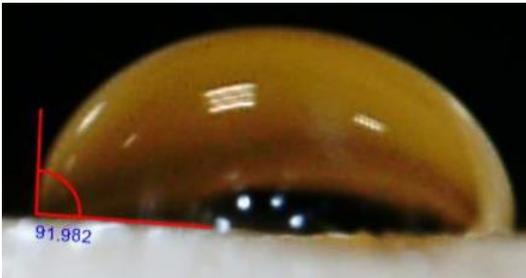
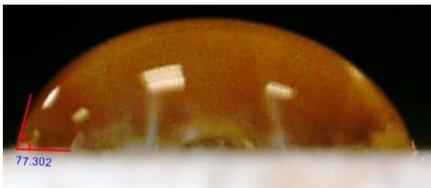
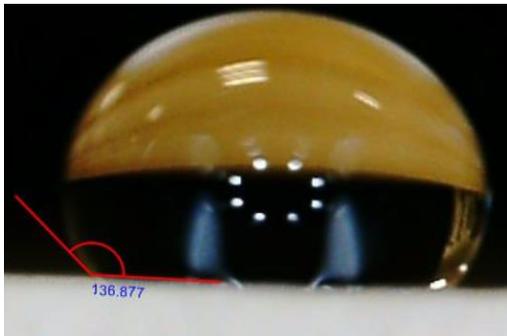
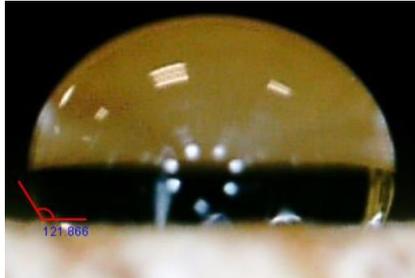
	No envejecida	Envejecida
Sin tratamiento		
Xylazel sol		

50 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

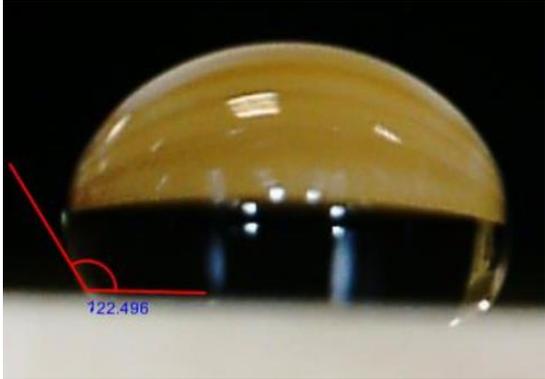
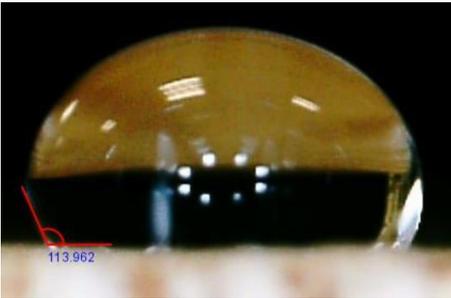
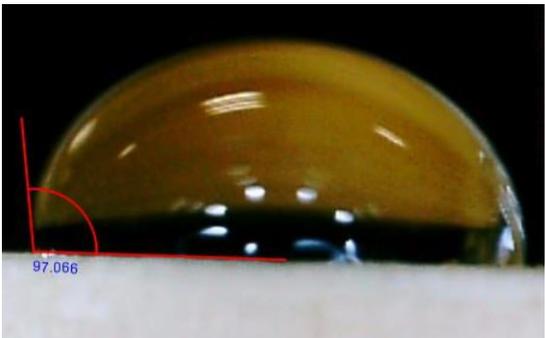
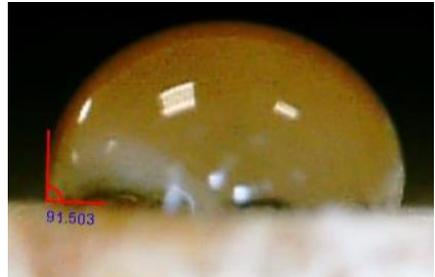
Xylazel plus		
PRS		
FORTE		
Aceite natural		

