

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE ENSAYO DE CAMPO DE 28 AÑOS CON POSTES DE
EUCALIPTO Y PINO TRATADOS CON CCA**

por

Felipe PÍREZ LÓPEZ

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Quím. Claudia Marcela Ibáñez

Ing. Agr. Carlos Mantero

Ing. Agr. Jorge Enrique Franco

Fecha: 20 de julio de 2018

Autor -----

Felipe Pérez López

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, amigos y todas aquellas personas que de una u otra manera apoyaron incondicionalmente en mi proceso de formación como Ing. Agrónomo y principalmente como persona.

Al Consejo de Educación Técnico Profesional (CETP), al Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), a UTE de Paso de los Toros, al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y al Centro Universitario de Tacuarembó (CUT) por su colaboración y posibilidad de uso de sus equipos.

Al personal de cada una de las entidades del estado por su colaboración.

A la Ing. Química Marcela Ibáñez y al Ing. Agr. Carlos Mantero por su apoyo y ayuda en el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 AGENTES DESTRUCTORES.....	3
2.1.1 <u>Tipo de agentes del deterioro</u>	3
2.1.2 <u>Características generales de daños causados por microorganismos</u>	3
2.1.2.1 Podredumbre blanca de la madera.....	4
2.1.2.2 Podredumbre marrón de la madera.....	5
2.1.2.3 Podredumbre blanda de la madera.....	6
2.1.2.4 Degradación bacteriana.....	6
2.1.3 <u>Características generales de daños causados por insectos</u>	7
2.1.3.1 Orden: Coleóptera, familia: Bostrychidae.....	8
2.1.3.2 Orden: Coleóptera, familia: Anobidae.....	10
2.1.3.3 Orden: Coleóptera, familia Cerambycidae.....	11
2.1.3.4 Orden: Isóptera, familia: Rhinotermitidae.....	12
2.1.4 <u>Características generales de daños causados por agentes abióticos</u>	12
2.2 CONCEPTO DE PRESERVANTE.....	13
2.2.1 <u>Tipos de preservantes químicos</u>	13
2.2.2 <u>Condiciones que debe cumplir un preservante...</u>	15
2.2.3 <u>Determinación de la eficiencia de los preservantes</u>	15

2.3 INFLUENCIA DEL TIPO DE MADERA EN LA IMPREGNACIÓN DE UN PRESERVANTE.....	16
2.4 TRATAMIENTO DE PRESERVACIÓN.....	18
2.4.1 <u>Método de Bethell</u>	18
2.4.2 <u>Método de Rueping</u>	19
2.4.3 <u>Método de Lowry</u>	20
2.5 ARSENIATO DE COBRE CROMATADO (CCA).....	21
2.5.1 <u>Breve historia del CCA</u>	21
2.5.2 <u>Proceso de fijación del CCA a la madera</u>	22
2.5.3 <u>Tipos de CCA</u>	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	26
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS.....	26
3.1.1 <u>Campo región Norte</u>	26
3.1.2 <u>Campo región Sur</u>	27
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO DE CAMPO O CEMENTERIO DE ESTACAS.....	29
3.3 EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS.....	32
3.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	34
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	36
4. <u>RESULTADOS</u>	37
4.1 IDENTIFICACIÓN DE PRESERVANTE.....	37
4.2 IDENTIFICACIÓN DE AGENTES DESTRUCTORES....	38
4.3 GRADO DE DETERIORO DE LOS POSTES.....	39
4.4 IDENTIFICACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO, ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	44
4.4.1 <u>Ensayo Tacuarembó</u>	44
4.4.1.1 Resultados bióticos.....	44
4.4.1.2 Resultados abióticos.....	46

4.4.2 <u>Ensayo Toledo</u>	47
4.4.2.1 Resultados bióticos.....	47
4.4.2.2 Resultado abiótico.....	50
4.4.3 <u>Resultados bióticos y abióticos Tacuarembó- Toledo</u>	51
5. <u>DISCUSIÓN</u>	53
5.1 PRESERVANTE CCA-TIPO C.....	53
5.2 AGENTES DESTRUCTORES.....	53
5.3 DETERIORO DE LOS POSTES.....	53
5.4 EL MEJOR TRATAMIENTO.....	54
6. <u>CONCLUSIONES</u>	55
7. <u>RESUMEN</u>	56
8. <u>SUMMARY</u>	57
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58
10. <u>ANEXOS</u>	62

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Principales etapas de fijación y precipitación de CCA.....	23
2. Composición del CCA-A, B y C.....	23
3. Tratamientos, especies, empresa impregnadora y abreviación.....	32
4. Escala de evaluación biótica.....	33
5. Escala de evaluación abiótica.....	33
6. Resultados espectrométricos.....	37
7. Evaluación biótica y abiótica. Tacuarembó.....	42
8. Evaluación biótica y abiótica. Toledo.....	43
9. Estimación de significancia de tratamiento.....	45
10. Estimación de significancia del tratamiento.....	49
11. Comparación de tratamientos sitio vs. tratamiento sitio.....	52
Figura No.	
1. Podredumbre blanca de la madera sobre trozo de madera.....	4
2. Podredumbre marrón de la madera sobre trozo de madera.....	5
3. Podredumbre blanda de la madera sobre trozo de madera.....	6
4. <i>Lyctus brunneus</i>	9
5. Trozo de madera atacado por <i>Lyctus brunneus</i>	9
6. <i>Anobium punctatum</i>	10
7. Trozo de madera atacado por <i>Anobium punctatum</i>	11
8. <i>Hylotrupes bajulus</i>	11
9. Trozo de madera atacado por <i>Hylotrupes bajulus</i>	12
10. Trozo de madera atacado por <i>Rheticulitermes flavipes</i>	12
11. Diagrama proceso Bethell.....	19

12. Diagrama proceso Rueping.....	20
13. Diagrama proceso Lowry.....	21
14. Complejo formado por el cromo y la madera.....	24
15. Ensayo Tacuarembó, CETP; Tacuarembó.....	26
16. Ensayo Toledo, MGAP; Canelones.....	28
17. Documento original del ensayo.....	30
18. Ilustración del ensayo.....	31
19. Obtención de muestras.....	34
20. Diagrama de pasos realizados para obtener resultados.....	35
21. Postes mostrando grado de ataque por hongos de la podredumbre blanda. Tacuarembó y Toledo.....	38
22. Poste atacado de podredumbre marró.....	39
23. Criterio de escala biótica.....	40
24. Criterio de escala abiótica.....	41
Gráfico No.	
1. Perfil de respuesta biótica Tacuarembó.....	44
2. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Tacuarembó.....	45
3. Perfil de respuesta abiótica Tacuarembó.....	46
4. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente deterioradas. Escala abiótica Tacuarembó.....	47
5. Perfil de respuesta biótica Toledo.....	48
6. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Toledo.....	49
7. Perfil de respuesta abiótica Toledo.....	50
8. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente deteriorada. Escala abiótica Toledo.....	51

1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de la madera en servicio se ve afectada por la exposición a factores bióticos como microorganismos e insectos y factores abióticos como las condiciones climáticas. La velocidad del deterioro que producen estos factores se encuentra influenciada por las propiedades intrínsecas de la madera, por ejemplo, por su durabilidad natural, así como, por los tratamientos de preservación aplicados.

Con la finalidad de prolongar la vida en servicio de la madera, los tratamientos con preservantes resultan el método más fácil de controlar el proceso del deterioro (Estéves et al., 2012).

Sin embargo, cuando se utilizan preservantes se deben tomar precauciones para evitar la lixiviación hacia el ambiente de los componentes biocidas usados en los tratamientos de la madera, ya que en muchos casos incluyen elementos, tales como el arsénico, que son altamente perjudiciales para la salud humana (Estéves et al., 2012).

El presente trabajo consistió en la evaluación de un ensayo de campo en dos localizaciones, a los 28 años de su instalación, con postes de madera tratados con el preservante arseniato de cobre cromatado (CCA), producto compuesto por cobre, cromo y arsénico, capaz de actuar como fungicida, bactericida e insecticida. Las especies madereras de dicho ensayo son las más comercializadas en nuestro país, el pino y el eucalipto.

Este tipo de ensayo de campo o cementerio de estacas es muy utilizado, ya que al estar las maderas enterradas en el suelo y expuestas a la intemperie, es posible observar su comportamiento real frente a todo tipo de factores.

El ensayo estudiado está estratégicamente ubicado desde el punto de vista de los tipos de suelos existentes a fin de evaluar el comportamiento de los postes en suelos con diferentes texturas y contenidos de materia orgánica.

Los datos originales no fueron encontrados, posiblemente fueron extraviados tras las distintas mudanzas de la biblioteca del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Por lo tanto el punto de partida de información del siguiente trabajo es de investigadores que participaron en el diseño e instalación como Ing. Agr. Pedro Senizyn, Ing. Quim. Gustavo Baillod, Ing. Agr. Juan José Puppo, hoy día retirados de la actividad laboral.

De esta manera no existe información sobre evaluaciones intermedias y no se cuenta con datos precisos sobre la instalación del ensayo (fecha exacta), solamente se dispone de un croquis con las especies ensayadas y las empresas que impregnaron la madera y su disposición en cada localización. No existen datos sobre retenciones utilizadas, ni sobre muestras testigos que posibiliten la comparación.

Tres objetivos fueron los planteados en el trabajo, como principal evaluar el grado de deterioro de los postes de madera mediante la utilización de las escalas propuestas. Seguido de la identificación de posibles agentes destructores como hongos e insectos y por último, asociar las posibles diferencias de deterioro de los postes de madera a la planta impregnadora que realizó el proceso de impregnación asociando las características intrínsecas de cada especie y las condiciones naturales del sitio donde se encontraba cada ensayo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el siguiente capítulo se presentan los conceptos claves para la interpretación de la investigación realizada.

2.1. AGENTES DESTRUCTORES

2.1.1. Tipos de agentes del deterioro

Existen diferentes agentes que son capaces de degradar la madera, incluso cuando ésta presenta un tratamiento preservante. Estos agentes se pueden clasificar en abióticos y bióticos (Barreiro y Hirsch, 2011).

Los agentes abióticos son todas aquellas formas no vivas que pueden ser de la naturaleza, capaces de degradar a la madera. Entre ellos se encuentran por ejemplo la radiación solar, el agua en sus diferentes formas, el fuego, el viento y procesos erosivos.

Por otro lado, los agentes bióticos que degradan madera son los hongos, mohos, bacterias, insectos y cualquier otro ser vivo que tenga la capacidad de afectar a la madera, por ejemplo, los roedores. Según Barreiro y Hirsch (2011) los hongos e insectos son los más importantes debido a la magnitud del deterioro que producen.

A su vez Ibáñez et al. (2009) clasifican a los microorganismos (hongos, mohos y bacterias) en cinco grupos, de acuerdo con el tipo de daño que provocan sobre la madera, ellos son: hongos de la podredumbre blanca, hongos de la podredumbre marrón, hongos de la podredumbre blanda, mohos y hongos del manchado, y bacterias.

Los microorganismos que causan daño y pueden generar pérdida de resistencia o problemas estructurales en las maderas son los primeros tres mencionados, mientras que los mohos y hongos de manchado, así como las bacterias, no representan una amenaza significativa para las propiedades mecánicas de la madera, pero si afectan su valor, ya que estéticamente se ven afectadas (Ibáñez et al., 2009).