- Abeto

Tabla 5.29. Angulo de contacto, muestras de abeto, primera fase

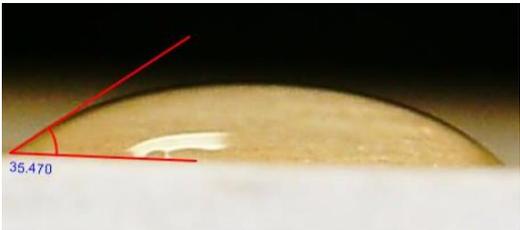
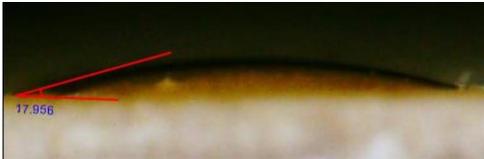
	No envejecida	Envejecida
Sin tratamiento		
Xylazel sol		
Xylazel plus		
PRS		

52 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

FORTE		
Aceite natural		

- Acetilada

Tabla 5.30. Angulo de contacto, muestras de acetilada, primera fase

	No envejecida	Envejecida
Madera acetilada		

En la siguiente tabla, se resumen los ángulos de contactos obtenidos.

Probeta	No envejecida	Envejecida
P.S.T	69,14	49,28
P. XSOL	92,64	81,53
P. XPLUS	90,52	57,83
P. PRS	146,53	132,10
P. FORTE	139,27	138,37
P. NAT	131,49	114,59
A.S.T	66,77	41,56
A.XSOL	77,79	68,53
A.XPLUS	91,98	77,30
A.PRS	136,88	121,87
A.FORTE	122,55	113,96
A.NAT	97,07	91,50
ACET.	35,47	17,96

Los resultados de este ensayo han demostrado que todas las probetas han sufrido una disminución del ángulo de contacto. Por el cambio en la superficie de la madera que ha provocado el envejecimiento artificial que ha experimentado a lo largo de dos semanas.

Las probetas que se mantienen hidrófilas antes y después del envejecimiento son: P.S.T, A.S.T, A. XSOL Y ACET.

El P. XSOL, P. XPLUS Y A. XPLUS son las probetas que antes del envejecimiento eran poco hidrófugas y pasaron a ser hidrófilas después del envejecimiento. Son los tratamientos superficiales que menos protegen del agua a la madera.

El A. NAT se mantiene poco hidrófugo antes y después del ensayo. En cambio, el P. NAT se mantiene hidrófugo, pero con valores de ángulo de contacto que pasan de 131,49°C a 114,59°C.

Los que claramente presentan un excelente comportamiento hidrófugo son los dos productos que contienen nanopartículas, PRS Y FORTE, tanto aplicados en pino como en abeto, que mantienen sus valores altos antes y después del envejecimiento en comparación con las demás probetas.

6 CONCLUSIONES

Una vez realizados todos los ensayos podemos concluir que el envejecimiento depende del tipo de madera y del recubrimiento aplicado, ya que se han observado importantes diferencias entre las muestras de pino y de abeto. También se ha comparado con una muestra de madera acetilada.

A nivel visual y estético, la muestra que mejor se ha comportado ha sido la acetilada, seguida por las diferentes muestras de abeto. Los recubrimientos se han mantenido en el abeto de manera más homogénea. En cambio, el pino presenta manchas blancas en zonas donde hay pérdida del recubrimiento.

Otro punto interesante de resaltar es que en prácticamente todos los casos las probetas se oscurecen tras la primera semana de exposición en la cámara de envejecimiento acelerado. Posteriormente, las muestras empiezan a aclararse a excepción de XPLUS Y XSOL, que continúan oscureciéndose. Sería interesante, como trabajo futuro, analizar mediante técnicas de identificación de componentes químicos la modificación de la madera en diferentes fases de exposición.

Alguno de los productos utilizados, que incorporan nanopartículas, tienen un claro efecto hidrofugante. Repelen el agua de forma que el ángulo de contacto es superior a 90°. Se ha podido observar que, durante envejecimiento, esta propiedad se ha mantenido casi inalterable durante dos semanas y ha disminuido ligeramente al cabo de las 4 semanas de duración total del ensayo. Gracias a esta propiedad, muestran una menor fisuración que la observada en las tratadas con otros productos.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Rodríguez Anda, R., Fuentes Talavera, F. J., (2003, enero-junio). Factores que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9 (1), 95-100.
- [2] Liu, Ru, et al. "Comparision on the aging of Woods exposed to natural sunlight and artificial xenón light." *Polymers* 11.4 (2019): 709
- [3] Montón, J. (2007) Agentes de degradación de la madera en Método Rehabimed. *Arquitectura tradicional mediterránea*, 245-250
- [4] Burgos Leiva, C. (2016) Análisis del comportamiento de las fachadas de madera en zonas con clima mediterráneo. Tesis doctoral, UPC, España y Chile.
- [5] Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., Merlin, A. (2003). Color stability of heat treated wood during artificial weathering. *Holz als Roh – und workstoff*, 61 (3) 221 -226.
- [6] Touza, M. (2013) *Guía de la madera*. Madrid: Confemadera Hábitat.
- [7] Turbi Mojica, M. (2015) Degradación acelerada en cámara climática de superficies de madera con diferentes tratamientos y comparación con la degradación natural a largo plazo. Tesis de màster, UPC, España.
- [8] Torrent, J. "Medida del ángulo de contacto". 2013.
- [9] Madera en el exterior tratamientos y conservación [en línea]. Cluster de la madera de Galicia. Disponible a < http://www.construmecum.com/docsnormativa/4706_806.pdf >
- [10] Protección preventiva frente a los agentes xilófagos [en línia]. Madrid: AITIM, 2015. [Consulta: 2 noviembre 2020]. Disponible a: <https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/AITIM_Proteccion_preventiva_madera_ARQ_17.02.2015.pdf>
- [11] ¿Qué es la Madera Termotratada? Características y usos [en línia]. [S.l.] : Maderame, 2020. [Consulta: 2 noviembre 2020]. Disponible a: <<https://maderame.com/madera-termotratada/>>
- [12] Sánchez, Ana. *¿Qué es la madera acetilada?* [en línia]. Madrid: Maderea, 2018. [Consulta: 2 noviembre 2020]. Disponible a: < <https://www.maderea.es/que-es-la-madera-acetilada> >

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy gracias a Dios por la vida que me da y por permitirme concluir esta carrera.

Le doy gracias a mi padre, a la familia Beltrán García y Beltrán Reyes. Por las palabras de aliento y por el ejemplo que me dan para seguir avanzando hacia lo nuevo. Y por estar en todo momento conmigo y ser un apoyo incondicional.

Y le doy gracias a mis tutoras por la paciencia, el tiempo y la ayuda que me han brindado a lo largo de todo el proyecto. Y también por sus palabras de motivación.

8 ANEXO COMPETENCIA TERCERA LENGUA

Summary

In this project, the behavior of wood samples of two species, pine and fir, with different types of coatings, is analysed through accelerated aging tests.

To carry out this analysis, we have chosen 5 different types of surface treatments that we apply to the different wood samples. On the other hand, we will leave one of the samples of each type of wood without treatment.

The samples have been placed in an accelerated aging machine (QUV) which artificially simulates atmospheric agents. For this purpose, it is equipped with UVA-340 lamps and a water blasting system. The equipment has been programmed in accordance with the provisions of the UNE-EN 927-6 standard. Each one-week exposure cycle consists of a condensation period of 24 hours, followed by 144 hours in which 48 semi-cycles of 3 hours are carried out, consisting of 2h30m of irradiation and 30 m of spraying.

For this project, 2 tests have been carried out, one in July with a total duration of 336 hours and another in September with a duration of 672 hours.

The samples were monitored once a week, the day on which measurements were made to control the evolution of each of the samples, through photographs of each of the samples and colorimetry through the CIE Lab system.

On the other hand, the contact angle of the samples has been determined before starting the aging test and after the end of the same test.

1. INTRODUCTION

This final degree project aims to analyze the behavior of pine and spruce wood, with and without coating, after performing accelerated aging in the QUV machine that simulates atmospheric agents such as ultraviolet rays and humidity.

In order to study the evolution of the samples over time, we will take photographs and evaluate the colorimetry and contact angle before subjecting them to accelerated aging.

During the tests, the evolution of the different wood samples will be seen according to the different surface treatments applied as the weeks go by. Every seven days the condition of the samples is controlled by visual analysis using photographs, colorimetry and contact angle.

Finally, the results are obtained by comparing the initial data and the resulting final data.

To carry out the colorimetry I have taken as a reference the doctoral thesis of the author Camila Burgos (2016) and the master's thesis of the author Mayibell Turbi Mojica (2015). And articles that talk about aging both in natural light and in the accelerated aging machine.

2 WOOD AND ITS OUTDOOR USE

2.1 AGING OF WOOD

Wood is a material used since ancient times in the construction of buildings, as it has many positive properties. However, there are biotic and abiotic agents that can deteriorate it. The action of light and water affect the surface layers of the wood, changing their color and making its surface rough. On many occasions the wood presents warping, which is a curved deformation, and cracks. [1]

The factors that cause wood to age are solar radiation, humidity, oxygen, and temperature. Ultraviolet light is one of the factors that most affects the surface of wood because it is strong enough to separate the main chemical bonds that constitute it. And they produce physical and chemical variations, such as changing color, brightness, and contact angle. Lignin is responsible for absorbing 80% to 95% of the UVA absorption coefficient [2]

Next, the photograph shows an example of the degradation of the color of the facade of a house due to UVA rays and other atmospheric agents. Subsequently, we observed the rehabilitation by replacing the pine wood slats with sanded and varnished pine frieze slats to achieve a rustic finish.