2.1.2. Características generales de daños causados por microorganismos

Los diferentes microorganismos que son capaces de degradar a la madera presentan diferentes preferencias por los componentes de esta. Esto se debe principalmente a las capacidades desde un punto de vista bioquímico de los mismos de metabolizar estos componentes y de las características

anatómicas y la composición química de las maderas.

A modo de enfocarse en aquellos microorganismos que generan pérdidas económicas considerables a continuación se describe daños generales causados por los microorganismos de mayor relevancia.

2.1.2.1. Podredumbre blanca de la madera

La podredumbre blanca de la madera es causada por hongos, principalmente Basidiomycotas y Ascomycotas (Deacon, 2006), especializados en metabolizar los componentes estructurales de la madera, la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, son los únicos capaces de degradar la lignina juntamente con otros componentes de la pared celular (Ibáñez et al., 2009).

El aspecto macroscópico que la madera adquiere cuando la podredumbre blanca está presente es de esponjosidad y luego, a medida que el grado de deterioro es mayor, adquiere un aspecto blancuzco al removerse la lignina (Ibáñez et al., 2009). Este aspecto blancuzco generado sobre la madera permite reconocer visualmente el tipo de deterioro (figura 1).

Como consecuencia la pudrición blanca causa en la madera la pérdida de resistencia mecánica, de peso y la reducción en volumen. Este tipo de pudrición afecta más a latifoliadas que a coníferas (González, 2012).

Figura 1. Podredumbre blanca sobre trozo de madera.¹



¹ Ibáñez, C. M. 2015. Curso Protección forestal. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.

2.1.2.2. Podredumbre marrón de la madera

Los hongos de la podredumbre marrón son Basidiomycotas, capaces de metabolizar solamente los carbohidratos de la madera como la celulosa y hemicelulosa; el término pudrición marrón o parda hace referencia al color característico de la madera podrida, ya que la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa han sido degradados, dejando un residuo formado por la lignina químicamente modificada (Deacon, 2006).

El producto de este tipo de pudrición que permite reconocerla visualmente es un fino polvo de color pardo rojizo correspondiente a la lignina que los hongos no pueden degradar completamente (Ibáñez et al., 2009) además de generar en la madera un resquebrajado parecido a un ladrillo (Deacon, 2006), característica típica de esta pudrición (figura 2).

La madera una vez atacada por este tipo de microorganismo comienza a disminuir su volumen y comienza a perder resistencia mecánica. A medida que la pudrición avanza se generan grietas de contracción con dirección idéntica a las de las fibras y radios leñosos como también en los anillos de crecimiento. Es frecuente en coníferas (Ibáñez et al., 2009).

Figura 2. Podredumbre marrón sobre trozo de madera.¹



2.1.2.3. Podredumbre blanda de la madera

Los hongos de la podredumbre blanda de la madera incluyen a los taxones Ascomycotas y Deuteromycotas. Son capaces de degradar la celulosa y la hemicelulosa (Ibáñez et al., 2009) y tienen poco o ningún efecto sobre la lignina (Deacon, 2006).

La madera una vez atacada por estos microorganismos adquiere el aspecto de esponjosa y al tocarla se puede sentir blanda (figura 3). Los microorganismos atacan la superficie de la madera generando pérdida de resistencia mecánica (González, 2012).

A diferencia de los hongos ya mencionados, los de la podredumbre blanda necesitan ambientes húmedos por largos periodos de tiempo para crecer, además de niveles altos de nitrógeno en la madera, es de destacar que, si el nitrógeno no se encuentra disponible en la madera, es extraído del suelo. Estos hongos son característicos por ejemplo en los postes de la red de telefonía (Deacon, 2006).

Figura 3. Podredumbre blanda sobre trozo de madera.¹



2.1.2.4. Degradación bacteriana

Las bacterias son un tipo de agente biótico que causa daño en las maderas, son consideradas de menor importancia en comparación con los hongos vistos anteriormente ya que no causan pérdidas económicas.¹

El deterioro por bacterias ocurre en condiciones caracterizadas principalmente por la ausencia o escasez de oxígeno por largos períodos de tiempo, así como también condiciones de alta humedad. Además, son capaces de atacar maderas tratadas con preservantes (Greaves, 1971).

El ataque bacteriano sobre maderas que se encuentran en contacto con el suelo comienza generalmente según Ibáñez et al. (2009) a la altura de línea de tierra, zona aerobia, pero con limitada presencia de oxígeno y donde se encuentra suficiente sustrato para el desarrollo bacteriano.

Greaves (1971) agrupa a las bacterias en cuatro grupos y nombra a cada uno de acuerdo con el principal daño causado sobre la madera: bacterias que afectan la permeabilidad, pero no causan pérdida de resistencia; bacterias que son capaces de atacar la pared celular de la madera causando pérdida de resistencia; bacterias que contribuyen a la descomposición final de la madera y bacterias pasivas que no contribuyen a la descomposición, pero pueden ser antagonistas de otras bacterias.

Los géneros bacterianos identificados en el ataque de maderas incluso en maderas tratadas con preservantes son varios, *Pseudomonas spp* (*P. creosotensis*) y *Bacillus spp*. Las primeras son capaces de degradar preservantes como la creosota clasificada como preservante oleoso mientras que ambos géneros son capaces de degradar preservantes oleosolubles. Es de destacar la tolerancia que las bacterias adquieren frente a diferentes preservantes donde además de los ya mencionados se incluye al arseniato de cobre cromatado (CCA), preservante hidrosoluble (Ibáñez et al., 2009).

Cabe destacar que este tipo de bacterias se ven favorecidas por la aplicación de preservantes a la madera ya que la concentración de hongos es reducida generando una multiplicación bacteriana abundante ante la ausencia de competidores (Ibáñez et al., 2009).

2.1.3. Características generales de daños causados por insectos

Los insectos que causan daño en maderas son conocidos como xilófagos. Se caracterizan por formar orificios y galerías en la madera de diferentes formas y tamaños. La presencia de aserrín es un signo típico, esparcido, compactado, sobre la madera, en el suelo, como astillas o como un fino polvo son algunas de las formas más comunes de encontrarlo.²

El daño causado tomará diferentes magnitudes dependiendo del insecto causal. Las diferentes preferencias por partes de la madera como la albura o el duramen, el ciclo de desarrollo de los insectos en su interior y la capacidad de degradar componentes estructurales harán que el daño sea considerado de importancia o no.

² Bollazzi, M. 2015. Curso Protección Forestal. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. (sin publicar).

Se pueden clasificar a los insectos considerando donde causan daño, como ser árboles en pie o sobre maderas estacionadas o en uso. Ciertas especies pueden causar daño en ambos grupos mientras que otras solo se especializan en uno de ellos.²

Según Ibáñez et al. (2009) los órdenes de mayor importancia en Uruguay son: Coleóptera conocidos vulgarmente con el nombre de cascarudos (familias: Cerambycidae, Platypoidae, Bostrychidae y Anobidae), Himenóptera conocidos como avispas (familia: Siricidae) e Isóptera conocidos como termitas (familia: Rhinotermitidae).

De acuerdo con la clasificación las familias de Coleóptera (cascarudos) tienen preferencias por cualquiera de las dos formas, es decir árboles en pie o madera estacionada o en uso. La familia Cerambycidae y Platypodidae sólo pueden desarrollarse en árboles en pie o recientemente apeados. Mientras que las demás familias Bostrychidae, Anobidae y Cerambycidae son capaces de desarrollarse en maderas estacionadas con bajos porcentajes de humedad.²

Para el caso de Himenóptera (avispa) no presentan un riesgo de importancia para las maderas estacionadas ya que no pueden desarrollar sus estadios larvales dentro de maderas con bajos contenidos de humedad.²

En cambio, para el caso de Isóptera (termitas) son capaces de atacar madera estacionada seca, aunque existe preferencia por maderas húmedas en contacto con el suelo.²

A continuación, se desarrollarán características generales de familias capaces de provocar daño en maderas estacionadas, que serían de relevancia en este trabajo.

2.1.3.1. Orden: Coleóptera, familia Bostrychidae

La familia Bostrychidae presenta dos subfamilias capaces de degradar a la madera, ellas son Lyctinae y Bostrichinae.²

A Lyctinae la componen insectos capaces de atacar madera tanto seca como húmeda soportando hasta un 30 % de humedad y muestran su preferencia óptima en maderas que presentan entre 10 y 20 % de humedad (Ibáñez et al., 2009). Su hábitat de preferencia es la albura de la madera por presentar alto porcentaje de almidón.²

Son insectos pequeños de no más de 5 mm de largo, de color pardo rojizo a pardo oscuro, con élitros más claros que el resto del cuerpo (figura 4).²

Figura 4. *Lyctus brunneus*.³



Los daños causados por Lyctinae son galerías dentro de la albura de la madera, pudiendo visualizar pequeños orificios ovales sobre la madera los cuales no superan los 2 mm de diámetro, generado un fino polvo (aserrín) muy suave al tacto (figura 5), de esta manera los daños causan pérdida estructural en la madera.³

Figura 5. Trozo de madera ataco por *Lyctus brunneus*.³



Por su parte la subfamilia Bostrichinae está compuesta en su gran mayoría por insectos xilófagos capaces de atacar la albura de maderas de latifoliadas, desde maderas con alto contenido de humedad hasta maderas relativamente secas. Ambas familias son de importancia para aquellas especies de árboles que contengan un gran porcentaje de albura y alto contenido de almidón (Ibáñez et al., 2009).

Los daños causados por estos insectos son similares a los de Lyctinae difiriendo en el tamaño de los orificios, en este caso orificios de mayor tamaño los cuales se encuentran entre 3 a 9 mm de diámetro (Ibáñez et al., 2009).

³ Foto extraída de Curso Protección Forestal. 2015. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. (sin publicar).

Ambas subfamilias son capaces de atacar madera de latifoliadas, por lo tanto, pueden utilizar a los eucaliptos como hospederos.²

2.1.3.2. Orden: Coleóptera, familia: Anobidae

En lo que respecta a la familia Anobidae cabe destacar la importancia que presenta la subfamilia Anobidae, en especial *Anobium punctatum* es considerado de importancia en nuestro país ya que presenta la capacidad de atacar maderas secas.

Son insectos de tamaño pequeño, llegando a medir 5 mm de largo, de color pardo rojizo a castaño oscuro, su cabeza se encuentra bajo su protórax, los élitros presentan puntuaciones distinguibles a simple vista (figura 6).²

Figura 6. *Anobium punctatum*.³



Los daños causados son galerías dentro de la madera, tanto en la albura como en el duramen, se puede visualizar orificios circulares sobre la madera seca los cuales no superan los 6 mm de diámetro, que corresponde a la emergencia de los insectos adultos. Como consecuencia existe generación de un polvillo (aserrín) ligeramente más grueso en comparación con el polvillo de *Lyctus brunneus* y menos suave al tacto, confirmando la característica de granular grueso (figura 7).²

Anobium punctatum presenta la capacidad de atacar maderas secas tanto de latifoliadas como de coníferas.

Figura 7. Trozo de madera atacado por *Anobium punctatum*.³



2.1.3.3. Orden: Coleóptera, familia: Cerambycidae

Con respecto a la familia Cerambycidae es de destacar a *Hylotrupes bajulus* como el insecto de importancia para maderas secas y en proceso de secado.²

Son insectos de tamaño relativamente grande llegando a medir 25 mm de largo, su color es negro, presenta dos protuberancias en el pronoto las cuales se hallan sin pilosidad (figura 8).²

Figura 8. *Hylotrupes bajulus*.³



Los daños se concentran en la albura de la madera, observándose orificios ovales con máximos de 10 mm de diámetro, generando un polvillo (aserrín) de granulometría fina a largas fibras (figura 9).²

Su capacidad de ataque está restringida a las maderas de coníferas y en especial las de pinos en proceso de secado o secas.²

Figura 9. Trozo de madera atacado por *Hylotrupes bajulus*.³



2.1.3.4. Orden: Isóptera, familia: Rhinotermitidae

Dentro de la familia Rhinotermitidae se encuentran *Reticulitermes flavipes* conocidos vulgarmente como termitas. Este tipo de insecto se alimenta de madera, en especial de uno de sus componentes, la celulosa. “*Prefieren maderas húmedas y atacadas por hongos*” (Ibáñez et al., 2009).

Son insectos de color blanco, existiendo alados y ápteros, atacan tanto la albura como el duramen, viven en nidos debajo de la tierra y son insectos que poseen fototropismo negativo (escapan a la luz).²

El daño que causan dichos insectos es relevante en construcciones hechas de madera como casas, generan túneles característicos sobre la madera donde no hay presencia de aserrín (figura 10).²

Figura 10. Trozo de madera atacado por *Reticulitermes flavipes*.³



2.1.4. Característica general de daños causados por agentes abióticos

La madera no solo es dañada por agentes bióticos como fueron descritos anteriormente, sino que existen agentes abióticos del tipo climático que provocan su desgaste, erosión, pérdida de integridad.

Las continuas fluctuaciones de temperatura y humedad por ejemplo causan la contracción o hinchamiento de las capas superficiales de la madera, lo que trae como consecuencia la formación de grietas y su posterior desfibramiento, dejando al descubierto nuevas capas que serán afectadas por procesos similares (Vaca de Fuentes, 1998).

Además de los ya mencionados, hay que hacer referencia a un factor no climático como el contenido de materia orgánica en los suelos. Es un factor determinante en la presencia y desarrollo de microorganismos descomponedores. A medida que aumentan los nutrientes del suelo, particularmente el nitrógeno, aceleran el proceso de deterioro (FAO, s.f.). Contemplando términos agronómicos la descomposición se da más rápidamente en suelos arcillosos y en menor grado en suelos arenosos.

Por lo tanto, la durabilidad de la madera en contacto con el suelo está influenciada por diferentes factores, como, la calidad del suelo, el clima y la microflora del suelo (Brischke et al., 2014).

2.2. CONCEPTO DE PRESERVANTE

Hoy en día las especies de madera de mayor durabilidad natural están siendo retiradas de los mercados ya sea por su alto costo o por políticas de restricción a la tala indiscriminada de dichas especies. Buscando alternativas a estas maderas se utilizan otras de menor durabilidad natural a las que se aplican preservantes para aumentar su vida en servicio, evitando que los agentes destructores la puedan atacar.

Los preservantes de madera para Anthony y Lebow (2015) son cualquier producto que prolongue la vida útil y son generalmente productos químicos, tóxicos para los hongos de pudrición de la madera y/o insectos, o que provocan algún cambio en la madera que la hace menos vulnerable al deterioro.

Considerando que los preservantes para madera son productos químicos a continuación, se mencionan los tipos de preservantes más comunes que son utilizados, así como también las condiciones que deben cumplir para ser considerados efectivos.

2.2.1. Tipos de preservantes químicos

Los diferentes preservantes existentes hoy día son clasificados según Schultz y Nicholas (2008) por el grado de impacto que generan en el medio. Los autores distinguen diferentes generaciones de preservantes, la primera

generación involucra a preservantes de amplio espectro, como lo son la creosota, el pentaclorofenol y el CCA.

La preocupación por la toxicidad para personas y el ambiente llevo que en naciones de América del Norte, Asia y Europa se desarrolle la segunda generación de preservantes. Como consecuencia, surgió un aumento en el interés por preservantes menos nocivos como los preservantes ricos en cobre (copper-rich, Schultz y Nicholas, 2008).

La búsqueda por lograr productos aún menos agresivos con el medio ambiente y la salud humana llevaron al desarrollo de la tercera generación, preservantes orgánicos basados en boratos (Schultz y Nicholas, 2008).

Sin embargo, la segunda y la tercer generación mostraba ciertas falencias con respecto a la primera generación, si bien eran menos nocivos para el medio ambiente el grado de lixiviación y la corrosión generada en elementos como metales eran mayores (Schultz y Nicholas, 2008).

Hoy día se trabaja en el desarrollo de la cuarta generación, la cual busca proteger la madera sin utilizar biocidas, por ejemplo, con tratamientos térmicos, contando en algunos países con el apoyo de políticas gubernamentales (Schultz y Nicholas, 2008).

Importa destacar que no existe una única clasificación de preservantes para madera, Ibáñez et al. (2009) refieren al tipo de solvente en el cual son disueltos, como el modo más común para clasificar a los preservantes y distinguen tres grupos, los oleosolubles, los oleosos y los hidrosolubles.

Dentro de los preservantes oleosolubles se encuentra el pentaclorofenol. Es el más tóxico de los preservantes oleosolubles, es eficaz contra hongos e insectos, pero ineficaz contra perforadores marinos. Este tipo de preservante necesita ser disuelto en un solvente oleoso para su utilización (Ibáñez et al., 2009).

Los oleosos son preservantes que no necesitan de un disolvente. Dentro de esta clasificación encontramos a la creosota. Se caracterizan por presentar fuerte olor y por sus tonos oscuros, que alteran la coloración natural de la madera y no permiten la aplicación de barnices o pinturas (Ibáñez et al., 2009).

Por último, los hidrosolubles, son preservantes con la capacidad de diluirse en soluciones acuosas y muchos de ellos presentan la capacidad de convertirse en insolubles una vez dentro de la madera por formar complejos con

los biopolímeros de esta (Eaton y Hale, 1993). Uno de los preservantes más conocidos a nivel mundial que pertenece a este grupo es el CCA.

Algunas de las ventajas que presentan estos productos frente a los oleosolubles y oleosos son las siguientes, son inodoros, pueden combinarse con químicos ignífugos y puede pintarse sobre ellos.

Pero no todo son ventajas, existen desventajas como que la madera tratada se hincha, debe de ser secada luego del tratamiento, puede existir lixiviación de químicos que no fueron correctamente fijados a la madera y pueden influir sobre las propiedades mecánicas de la madera negativamente (Eaton y Hale, 1993).

2.2.2. Condiciones que debe cumplir un preservante

Si bien existen diferentes elementos que podrían actuar como preservantes de la madera, es necesario definir condiciones que deben cumplir para que sean considerados como tales. Ser eficaz frente a agentes destructores tanto bióticos como abióticos y consecuentemente prolongar la vida en servicio de la madera, sería la condición primaria necesaria para poder ser considerado como preservante.

Los investigadores dedicados al estudio de los preservantes han hecho hincapié en ciertos aspectos, como la toxicidad y la importancia en el cuidado del ambiente ante la utilización de estos productos.

Hartford (1973) hace alusión a la toxicidad restringida frente a agentes destructores como los organismos xilófagos, así como también los que habitan en la madera como una característica a cumplir por un preservante.

Sin embargo, Hunt y Garratt (1953) van más allá de la toxicidad y mencionan aspectos importantes tales como el carácter de permanencia del preservante en el lugar utilizado, haciendo énfasis en no dejar escapar al ambiente productos tóxicos. También deben tener poco o ningún efecto sobre las propiedades mecánicas de la madera, así como tampoco sobre los materiales que están en contacto con la madera, como por ejemplo pinturas, adhesivos, plásticos, metales, etc.

2.2.3. Determinación de la eficacia de los preservantes

Existen pruebas realizadas en laboratorio que son capaces de generar mucha información sobre las propiedades y eficacia de un preservante. Sin embargo, estas pruebas no son lo suficientemente contundentes como para

aceptar el uso extenso de un nuevo preservante de maderas (Hunt y Garratt, 1953)

Los investigadores afirman que es posible estudiar en laboratorio la toxicidad, la capacidad de penetración y corrosión, las propiedades químicas, la influencia sobre la resistencia al fuego, el efecto sobre la pintura, la estabilidad química, la persistencia y las cantidades necesarias de preservador para ser considerado eficaz.

Pero Hunt y Garratt (1953) advierten que hasta el momento no existe un ensayo que sustituya las pruebas de servicio, también denominadas pruebas de campo.

2.3. INFLUENCIA DEL TIPO DE MADERA EN LA IMPREGNACIÓN DE UN PRESERVANTE

El éxito de un proceso de impregnación de madera con un determinado preservante está fuertemente influenciado por el tipo o especie de madera que se desea tratar. Cada especie tiene un comportamiento particular frente a la absorción y penetración de líquidos hacia el interior de su estructura leñosa (Huiricán, 2008), por lo tanto, resulta de gran importancia la anatomía que presenta cada especie (Juacida, 1991).

Microscópicamente los elementos anatómicos responsables de la conducción de líquidos en el sentido longitudinal de la madera son, los vasos en latifoliadas y las traqueidas en coníferas. La conducción en sentido radial se efectúa a través de los radios leñosos (Juacida, 1991). Por lo que estos elementos celulares resultan de gran importancia en el proceso de impregnación.

Dependiendo de la estructura y orientación de los elementos celulares de la madera la permeabilidad será diferente en el plano (radial, longitudinal o tangencial). Generalmente la mayor permeabilidad se encuentra en el sentido longitudinal y será menor en los sentidos radial y tangencial (Juacida, 1991)

Macroscópicamente la madera en un corte transversal presenta dos zonas bien diferenciadas, técnicamente denominadas albura y duramen. La principal diferencia entre la albura y el duramen son de naturaleza química, asociada por la infiltración en el duramen de aceites, gomas, resinas, taninos, compuestos aromáticos y colorantes convirtiéndolo en un tejido duro y de color generalmente oscuro que lo diferencia de la albura (Vaca de Fuentes, 1998).

La proporción existente entre albura y duramen en la madera influye en la penetración del preservante (Juacida, 1991); en general la madera de duramen es menos permeable dificultando los tratamientos en comparación con la madera de albura (Vignote et al., 2013). De esta manera aquellas especies que presenten mayor cantidad de albura podrán ser impregnadas casi en su totalidad, mientras que las especies que presentan alto porcentaje de duramen se verán restringidas a la penetración de líquidos preservantes a la albura (Juacida, 1991).

Las maderas que fueron utilizadas en este trabajo son de coníferas y latifoliadas las cuales presentan diferencias en su estructura anatómica. La madera de pino (conífera) presenta mayor porcentaje de albura que de duramen por lo que es posible una impregnación prácticamente total, esto está asociado a la edad del árbol, el cual comienza el proceso de duraminización a edades posteriores que el eucalipto.⁴ El éxito en el proceso de impregnación dependerá de otros factores como el contenido de humedad, el método utilizado en la impregnación y del tipo de preservante utilizado.

Por otro lado, el eucalipto presenta un porcentaje bajo de albura en comparación con el duramen, de esta manera la madera de los diferentes eucaliptos presenta menor proporción de madera impregnada si lo comparamos con la madera de pino.¹

El carácter anatómico es entonces un factor importante cuando queremos impregnar madera, siendo las especies de mayor porcentaje de albura las más adecuadas para la impregnación (Juacida, 1991).