Figure 2.1 Degradation of the color of the pine wood of the façade and replacement by new pine slats Source: <https://www.mcmcasas.com/project/fachada-madera-2/>

2.2 CAUSES OF WOOD DEGRADATION

2.2.1 ATMOSPHERIC AGENTS

Solar radiation is composed of a broad spectrum where ultraviolet and infrared radiation are found.

Ultraviolet radiation strikes the surface of the wood, degrading the lignin and causing a grayish color. If the wood is not protected, the cellulose will be washed away by rainwater. And later the spores of the fungi will lodge in the surface changing the color of the surface in a dark gray or black.

Infrared radiation heats the surface of the wood and causes it to lose moisture. At the same time, the interior of the wood does not show changes in temperature or humidity. What causes contractions in the surface and no change in the interior of the wood. Resulting in small superficial cracks.

To reduce the damage of solar radiation on the surface of the wood, some type of protection must be applied. Such as paints, varnishes and stains with a large amount of pigments. [3]

Moisture affects wood because it is a hygroscopic material. Wood expands when it absorbs moisture and contracts when it loses it. [4]

Another problem can arise when, at low temperatures, the water contained in the wood freezes. According to C. Burgos [4], when the wood has a humidity higher than 28% it can suffer the effect of freezing and thawing. If the moisture that is in the cell wall freezes, increasing in volume, and then thaws, and does so, repeatedly, it can

the destruction of the superficial cells and cause the loss of resistance of the wood.

2.2.2 BIOTIC AGENTS

Biotic agents thrive in a high moisture content which can be provided by rainwater.

Xylophages are all living things that feed on wood, degrading and sometimes destroying it.

The following table has grouped xylophages according to their origin and the type of degradation they cause in wood. [3]

Table 2.1. Xylophages grouped according to their origin and type of degradation. Source: Joaquín Montón [3]

Hongos	Mohos	
	Hongos cromógenos	Azulado
	Hongos de pudrición	Pudrición parda o cúbica
		Pudrición blanca o fibrosa
	Pudrición Blanda	
Insectos	Ciclo larvario: Coleópteros	Líctidos
		Anóbidos
		Cerambícidos
	Sociales: Isópteros	Termitas

Mushrooms

They are inferior plants that need to have at least a water content of 20% and a temperature that ranges from 20 to 25°C to be able to develop in the wood.

The molds they feed on the surface cells, but they do not affect the mechanical properties of the wood because they do not degrade neither cellulose nor lignin. Its presence is noticeable when the surface is dark in color or fuzzy

The chromogenic fungi they discolor the wood, giving it a bluish or green color and do not affect its physical-mechanical resistance, because the cell wall is not its source of food but rather the substances found in the sapwood.

The rot fungi they have the ability to destroy the cell wall of wood and affect its mechanical resistance.

White rot fungi commonly attack hardwoods and feed on lignin, although they also affect cellulose, but in a minimal way.

Brown rot fungi feed on cellulose, and when we can see a cubic brown color in the wood, it means that it has decreased or lost its resistance.

Soft rot fungi soften the surface of the wood and when it dries it presents cavities in the cell wall, being visible only through microscopes.

Insects

We will divide insects into two groups: larval cycle insects and social insects.

The larval cycle insects They go through 4 phases: egg, larva, pupa and adult insect.

The cycle begins when adult insects lay their eggs in cracks in the wood. As larvae they lodge inside the wood, feeding on it and forming a network of tunnels. What affects the resistance of the wood.

Lctids (moths) are small insects that feed on the sapwood of hardwoods and their cycle usually lasts one year. The tunnels they create inside the wood are parallel to the fibers and exit to the outside through a hole that has a diameter of 1 to 2 mm. The remains that they usually leave is dust.

The anobids (woodworms) attack the sapwood of conifers and European hardwoods, and if everything is favorable they also feed on the heartwood and their cycle usually lasts 3 years. The holes through which they exit to the outside measure 1.5 to 3 mm in diameter. The remains that they leave when making the galleries are thick and grainy.

Cermbycids attack the sapwood of conifers. Its life cycle lasts approximately 10 years. The larvae are 6 mm in diameter with 22 mm in length and emerge through a 7 mm hole. The damage they cause to the wood is great and they will be eliminated just like the termites.