Otros factores que afectan la penetración de líquidos en el interior de la madera además del ya mencionado carácter anatómico son, la forma de preparación de la madera para su impregnación, el tipo de preservante a utilizar, el método de tratamiento preservativo (Juacida, 1991) y el contenido de humedad presente en la madera; recomendable para la impregnación de maderas 28 % de humedad como máximo (valor considerado punto de saturación de la fibra) para procesos que utilizan presión (Tuset y Durán, 1979).

En el capítulo siguiente se hablará sobre los diferentes métodos existentes y se hará énfasis en los más empleados.

⁴ Mantero, C. 2015. Curso Tecnología de la madera. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. (sin publicar).

2.4. TRATAMIENTOS DE PRESERVACIÓN

En la actualidad existen diferentes tratamientos que aplican sustancias químicas a la madera para prolongar su vida en servicio. Se pueden diferenciar tres procesos de tratamientos y dentro de cada tratamiento a su vez se encuentran diferentes métodos.

Los tratamientos de preservación son clasificados en tres, tratamientos sin presión ni vacío, tratamientos con presión y/o vacío y tratamientos especiales (Tuset y Durán, 1979).

Los tratamientos sin presión ni vacío son simples, el brochado y pulverizado e inmersión tanto en frío como en caliente son las más usuales. El brochado y pulverizado, consisten en la aplicación de sustancias tóxicas a la madera, logrando una penetración de pocos milímetros, siendo usuales las sustancias preservadoras oleosolubles, y es necesario aplicar de dos a tres veces para un correcto resultado. Mientras que en la inmersión son comunes los tres tipos de preservantes, oleosolubles, oleosos e hidrosolubles. El procedimiento consiste en sumergir las piezas de madera en un recipiente buscando que queden totalmente cubiertas por el preservante químico (Vaca de Fuentes, 1998).

Este tipo de método por lo general presenta la ventaja de ser rápido y de bajo costo, no requiere de infraestructura ni tampoco de mano de obra especializada. Como desventaja se puede mencionar la baja durabilidad de la madera tratada en determinadas situaciones por la baja retención de la sustancia preservadora que se logra.

Por otro lado, existen los métodos de mayor complejidad, para los cuales es preciso tener equipamiento e infraestructura específica ya que requieren de presión y/o vacío. Los métodos más conocidos son, Bethell, Lowry y Rueping (Tuset y Durán, 1979).

2.4.1. Método de Bethell

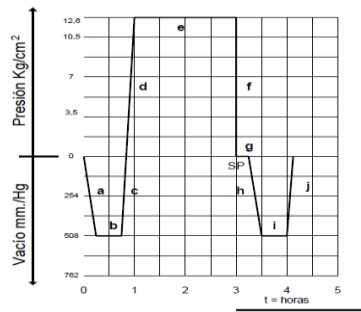
El método de Bethell, es el método en el cual se basa la industria de preservación y el más utilizado hoy día en el Uruguay, también denominado método de “vacío-presión” o “de célula llena” (MVOTMA, 2009).

La madera debe de presentar ciertas características como, contenido de humedad entre 25 – 28 %, libre de corteza y presentar buena terminación, cubicada y pesada.

El proceso es realizado en un autoclave, que luego de cargado con la madera y cerrado, se genera un vacío inicial de 0.60 kg/cm² para la eliminación del aire contenido en el interior de la madera por un tiempo de 15 a 20 minutos, siendo variable en función de la especie utilizada. A continuación, se llena el autoclave con el producto preservante. El siguiente paso es la aplicación de presión, de 8 - 14 kg/cm². La presión se torna constante hasta llegar a la concentración de preservante en la madera deseada, y se mantiene por una hora. Luego el preservante es devuelto a los tanques de almacenamiento y se realiza de 20 a 30 minutos de vacío final de 0.60 kg/cm² a fin de eliminar los posibles excesos de preservante sobre la madera (Vaca de Fuentes, 1998).

A continuación, se presenta un diagrama para tratamiento en autoclave elaborado por Vaca de Fuentes (1998) donde se ilustra mediante una curva las etapas descriptas anteriormente.

Figura 11. Diagrama proceso Bethell.



Referencias:

- a: vacío preliminar;
- b: llenado del autoclave;
- c-d-e: presión de tratamiento;
- f: restablecimiento de la presión atmosférica;
- g-h-i-j: vacío final.

Fuente: Vaca de Fuentes (1998)

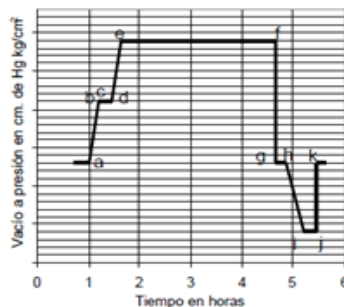
2.4.2. Método de Rueping

El método de Rueping según Tuset y Durán (1979) es utilizado para soluciones oleosolubles y se diferencia del método de Bethell, en que no hace vacío inicial, y aplica presión de aire antes de aplicar el preservante de forma caliente; siendo la presión de 4 – 5 kg/cm². La presión preliminar tiene como objetivo que el producto químico quede aprisionado en la madera. Luego el

autoclave es llenado con el producto preservador y el proceso continúa con un nuevo aumento de la presión permitiendo al producto preservador penetrar en la madera. La presión se torna constante hasta alcanzar la concentración deseada. El preservante es devuelto al tanque de almacenamiento y se realiza un vacío final para eliminar el posible exceso de preservante en la madera (Tuset y Durán, 1979).

A continuación, se presenta un diagrama para tratamiento en autoclave elaborado por Vaca de Fuentes (1998) donde se ilustra mediante una curva las etapas descritas anteriormente.

Figura 12. Diagrama proceso Rueping.



Referencias:

- a-b: presión preliminar de aire;
- c-d: llenado del autoclave;
- d-e-f: presión de tratamiento;
- f-g: restablecimiento de la presión atmosférica;
- g-h-i-j-k: vacío final.

Fuente: Vaca de Fuentes (1998)

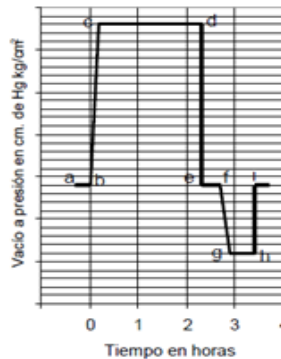
2.4.3. Método de Lowry

El proceso de Lowry según Tuset y Durán (1979) es denominado también “célula vacía”. Una vez introducida la madera en el autoclave, el mismo es llenado con la solución preservadora a presión atmosférica, a diferencia de los métodos anteriores donde existía vacío o presión inicial. Luego se eleva la presión a 10 - 12 kg/cm² siendo constante por un periodo de tiempo estipulado. Una vez alcanzada la concentración deseada, el preservante es retirado del autoclave y se realiza vacío final con el objetivo de recuperar el exceso de producto y secar la superficie de la madera.

A continuación, se presenta un diagrama para tratamiento en autoclave

elaborado por Vaca de Fuentes (1998) donde se ilustra mediante una curva las etapas descritas anteriormente.

Figura 13. Diagrama proceso Lowry.



Referencias:

- a-b: llenado del autoclave con el preservante;
- b-d: presión de tratamiento;
- d-e: restablecimiento de la presión atmosférica;
- e-i: vacío final.

Fuente: Vaca de Fuentes (1998)

2.5. ARSENIATO DE COBRE CROMATADO (CCA)

2.5.1. Breve historia del CCA

En el año 1933 se crea la primera formulación de cromo, cobre y arsénico por Sonti Kamesan un investigador del gobierno indio bajo la forma de sulfato de cobre, dicromato de potasio y pentóxido de arsénico. El producto fue denominado bajo la sigla ASCU, fue el primer y muy utilizado preservante de maderas a gran escala desde el año 1932 hasta el 1942 en poste telefónicos (Connell, 2005).

Durante los 10 años se evaluó su comportamiento, el cual fue tan bueno que en el año 1953 fue reconocido por la Asociación Americana de Protección de Madera (AWPA) como CCA-tipo A, juntamente con Boliden K33 como CCA-tipo B en sus especificaciones. El CCA-tipo A contenía proporciones de cromo altas, medias de cobre y bajas de arsénico; mientras que el CCA-tipo B presentaba proporciones medias de cromo, bajas de cobre y altas de arsénico (Connell, 2005).

Durante los primeros años de la década de 1950, los químicos y biólogos de Hickson Timmer Impergnation (GB) Ltd. realizaron extensas pruebas de laboratorio y evaluaron los resultados del trabajo de Bell Telephone Systems con la consiguiente introducción de un preservante tipo C. Este CCA tipo-C contenía concentraciones de cromo altas, bajas proporciones de cobre y de arsénico medias (Connell, 2005).

El debate principal durante la década de 1960 se centró en el equilibrio óptimo para lograr la mejor fijación del cobre biocida y los componentes de arsénico (Connell, 2005).

Se estima que actualmente en todo el mundo el 90 % de las ventas de CCA es del tipo C (Connell, 2005).

Es de destacar que en sus inicios no eran óxidos que componían la solución de CCA, sino que eran sales quien conformaban al producto adquiriendo un pH mayor pero de igual forma ácido (Pizzi, 1983).

Cada elemento que compone a la solución preservadora presenta una función específica, el cobre actúa como fungicida y bactericida, el arsénico como insecticida y el cromo es un fijador del preservante (Tuset y Durán, 1979).

2.5.2. Proceso de fijación del CCA a la madera

La fijación del preservante a la madera es de suma importancia ya que un mal proceso de impregnación podrá causar lixiviación del preservante al ambiente ante el contacto con agua y rayos ultravioletas (MVOTMA, 2009).

Según Wottitz y Moreno (2011) para evitar que los preservantes lixivien cuando la madera se encuentre en servicio se deben someter a un tratamiento de fijación tal que los preservantes y los componentes de la madera reaccionen para formar productos químicos estables. Es importante que estas reacciones se lleven a cabo lo más completa y rápidamente posible para minimizar los impactos ambientales durante su transporte, almacenamiento y servicio.

El CCA contiene ingredientes activos que son inicialmente solubles en agua, pero se hacen resistentes a la lixiviación como resultado de complejas reacciones químicas entre el producto y la madera. Si la madera tratada se pone en servicio antes de que estas reacciones se completen, la liberación inicial de preservante al ambiente puede ser varias veces superior que la de maderas adecuadamente acondicionadas (MVOTMA, 2009).

Lepage et al. (2017) explican de forma muy clara como el CCA es fijado

a la madera. A continuación, se muestra un resumen (cuadro 1) del proceso de fijación y precipitación de los componentes formados en el proceso, diferenciándose tres zonas de reacción.

Cuadro 1. Principales etapas de fijación y precipitación del CCA.

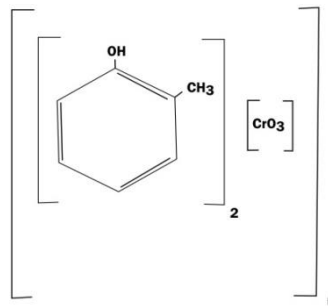
Reacciones iniciales instantáneas	1ª. zona de reacción	2ª. zona de reacción	3ª. zona de reacción
		Adsorción de Cr^{VI} en la celulosa	
Fijación de cobre por intercambio iónico		Reducción del Cr^{VI} a Cr^{III} en la celulosa	
		Formación de CuCrO_4 en complejo con unidades de guaiacil lignina	
		Reducción de Cr^{VI} a Cr^{III} para formar CuAsO_4 CuAsO_4 complejo con guaiacil de la lignina CuAsO_4 precipitación de la celulosa	
Intercambio temporario con salida de protones y adsorción de ácido crómico	Complejos de Cr_2O_7 con unidades de guaiacil de la lignina	Complejos de HCrO_4^- con unidades de guaiacil de la lignina	complejos de CrO_4^{2-} con las unidades de guaiacil de la lignina
		Cu^{2+} complejo con la lignina y la celulosa	

El CCA una vez que reacciona con la madera comienza a descender su pH, la magnitud del descenso depende de la concentración de la solución. Esta caída es atribuida a la fijación del cobre por intercambio iónico con liberación de protones.