62 Análisis del comportamiento de madera de distintas especies, con y sin recubrimiento, mediante ensayos de envejecimiento acelerado

The social insects (termites) They are the ones that do the most damage to wood, but at the same time they are difficult to locate because they leave no trace. They are only located when they are forced to make their way around the outside creating cords where the optimal humidity they need is maintained and they are protected from light.

They are highly organized colonies and their nests are usually far from the building they attack. [3]

2.3 TREATMENT FOR THE PROTECTION OF WOOD

In the protection of wood, a distinction can be made between surface protection treatments, which protect against the action of atmospheric agents such as sun and rain, and protective treatments against biotic agents. In the case of protectants against biotic agents, the treatment must contain an active principle that gives the wood greater resistance against xylophages. Table 2.1 extracted from the UNE-EN 335: 2013 standard summarizes the classes of use and biotic agents that can attack wood and wood-derived products.

Table 2.1. Summary of the classes of use and biotic agents that attack wood according to UNE-EN 335-2013°

Clase de uso	Situación general de uso ^a	Aparición de agentes biológicos ^{b,c}				
		Hongos cromógenos	Hongos Xilófagos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
1	En interior, seco	-	-	U	L	-
2	En interior o bajo cubierta, no expuesto a la intemperie. Posibilidad de condensación de agua	U	U	U	L	-
3	Al exterior por encima del suelo, expuesto a la intemperie Se subdivide en: 3.1 Condiciones de humidificación breve 3.2 Condiciones de humidificación prolongada	U	U	U	L	-
4	Al exterior en contacto con el suelo y/o con agua dulce	U	U	U	L	-
5	Sumergido en agua salada de forma regular o permanente	U ^d	U ^d	U ^d	L ^d	U

U = Universalmente presente en Europa y territorios de la UE.
L = Localmente presente en Europa y territorios de la UE.

There are different methods of applying the treatment. The most relevant are described below:

- Decorative products for surface protection: They protect the wood against atmospheric agents such as the sun and rain and against changes in humidity.
- Wood protectors: Made with chemical compounds, they provide wood with greater resistance to biotic agents

Decorative products for surface protection

- Varnish:
Coating material that, when applied, forms a transparent solid film with protective, decorative or technically specific properties. They are used in interior and exterior woods. It is applied through brushing and spraying.
- Painting:
Pigmented coating material, in liquid, paste or powder form, which, when applied to a surface, forms an opaque film with protective, decorative or technically specific properties.
It is used on interior and exterior woods. It is applied by brushing and spraying.
- Lasures:
Open-pore products, which in addition to incorporating biocide products, have solar filters that delay the oxidation of the wood (lignin) due to the action of ultraviolet radiation, which delay the change of color of the wood due to the action of the sun. This effect is accentuated in pigmented stains.
It is used in interior and exterior woods. It is applied by brushing, spraying, autoclaving (vacuum-vacuum). [9]

Wood protectors

- Products based on organic solvents: They are products made up of complex formulations in which the following elements act:

Active principles: Synthetic organic compounds

Adjuvants: Compounds that ensure the stability of the product and the fixation of the active principles inside the wood.

Solvents or thinners

Protects against chromogenic fungi, rot fungi, larval wood-eating insects and social insects (termites).

Mixed products: These are novel products whose active ingredients mix mineral salts with synthetic products.

Protects against chromogenic fungi, rot fungi, larval xylophagous insects and social insects (termites)

Hydrodispersible protectants: They are mixtures of non-water soluble active ingredients to which an emulsifier is added to produce a good dispersion in water.

Protects against chromogenic fungi, rot fungi, larval wood-eating insects and social insects (termites).

Water-soluble protectors: The following products are distinguished by their fixation to wood.

- Quick fixation products and not easily removable.
- Slow fixation products
- Products without fixing or removable salts

Protects against chromogenic fungi, rot fungi, larval wood-eating insects and social insects (termites). For use class 5: Mollusks and xylophagous crustaceans.

Natural organic products:

They are oils of complex chemical composition and are characterized by their density, viscosity, distillation curve and by their content of naphthalenes, anthracenes and phenolic products that determine their effectiveness.

They can only be applied to dry wood and wood treated with them cannot be finished.

Protects against chromogenic fungi, rot fungi, larval wood-eating insects and social insects (termites). For use class 5: Mollusks and xylophagous crustaceans. [9]

Application types:

Brushstroke:

It is a treatment where brushes or brushes are used to treat the surface of the wood easily and quickly. Varnish, paints, oils and stains can be applied. It does not provide much protection, and for this reason it is not recommended to use wood with this protection in areas that are humid. Normally 3 coats of product are put on, allowing it to dry between each coat. This treatment makes it possible to achieve use class 1 and 2.

Nanotechnology

Nanotechnology is currently being applied in different fields. In wood protection products there are waterproofers made with nano-sized oxide particles that do not degrade.

In this project we use two products with nanotechnology: TECNADIS PRS PERFORMANCE, which is hydrophobic and oil-repellent, and AQUASHIELD FORTE, which is hydrophobic and hydro-repellent.

Sprayed:

The surface of the wood is treated with the same products as in brushing, with the difference that in this case a pressure equipment is needed that can be applied manually or mechanically. This treatment is equivalent to 3 coats of brushing. This treatment makes it possible to achieve use class 1 and 2.



Figure 2.02 Spraying the wood. Source: www.bauhaus.es

Short dive:

This treatment consists of completely submerging the piece of wood in the protective liquid. The dive time can range from 10 seconds to 10 minutes. And the protective liquid goes from the surface to the interior through the capillaries that the wood has. Which allows greater protection than brushing and spraying. This treatment allows us to achieve use class 1 and 2. [10]

Prolonged immersion:

First, the moisture content of the wood must be less than 18%, that is, it must be dry. Then the wood is immersed in a water-soluble product or in organic solvent for more than 10 minutes. This treatment allows to achieve the use class 3.

Autoclave: This treatment protects the wood from xylophagous agents. And it allows the wood to achieve use class 4 and 5. It is used for coniferous woods, but fir is the exception since it does not accept this treatment due to its cellular structure. According to European regulations, copper salts free of chromium and arsenic are used for the pressure process. [10]

With pressure:

For the wood to be able to enter the closed metal cylinder, it must have a humidity lower than 28%. Through voids and pressures, the protector is forced to enter the wood. Then, so that the protective product is fixed well inside the wood, the wood must be placed one on top of the other for a time that ranges from 1 week to 3 weeks. In this period the solvent will evaporate so that only the protective product remains. We can also see two systems: full cell and empty cell, which differ according to how the product was distributed inside the wood.

Double vacuum:

The wood must be completely dry and have a humidity lower than 18%, to enter the autoclave and with a combination of pressure and vacuum forces the product to enter the wood. The difference with the previous procedure is that it protects the entire perimeter of the cell wall of the wood without saturating the lumen of the cells.

Types of penetration:

- Surface penetration: It is the one in which the average penetration reached by the protector is 3 mm
- Medium penetration It is one in which the average penetration reached by the protector is greater than 3mm without reaching 75% of the impregnable part
- Deep penetration It is one in which the average penetration reached by the protector is equal to or greater than 75% of the impregnable part.

Other treatments:

- Heat treated wood It is a process used for millennia, which aims to increase the durability of wood to 80 years by burning the wood. And for economic purposes, coniferous woods are mainly used.

This process is remarkable because it does not need chemical products for its realization, that means that it contributes to the maintenance of the environment. And it consists of raising the temperature of the wood, to a temperature higher than 200°C, and being in an area with an absence of oxygen. After the surface is burned, brushing is continued with a bristle brush to then apply natural oil.

What this causes in wood is irreversible because it transforms its internal structure. Improving its resistance to degrading agents such as fungi, insects and humidity. The chemical modification of the wood constituents (cellulose, hemicellulose and lignin) increases its hardness and therefore its durability. Increasing the stability of the wood, that is to say its loss and its swelling decrease notably. The negative point is that this treatment reduces its mechanical properties. And its most daily use is outdoors or in places with a high percentage of humidity [11]

- Acetylated wood

The treatment consists of converting the hydroxyl groups into acetyl groups by applying acetic anhydrous. This process transforms its internal structure, increasing its durability and reducing the expansion and contraction of the wood. The positive part compared to thermo-treated wood is that the mechanical properties are not modified and therefore this type of wood can be used for structural purposes of a building. Acetylated wood can be used in salt water because acetylation has made it resistant to salt and has also increased the hardness of the wood.

An important point to highlight is that for the wood fasteners, not just any steel can be used, it must be stainless, because its acid levels increased with the treatment. Also the wood maintains its color after treatment [12]

Acetylated wood becomes lighter when it is exposed to solar radiation, since acetylation prevents it from acquiring a yellowish color. [5]

- Wood subjected to physical-chemical treatments by impregnation Generally, the impregnation is carried out by monomers or with oligomers of hydrocarbons of small molecular mass, its viscosity being adapted to each case. These compounds fill all the gaps, which prevents them from generating exchanges of water vapor with the outside. [2]

- Treatment with furfuryl alcohol:

It is a chemical process that changes cellulose molecules in order to enable them to absorb furfuryl alcohol. The treatment uses chemical reagents, catalysts, buffers, stabilizers, and water as a solvent.