Luego de la caída rápida momentánea, el pH aumenta gradualmente a medida que las reacciones de fijación progresan. Ese crecimiento es atribuido a la formación de complejos de lignina-ácido crómico y lignina-cromato de cobre (CuCrO_4), y también a la reducción del cobre.

La mayoría del cobre fijado en la madera se encuentra en la sub capa S1, sugiriendo que el preservante está asociado a la lignina que se encuentra allí. También el cobre está asociado a la celulosa, probablemente ligado a los grupos OH. Pero la mayoría del cobre (80 - 90 %) está asociado a la lignina. El cromo también forma complejos con la madera en su forma trivalente así como también hexavalente. En la forma hexavalente construye complejos con la lignina, probablemente, con las unidades guaiacil. Con cromo trivalente, es sugerida la formación del siguiente complejo polimérico:

Figura 14. Complejo formado por el cromo y la madera.



Fuente: Lepage et al. (2017)

La formación de este complejo confiere la repelencia al agua, siendo uno de los factores que le brindan eficiencia al preservante. Cuando el cromo es reducido a la forma trivalente se forma el complejo arseniato de cobre (CuAsO_4). En la madera tratada cerca del 85 % del arsénico reacciona con el cromo para formar complejos relativamente solubles con la lignina y la celulosa.

2.5.3. Tipos de CCA

Existe más de un tipo de CCA. La diferencia está dada por el porcentaje de óxidos que componen la mezcla. La AWPA estableció en 1996 tres tipos de CCA y los clasificó en A, B y C.

A continuación, se presenta un cuadro donde se aprecia lo mencionado al comienzo, las diferencias de concentración de cada elemento, elaborado por la AWPA.

Cuadro 2. Composición de CCA-A, B y C.

	CCA-tipo A	CCA-tipo B	CCA-tipo C
CrO ₃	65,5 %	35,3 %	47,5 %
CuO	18,1 %	19,6 %	18,5 %
As ₂ O ₅	16,4 %	45,1 %	34,0 %

Fuente: AWPA (2014).

El CCA-tipo A, presenta niveles altos de cromo, medios de cobre y bajos de arsénico.

El CCA-tipo B, presenta niveles medios de cromo, medios de cobre y altos de arsénico.

El CCA-tipo C, presenta niveles altos de cromo, bajos de cobre y medios de arsénico. Según MVOTMA (2009) es el tipo de CCA más utilizado en Uruguay.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos evaluados se encuentran en diferentes zonas del país, uno ubicado en el Norte, en el campo del Consejo de Educación Técnico Profesional (CETP), departamento de Tacuarembó y otro al Sur, en el Vivero Nacional Dr. Alejandro Gallinal perteneciente al Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) situado en Toledo departamento de Canelones.

Las características tanto meteorológicas como edáficas difieren para ambas zonas lo cual marca de antemano la posibilidad del comportamiento diferencial de los ensayos, así como también las características intrínsecas de cada especie mostrarán diferentes estados de deterioro.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS

3.1.1. Campo región Norte

El campo de la región Norte donde se encuentra el ensayo o cementerio de estacas (figura 15) pertenece al CETP. Se encuentra en el departamento de Tacuarembó, ubicado a 5 km de la capital departamental en dirección noreste, en la zona de la gruta de los cuervos, sobre calle Héctor Gutiérrez Ruiz. Sus coordenadas geográficas son latitud 31°40'59.23"S y longitud 55°59'27.20"O.

Figura 15. Ensayo Tacuarembó, CETP; Tacuarembó.



La zona presenta según el INIA. GRAS (s.f.) una temperatura media de 18,3 °C, característica de un clima templado, la precipitación anual 1426,6 mm distribuidos uniformemente en todo el año y una humedad relativa ambiente media de 72 %.

Los suelos predominantes de la zona según la Dirección Nacional de Recursos Naturales del Uruguay (MGAP. RENARE) son Luvisoles y Argisoles ambos son suelos profundos, arenosos, bien drenados, de muy baja fertilidad. El relieve está formado por colinas sedimentarias no rocosas con pendientes entre 6 – 10 %.

Basado en la clasificación de suelos de Durán y García Préchac (2007) las características del suelo donde se encuentra el ensayo, considerándolo como Argisol Ócrico pueden verse en anexo 1.

La vegetación es de praderas estivales, existiendo montes implantados a su alrededor de pinos y eucaliptus. El microclima creado sobre el ensayo se puede ver en la figura anterior (figura 15), donde se percibe mantillo de acículas de pino y hojas de eucalipto, así como también malezas creciendo entre los postes. Sombreado prácticamente a toda hora del día, con escasa luminosidad directa, haciendo que la humedad tanto en suelo como en el ambiente permanezca más tiempo de lo normal en comparación con un campo libre de vegetación arbórea.

3.1.2. Campo región Sur

El campo de la región Sur donde se encuentra el ensayo o cementerio de estacas (figura 16) pertenece al MGAP. Se encuentra en Toledo, departamento de Canelones, precisamente en campos del Vivero Nacional Dr. Alejandro Gallinal, ubicado sobre la ruta nacional número seis. Sus coordenadas geográficas son latitud 34°45'5.93"S y longitud 56° 5'28.74"O.

Figura 16. Ensayo Toledo, MGAP; Canelones



La zona presenta según INIA. GRAS (s.f.) una temperatura media de 16,6 °C, característico de un clima templado, la precipitación anual 1170,5 mm distribuidos uniformemente en todo el año y una humedad relativa ambiente media de 73 %.

Los suelos predominantes de la zona según MGAP. RENARE corresponden a Brunosoles Subéutricos a veces Éutricos, Típicos y Lúvicos de color pardo a pardo oscuro, textura franco limosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados. El relieve es suavemente ondulado, con predominio de pendientes de 1 – 4 %.

Basado en la clasificación de suelos de Durán y García Préchac (2007) las características del suelo donde se encuentra el ensayo, considerándolo como Brunosol Lúvico pueden verse en anexo 2.

La vegetación es de praderas, existiendo alrededor del ensayo bosques con especies nativas (*Acacia caven*) y exóticas como *Eucalyptus*, *Gleditsia triacanthos*, *Laurus nobilis*, *Enterolobium contortisiliquum*. Además, plantas enredaderas, así como también mantillo de hojas cubrían el suelo del ensayo, puede verse en figura anterior (figura 16). Escasa luminosidad directa, incidiendo directamente sobre la humedad en suelo, siendo esta relativamente alta.

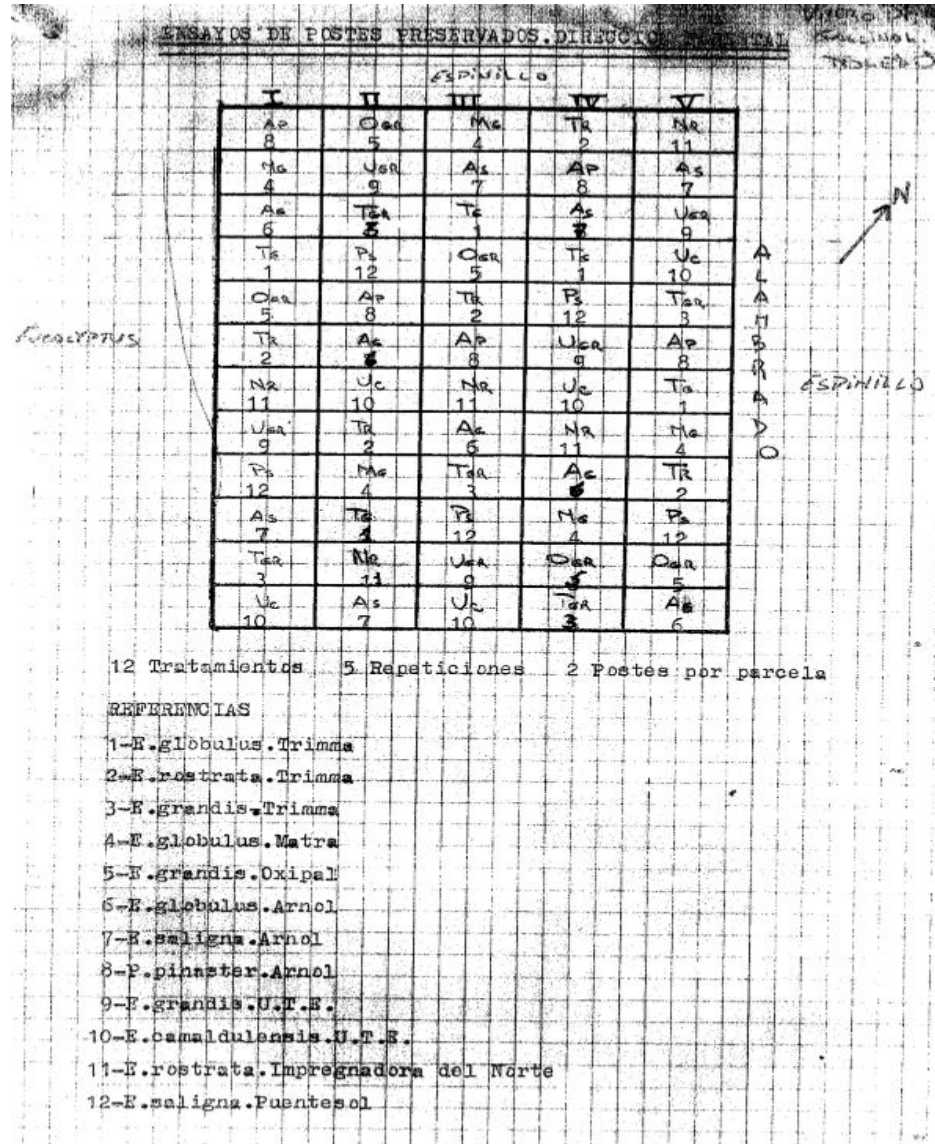
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO O CEMENTERIO DE ESTACAS

Para caracterizar el ensayo se realizó la búsqueda de información en el Vivero Nacional de Toledo, así como también consultas a personas que estuvieron vinculadas a los ensayos (Ing. Agr. Pedro Senizyn, Ing. Quím. Gustavo Baillod, Ing. Agr. Juan José Puppo).

El único registro que se obtuvo fue un documento (figura 17) con información detallada de cada ensayo y un diagrama de estos, con la posición de los postes en el campo. El documento contenía, nombre de la especie maderera utilizada junto a la abreviación de la empresa impregnadora. Llama la atención la falta de uno de los tratamientos en la leyenda del documento (*Pinus pinaster*) y que aparentemente los ensayos no tienen muestras testigo o control sin tratamiento químico.

Los postes que hacen al ensayo son de cinco especies de maderas comerciales impregnados con el preservante CCA por siete empresas uruguayas diferentes.

Figura 17. Documento original del ensayo.



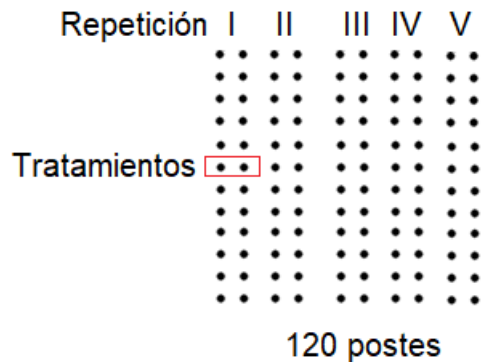
Fuente: Puppo ⁵

El ensayo, diseñado como bloques completamente al azar, está compuesto por dos bloques. Dentro de cada bloque existen doce tratamientos (repetidos dos veces) siendo los tratamientos cada especie con sus respectiva empresa impregnadora y cinco repeticiones. Por lo que cada ensayo

⁵ Puppo, J. 2016. Com. personal

originalmente contenía un total de ciento veinte postes (figura 18).

Figura 18. Ilustración del ensayo.



Las cinco especies de madera ensayadas son, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus rostrata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna* y *Pinus pinaster*.

Importante destacar que *E. camaldulensis* es sinónimo de *E. rostrata* por lo que se tomará como la misma especie, modificando el ensayo a cinco especies.

Las dimensiones de los postes evaluados son un metro de largo, y diámetros en el rango de 14 ± 2 cm.

Todos los postes fueron enterrados cincuenta centímetros bajo tierra, quedando los restantes cincuenta centímetros sobre la superficie. Todos se encontraban a la misma distancia un metro de separación formando un cuadrículado perfecto.

Cada tratamiento fue numerado e identificado con una abreviación que representa la empresa impregnadora y la especie impregnada. A continuación, se muestra un cuadro donde se aprecia cada tratamiento con su correspondiente identificación (abreviación), número de tratamiento, especie y empresa impregnadora.

Cuadro 3. Tratamientos, especies, empresa impregnadora y abreviación.

No. del tratamiento	Especie	Empresa	Abreviación
1	<i>E. globulus</i>	Trimma	1-Tg.
2	<i>E. rostrata</i>	Trimma	2-Tr.
3	<i>E. grandis</i>	Trimma	3-Tgr.
4	<i>E. globulus</i>	Matra	4-Mg.
5	<i>E. grandis</i>	Oxipal	5-Ogr.
6	<i>E. globulus</i>	Arnol	6-Ag.
7	<i>E. saligna</i>	Arnol	7-As.
8	<i>P. pinaster</i>	Arnol	8-Ap.
9	<i>E. grandis</i>	U.T.E	9-Ugr.
10	<i>E. camaldulensis</i>	U.T.E	10-Uc.
11	<i>E. rostrata</i>	Impregnadora del Norte	11-Nr.
12	<i>E. saligna</i>	Puentesol	12-Ps.

3.3. EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE MUESTRA

Debido a que el deterioro y la pudrición son estados completamente distintos en cuanto a sus causas (Hunt y Garrat, 1953), se debió de proceder a la realización de una escala de evaluación específica para los factores bióticos y abióticos, respectivamente, para de esta manera obtener un mejor análisis de la evaluación de los ensayos (cuadros 4 y 5).

La escala tanto biótica como abiótica surge de la fusión y modificación de una norma y un documento de trabajo, la norma AWP A E8-13 American Wood Protection Association Standard (2014), la cual es específica para la especie pino y un documento de trabajo de origen australiano. Este último surge de años de experiencia por parte de investigadores australianos, quienes tomaron los patrones bióticos de deterioro con mayor incidencia y los agruparon en un documento; es específico para el género *Eucalyptus*.⁶

⁶ Norton, J. 2017. Com. personal

Cuadro 4. Escala de evaluación biótica.

Escala	Concepto	Descripción
1	Sano	No hay señal o evidencia de la decadencia, ablandamiento de madera o decoloración causada por el ataque de microorganismos
2	Ataque leve	Evidencia de decadencia. Menos de 20 % del área de sección transversal afectada
3	Ataque moderado	Evidencia de decadencia. Hasta 40 % del área de sección transversal afectada. Duramen muestra desintegración hasta 50 %
4	Ataque severo	Evidencia de decadencia. Más de 40 % del área de sección transversal afectada. Duramen muestra desintegración mayor a 50 %
5	Falla	El poste está ausente o se puede romper con la mano debido a la desintegración

Cuadro 5. Escala de evaluación abiótica.

Escala	Concepto	Descripción
1	Sano	Sin rajaduras o menor al 1 % de superficie y sección transversal
2	Deterioro leve	Con rajaduras hasta 3 % de superficie y sección transversal
3	Deterioro moderado	Con rajaduras hasta 30 % de superficie y sección transversal
4	Deterioro severo	Con rajaduras entre 30 % y 70 % de superficie y sección transversal
5	Falla	Con rajaduras superior al 70 % de superficie y sección transversal o ausencia de poste

Una vez diseñadas ambas escalas de evaluación se concurreó a cada ensayo para evaluar in situ. Se desenterró cada uno de los postes y se devolvieron al sitio en el que estaban.

La evaluación fue realizada por una única persona de manera de disminuir el factor de subjetividad inherente a la evaluación. Cada poste obtuvo dos puntajes, uno por degradación biótica y el otro por degradación abiótica.

Luego de evaluar visualmente el ensayo, se procedió a la obtención de muestras para determinar el contenido residual de preservante al cabo de los

28 años de exposición.

Se extrajo un trozo de madera de la parte superior de cada poste para no comprometer su integridad. Mediante una sierra metálica se extrajo solo albura de cada tratamiento, de una fila del ensayo haciendo un total de veinticuatro muestras a analizar por ensayo. Se analizaron treinta y seis muestras.

Las muestras con un peso aproximado a 100 gramos fueron etiquetadas con su correspondiente abreviación de tratamiento y conservadas en bolsas plásticas.

Figura 19. Obtención de muestra.



La razón por la cual se extrajo solo albura fue porque los preservantes son capaces de impregnar dicha zona del leño y no el duramen, zona del leño más densa de difícil acceso para el preservante. De esta manera los análisis posteriores serían confiables.

3.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO

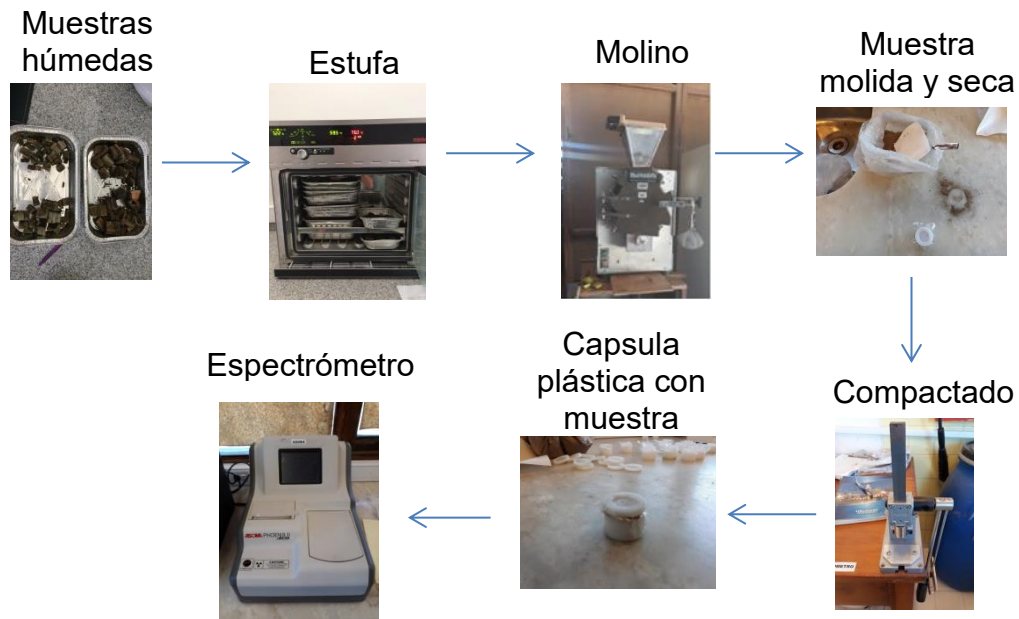
Los análisis de laboratorio fueron realizados en el Centro Universitario de Tacuarembó (CUT), en INIA Tacuarembó y en la Planta impregnadora de madera de Rincón del Bonete, perteneciente a UTE. Con el objetivo de determinar la presencia del preservante CCA.

Se comenzó en laboratorios del CUT, secando las muestras de madera en un horno eléctrico por tres días, a una temperatura constante de 75 °C sobre bandejas de aluminio etiquetadas con la misma nomenclatura de los postes.

Posterior al secado las muestras fueron trituradas previamente con martillo de metal para luego introducirlas en un molino triturador marca Marconi con malla de 32 mesh, en INIA, logrando un polvillo con la granulometría necesaria para poder medir concentración de los componentes del preservante en un espectrómetro marca Asoma Phoenix II en planta industrial de UTE.

La madera molida de cada muestra fue colocado en una cápsula plástica, compactado con un compactador y tapado con papel de filtro y tapa plástica para luego introducirlo en espectrómetro. Luego de 100 segundos se obtenía el resultado en porcentaje de óxido de cada elemento componente del preservante (figura 20).

Figura 20. Diagrama de pasos realizados para obtener resultados.



3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

El modelo utilizado es un modelo lineal generalizado, con funcionarios de enlace "Logit Acumulado" que modela la probabilidad de obtener para cada tratamiento (o sitio) un valor menor o igual a cada valor en una escala ordinal de observaciones visual (McCullagh y Nelder, 1991).

4. RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN DE PRESERVANTE

Para verificar que el preservante usado en todos los postes de los ensayos era CCA, se analizó en el espectrómetro la presencia de sus componentes (Cu, As y Cr).

Cuadro 6. Resultados espectrométricos.

Tratamiento	Tbó. - fila IV – A			Tbó. - fila IV - B			Toledo - fila indefinida		
	Componente %			Componente %			Componente %		
	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅
1-Tg.	1,94	0,27	0,85	2,02	0,31	0,85	0,68	0,14	0,29
2-Tr.	1,14	0,19	0,33	1,62	0,25	0,47	0,57	0,17	0,17
3-Tgr.	1,23	0,54	0,62	1,28	0,51	0,69	1,09	0,24	0,56
4-Mg.	1,42	0,19	0,58	1,42	0,20	0,61	1,08	0,28	0,35
5-Ogr.	2,03	0,28	1,18	2,36	0,29	1,41	0,91	0,21	0,29
6-Ag.	0,92	0,24	0,39	0,94	0,25	0,45	0,59	0,25	0,30
7-As.	0,89	0,15	0,25	1,04	0,14	0,38	1,18	0,25	0,65
8-Ap.	2,30	0,31	0,80	2,08	0,28	0,70	0,50	0,17	0,19
9-Ugr.	2,56	0,24	1,18	1,75	0,22	0,69	0,42	0,16	0,17
10-Uc.	0,67	0,17	0,19	0,94	0,21	0,27	1,68	0,33	0,59
11-Nr.	1,16	0,31	0,39	1,16	0,38	0,42	1,12	0,20	0,51
12-Ps.	1,18	0,15	0,36	1,63	0,16	0,38	0,52	0,21	0,34

1-Tg.: *E. globulus* Trimma; 2-Tr.: *E. rostrata* Trimma; 3-Tgr.: *E. grandis* Trimma; 4-Mg.: *E. globulus* Matra; 5-Ogr.: *E. grandis* Oxipal; 6-Ag.: *E. globulus* Arnol; 7-As.: *E. saligna* Arnol; 8-Ap.: *P. pinaster* Arnol; 9-Ugr.: *E. grandis* U.T.E.; 10-Uc.: *E. camaldulensis* U.T.E.; 11-Nr.: *E. rostrata* Impregnadora del Norte; 12-Ps.: *E. saligna* Puentesol.