Furfurylation considerably improves the hygroscopicity of wood and, at the same time, increases its density and hardness. The mechanical properties tend to increase except for impact resistance and the color of the wood darkens. [6]

3 EVALUATION OF AGING AND DURABILITY. STATE OF THE ART

3.1 "IN SITU" TESTS

The "in situ" tests consist of subjecting the specimens to the action of real environmental agents. This is the case of the work carried out by Camila Burgos in her doctoral thesis [4] in which, for two years, she analyzed the impact of test tubes located abroad.

The places where the samples were exhibited, all of them with a Mediterranean climate, were Barcelona, Lleida, Sant Cugat, Santiago (Chile) and Concepción (Chile).

The chosen treatments were autoclaving and heat treatment, as well as the application of various finishes.

The test tubes were first mounted in a stainless steel display rack, leaving them outdoors. And every two months they were analyzed to observe the durability of the finish.

The measurement method for each of the samples was as follows:

First, remove all test tubes from the displays.

There are 22 specimens in Spain and 21 specimens in Chile.

Clean them of the dust they may have with a dry cloth so that the photographs are not affected in their color.

Write down the digital weight of each of them in an Excel template.

Measure with the hygrometer each of them by where the identification number of the test tube is and note its moisture content in% in the Excel template.



Figure 3.1. Exhibitor with the specimens on the EPSEB roof. Source: Thesis by Camila Burgos [4]

Sheets were made with the climatological data of the months of exposure to the elements of the test tubes in the different locations with the data provided by METEOCAT and METEOCHILE.

In his work, C. Burgos evaluated the color variations using the CIE Lab system, which we describe later (section 4.4) and which is based on three parameters: L (luminosity), a (red-green axis) and b (yellow axis). -blue). Each thesis sample was identified by placing the place and time of exposure, the type of wood with its treatment and finish, and the L, a and b values. From the parameters (L, a, b) he determined the color degradation parameter $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ (see section 4.4).

For each sample, he observed the evolution from the beginning to the first year and the second year. For example, for sample B1 (Douglas Fir without treatment) the following was obtained:

S1 (61,31,46) S7 (55,25,33) S13 (55,19,26), which indicates that the first year red decreased by 6 points and yellow by 13 points. The second year red decreased by 6 points and yellow by 7 points. The luminosity the first year decreased towards black by 6 points and the second year it was maintained.

S1 (L_i, to_i, b_i) S7 (L₁, to₁, b₁) S13 (L₂, to₂, b₂)

He described that: The tone decreases the first year because I go from having one to i = 31 to one to 1 = 25. Saturation decreases the second year because I go from having a b_i = 46 a a b₂ = 26

The luminosity is lower the first year because it happened to have an $L_i = 61$ to an $L_1 = 55$

He compared the parameter ΔE from the start of the trial to the second year of exposure.

If ΔE gives a large value, the color change has been large. In the thesis Camila Burgos created an Excel with the ΔE .