Tres divisiones componen el cuerpo de la tabla, Tbó. fila IV - A, Tbó. fila IV - B (representan Tacuarembó) y Toledo – fila indefinida, son los lugares del ensayo donde se extrajeron las muestras para ser analizadas.

En el cuerpo del cuadro se puede apreciar los tres componentes del CCA expresados en porcentaje de óxido para cada tratamiento. Primera columna, expresa abreviación de tratamiento.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE AGENTES DESTRUCTORES BIÓTICOS

La identificación de microorganismos se basó en la clasificación de Ibáñez et al. (2009) quienes identifican cinco grupos de agentes y los clasifican según el tipo de daño que provocan sobre la madera.

Se constató la presencia de dos de los grupos de hongos que pueden generar pérdidas de resistencia o problemas en las maderas según Ibáñez et al. (2009), tanto en Tacuarembó como en Toledo.

La totalidad de los postes presentaba podredumbre blanda en mayor o menor estado de avance, causada por los taxones Ascomycotas y Deuteromycotas, la identificación del taxón no fue realizada. Se constató en albura y duramen de maderas de coníferas y latifoliada.

Figura 21. Postes mostrando grado de ataque por hongos de podredumbre blanda Tacuarembó y Toledo.



Prácticamente la totalidad de los postes presentaban podredumbre marrón en mayor o menor estado de avance, causada por Basidiomycotas, La presencia se constató solamente en duramen de maderas de los eucaliptos, se identificó por su color pardo y resquebrajado parecido a un ladrillo, criterio tomado de Deacon (2006).

Figura 22. Poste atacado por hongos de la podredumbre marrón.



La podredumbre marrón mostro presencia y grado de avance similar en ambos sitios.

Se constató ausencia de hongos de la podredumbre blanca.

No se descarta la presencia de bacterias en ambos sitios ya que la aplicación de preservantes reduce la presencia de hongos y favorece la presencia de bacterias, además existen bacterias que resisten a la presencia del CCA en madera según Ibáñez et al. (2009).

De todas maneras, no fueron identificadas en el trabajo ya que la identificación de agentes se realizó de forma visual imposibilitando confirmar de manera confiable su presencia.

No se constató la presencia de ataque por insectos capaces de degradar la madera.

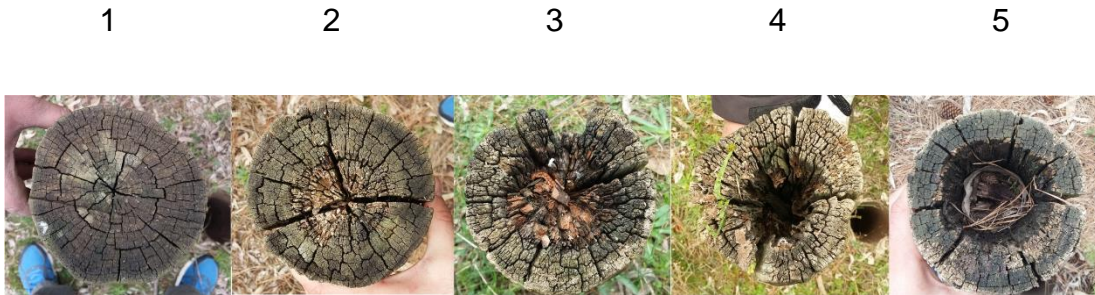
4.3. GRADO DE DETERIORO DE LOS POSTES

Se muestra a continuación los resultados obtenidos de la evaluación biótica y abiótica de los dos ensayos de campo.

Para aplicar el criterio biótico de evaluación, basado en la presencia o

ausencia de microorganismos y el grado de deterioro que se podía observar, fue necesario tomar determinados postes como niveles de referencia de la escala (figura 23)

Figura 23. Criterio de escala biótica.



1-sano; 2-ataque leve; 3-ataque moderado; 4-ataque severo; 5-falla.

Para ser clasificado como “1-sano” (primer poste de la figura), el poste no debía de presentar ningún rastro o presencia de microorganismos a vista. Como “2-ataque leve” la presencia de microorganismos era observable y el grado de deterioro transversal comenzaba a aparecer. Así y para los siguientes números crecientes de la escala, la proporción tanto de microorganismos como deterioro transversal era mayor y cuanto mayor era mayor sería el número atribuido en la escala.

Para aplicar el criterio de evaluación abiótico, basada en porcentaje de rajado tanto en superficie como en porción transversal, también fue necesario tomar determinados postes como niveles de referencia de la escala (figura 24).

Figura 24. Criterio de escala abiótica.

3

4

5



1 sano; 2 deterioro leve; 3 deterioro moderado; 4 deterioro severo; 5 falla.

No existieron postes clasificados como “1 sano” y “2 deterioro leve”, porque el rajado siempre fue considerado igual o mayor a 30 %.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación biótica y abiótica (cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Evaluación biótica y abiótica. Tacuarembó.

Repetición I		Repetición II		Repetición III		Repetición IV		Repetición V											
Pos.A	Pos.B	Pos.A	Pos.B	Pos.A	Pos.B	Pos.A	Pos.B	Pos.A	Pos.B										
B	A	B	A	B	A	B	A	B	A										
2	4	2	4	3	4	5	5	3	4	4	4	4	4	4	4	1	4	1	4
3	4	3	4	3	4	1	4	5	5	2	5	1	4	2	4	5	5	5	5
2	4	3	4	3	4	2	4	2	4	3	4	2	4	2	4	1	4	5	5
5	5	5	5	2	4	2	4	3	4	2	4	3	4	3	4	1	4	5	5
1	3	1	4	2	4	5	5	3	4	2	4	1	4	1	4	2	4	2	5
2	3	2	4	1	4	5	5	1	4	1	4	4	4	3	4	5	5	2	5
5	5	2	4	2	4	2	4	1	4	5	5	5	5	1	4	5	5	1	4
5	4	3	4	2	4	2	4	3	4	2	4	2	4	3	4	2	4	2	4
2	4	2	4	2	4	3	4	2	4	1	4	1	4	2	4	2	4	2	4
5	5	5	5	2	4	1	4	3	4	3	4	2	4	2	4	5	5	2	4
2	3	2	4	5	5	5	5	1	4	1	4	2	4	2	4	2	4	5	5
1	5	1	4	2	4	2	4	1	4	2	4	5	4	3	4	5	5	5	5

Referencias: Pos. significa poste. Escala biótica (B): 1 sano; 2 ataque leve; 3 ataque moderado; 4 ataque severo; 5 falla. Escala abiótica (A): 1 sano; 2 deterioro leve; 3 deterioro moderado; 4 deterioro severo; 5 falla.

Cuadro 8. Evaluación biótica y abiótica. Toledo.

Repetición I				Repetición II				Repetición III				Repetición IV				Repetición V			
Pos.A		Pos.B		Pos.A		Pos.B		Pos.A		Pos.B		Pos.A		Pos.B		Pos.A		Pos.B	
B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	2	4	4	4	3	4	5	5	5	5
3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	2	4	2	4	2	4	5	5	5	5
4	4	5	5	3	4	3	4	4	4	5	5	2	4	2	4	3	4	4	4
2	4	4	4	3	4	3	4	3	4	5	5	2	4	2	4	3	4	3	4
4	4	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4
4	4	4	4	5	5	5	5	3	4	5	5	4	4	4	4	3	4	5	5
4	4	5	5	2	4	2	4	2	4	2	4	4	4	4	4	3	4	3	4
4	4	4	4	3	4	5	5	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	5	5
3	4	3	4	3	4	5	5	3	4	5	5	4	4	4	4	2	5	2	5
4	4	3	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4
2	4	2	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	4	5	5	3	5	5	4
2	4	2	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	4	5	5

Referencias: Pos. significa poste. Escala biótica (B): 1 sano; 2 ataque leve; 3 ataque moderado; 4 ataque severo; 5 falla. Escala abiótica (A): 1 sano; 2 deterioro leve; 3 deterioro moderado; 4 deterioro severo; 5 falla.

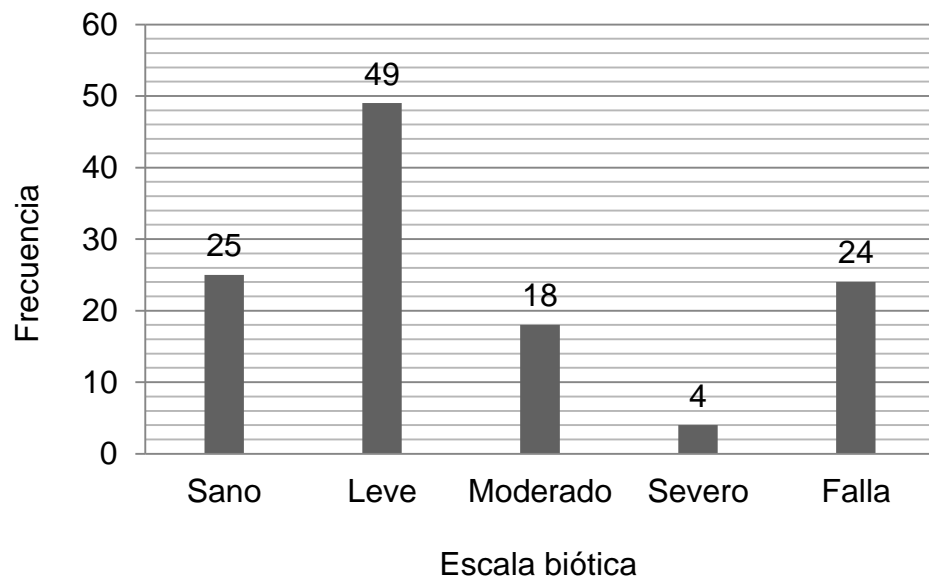
4.4. IDENTIFICACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO, ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.4.1. Ensayo Tacuarembó

4.4.1.1. Resultados bióticos

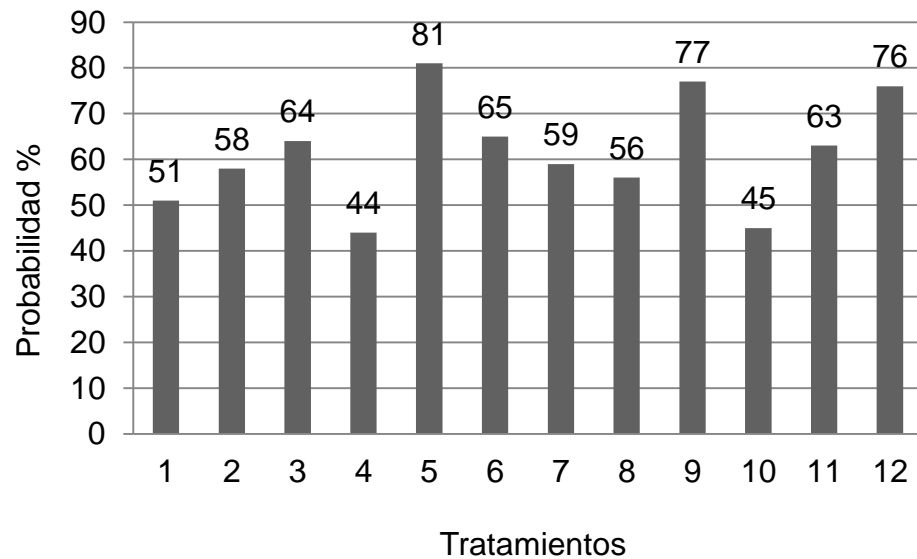
El perfil de respuesta biótica que presenta Tacuarembó (gráfico 1), muestra que de las 120 probetas evaluadas más de la mitad están sanas (25) o tienen daño leve (49, anexo 3).