Table 3.1. Part of the Excel of ΔE . Source: Thesis by Camila Burgos

	B				L				V			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
Probeta 1	-6 O L	-12 R R	-20 A A	24,08	-11 L L	0 R R	-7 A A	13,04	20 L L	-19 R R	-22 A A	35,28
Probeta 2	3 L L	-6 R R	-3 A A	7,35	-13 O O	2 R R	4 A A	13,75	8 L L	8 R R	15 A A	18,79
Probeta 3	-10 O L	14 R R	10 A A	19,90	-31 O O	18 R R	17 A A	39,87	-14 O L	11 R R	7 A A	19,13
Probeta 4	7 L L	4 R R	3 A A	8,60	-7 O O	8 R R	2 A A	10,82	11 L L	7 R R	9 A A	15,84
Probeta 5	-5 O O	8 R R	5 A A	10,68	-17 O O	11 R R	10 A A	22,58	0 L L	5 R R	-3 A A	5,83
Probeta 6	-1 O O	10 R R	-3 A A	10,49	-11 O O	8 R R	0 A A	13,60	3 L L	9 R R	-3 A A	9,95
Probeta 7	5 L L	13 R R	-9 A A	16,58	3 L L	-6 V V	-3 A A	7,35	9 L L	6 V V	-8 A A	13,45
Probeta 8	-23 O O	3 R R	3 A A	23,39	-29 O O	9 R R	13 A A	33,03	-43 O O	5 R R	2 A A	43,34
Probeta 9	-14 O O	-1 R R	-11 A A	17,83	-21 O O	6 R R	0 A A	21,84	-16 O O	-6 R R	-19 A A	25,55
Probeta 10	-19 O O	0 R R	-12 A A	22,47	-21 O O	8 R R	5 A A	23,02	-1 O O	-3 R R	5 A A	5,92
Probeta 11	-16 O O	10 R R	12 A A	22,36	-26 O O	18 R R	22 A A	38,52	-14 O O	7 R R	4 A A	16,16
Probeta 12	-8 O O	0 R R	0 A A	8,00	-16 O O	4 R R	5 A A	17,23	-27 O O	2 R R	3 A A	27,24
Probeta 13	-8 O O	0 R R	-3 A A	8,54	-8 O O	1 R R	1 A A	8,12	-9 O O	-6 R R	-15 A A	18,49
Probeta 14	-6 O O	-1 R R	-5 A A	7,87	-9 O O	4 R R	5 A A	11,05	-14 O O	-2 R R	-8 A A	16,25
Probeta 15	3 L L	-1 R R	-2 A A	3,74	-7 O O	1 R R	5 A A	8,66	-10 O O	3 R R	4 A A	11,18
Probeta 16	-15 O O	3 R R	-26 A A	31,91	-22 O O	12 R R	-16 A A	29,73	-22 O O	3 R R	-29 A A	36,52
Probeta 17	-1 O O	-4 R R	-24 A A	24,35	4 L L	-4 R R	-12 A A	13,27	1 L L	-5 R R	-26 A A	26,50
Probeta 18	16 L L	-11 R R	-4 A A	19,82	14 L L	-7 R R	2 A A	15,78	8 L L	-10 R R	-8 A A	14,14
Probeta 19	15 L L	-13 R R	-4 A A	20,25	1 L L	-5 R R	4 A A	6,48	1 L L	-9 R R	-5 A A	10,34
Probeta 20	36 L L	-18 R R	-20 A A	44,94	28 L L	-19 R R	-22 A A	40,36	34 L L	-16 R R	-17 A A	41,24
Probeta 21	10 L L	-8 R R	-11 A A	16,88	1 L L	-7 R R	-10 A A	12,25	8 L L	-10 R R	-14 A A	18,97
Probeta 22	11 L L	-13 R R	-13 A A	21,42	1 L L	-5 R R	-6 A A	7,87	1 L L	-5 R R	-3 A A	5,92

A card of photographs was made where the sample appears when the trial begins, at 6 months, at 12 months, at 18 months and at 24 months of exposure so that the color degradation suffered by each one of the samples can be visualized. the test tubes.

The following parameters have been taken into account:

- ΔE between 0 and 15 indicates that the color change is minimal.
- ΔE between 15 and 30 indicates that the color change is medium.
- ΔE between 30 and higher values indicates that the color change is greater.

Other degradations that were observed in the specimens were: cracks, fungi, flaking and washing of the finish. Each specimen was photographed through a PCE-MM200 Microscope, with 200X magnification. And the photographs were valued according to what was seen.

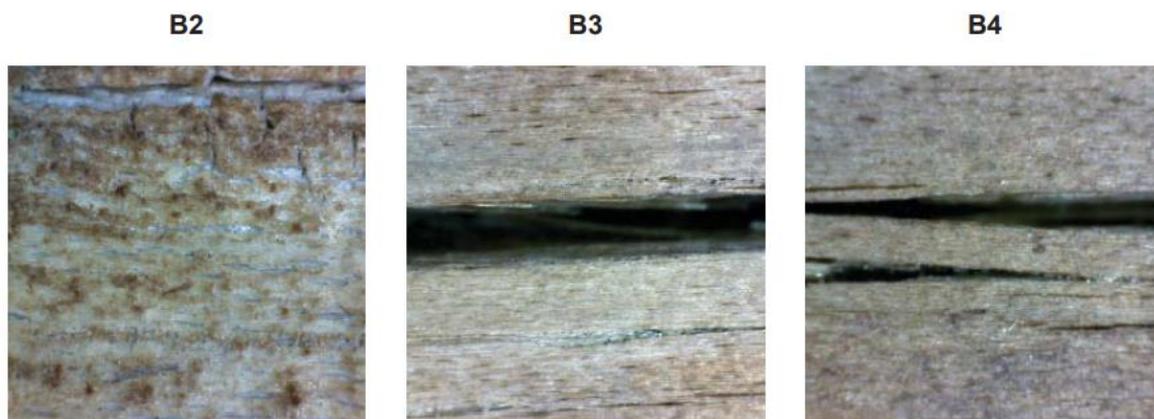


Figure 3.2. Photographs taken from the microscope. Source: Thesis by Camila Burgos