Gráfico 1. Perfil de respuesta biótica Tacuarembó.



Dentro de los tratamientos, se destacan tres significativos (gráfico 2), para un $P \leq 0,05$, al final de los 28 años de exposición. El tratamiento 5-Org. es el de mejor resultado, se estimó una probabilidad de 81,4 % de probetas sanas o levemente dañadas (escala de evaluación menor o igual a 2), seguido del tratamiento 9-Ugr. con una probabilidad de 77 % y finalmente el tratamiento 12-Ps. con una probabilidad de 76 % (anexo 5).

Gráfico 2. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Tacuarembó.



$P \leq 0,05$

Tratamientos: 1-Tg.; 2-Tr.; 3-Tgr.; 4-Mg.; 5-Ogr.; 6-Ag.; 7-As.; 8-Ap.; 9-Ugr.; 10-Uc.; 11-Nr.; 12-Ps.

Prácticamente todos los tratamientos presentan probabilidad mayor al 50 % de obtener probetas sanas a levemente dañadas, excepto 4-Mg. y 10-Uc., pero esto no significa que sean significativos. Para serlo hay que considerar el valor $Pr > t$ (cuadro 9).

Si $Pr > t$ muestra un valor inferior o igual a 0,05 se considera al tratamiento como significativo.

Cuadro 9. Estimación de significancia del tratamiento.

Escala	Estim.	Error estándar	G de L	t Valor	Pr > t	Media	Error medio estándar
P($y \leq 2$) 5-Ogr.	14,801	0,6190	105	0,39	0,0093	0,8146	0,09349
P($y \leq 2$) 9-Ugr.	12,173	0,5526	105	0,20	0,0149	0,7716	0,09739
P($y \leq 2$) 12-Ps.	11,959	0,6457	105	0,85	0,0334	0,7678	0,1151

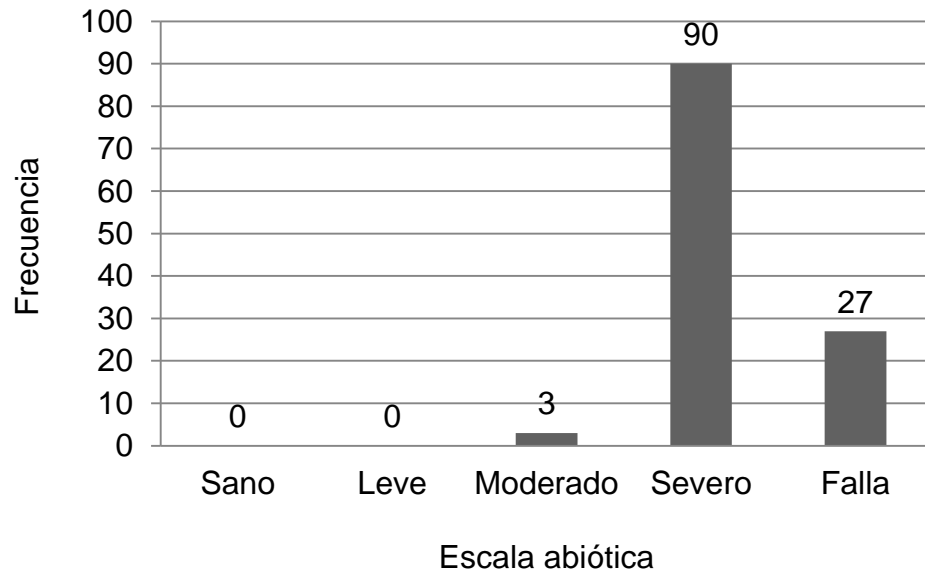
El cuadro 9 es un resumen de la estimación de los 12 tratamientos

(anexo 5). La columna “escala” muestra la chance de que un tratamiento obtenga un valor en la escala biótica menor o igual a dos (sana o levemente dañada). Se presentan solamente los tratamientos que presentaron significancia.

4.4.1.2 Resultados abióticos

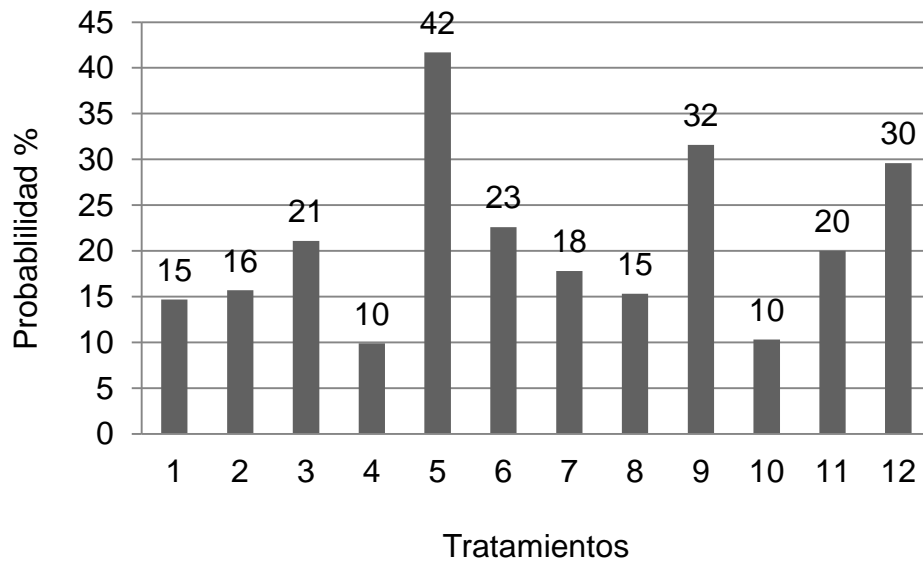
El perfil de respuesta abiótica que presenta Tacuarembó (gráfico 3), muestra que de las 120 probetas evaluadas más de la mitad están con daño severo (90, anexo 6).

Gráfico 3. Perfil de respuesta abiótica Tacuarembó.



No hay diferencias significativas en el comportamiento de cada tratamiento. Se puede decir que su comportamiento es análogo (anexo 8).

Gráfico 4. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente deterioradas. Escala abiótica Tacuarembó.



$P \leq 0,05$

Tratamientos: 1-Tg.; 2-Tr.; 3-Tgr.; 4-Mg.; 5-Ogr.; 6-Ag.; 7-As.; 8-Ap.; 9-Ugr.; 10-Uc.; 11-Nr.; 12-Ps.

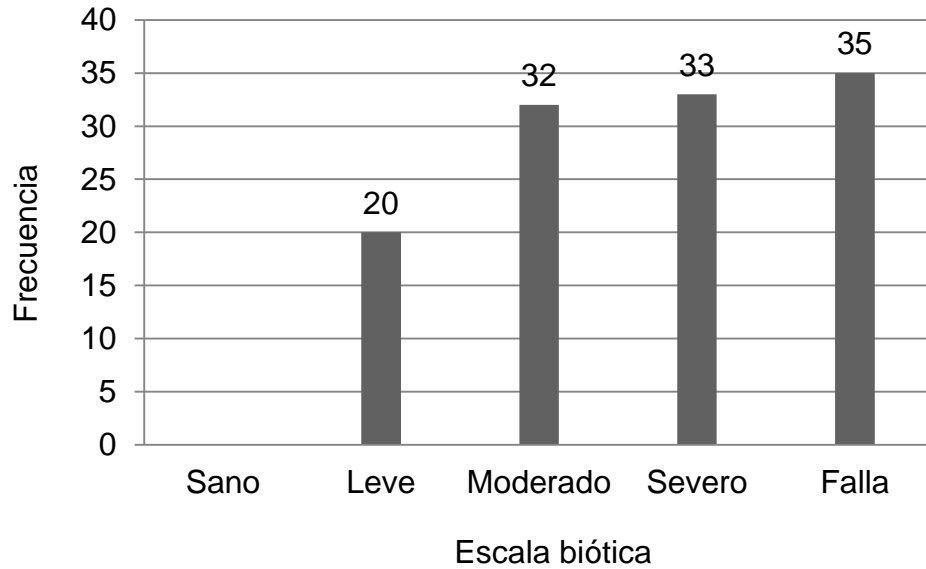
No se destaca ninguno de los tratamientos (gráfico 4) con probabilidad superior al 50 % de obtener probetas sanas a levemente deterioradas (anexo 8).

4.4.2. Ensayo Toledo

4.4.2.1. Resultados bióticos

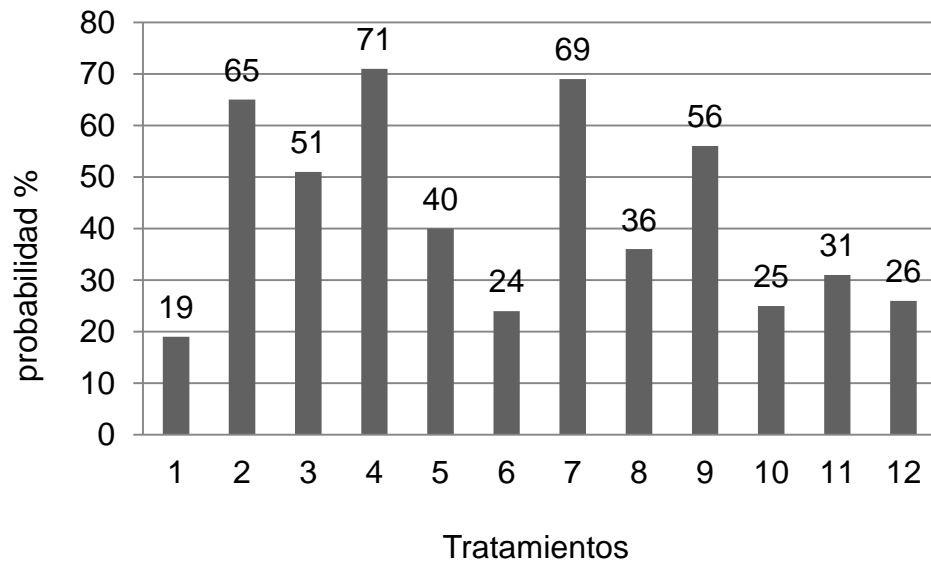
El perfil de respuesta biótica que presenta Toledo (gráfico 5), muestra que de las 120 probetas evaluadas la distribución es prácticamente homogénea para ataque moderado (32), severo (33) y falla (35, anexo 9).

Gráfico 5. Perfil de respuesta biótica Toledo.



Dentro de los tratamientos, se destaca solamente uno como significativo (gráfico 6) para un $P \leq 0,05$, al final de los 28 años de exposición. El tratamiento 4-Mg. es el mejor resultado y se estimó una probabilidad de 71 % de probetas sanas o levemente dañadas (escala de evaluación menor o igual a 2, anexo 9).

Gráfico 6. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Toledo.



$P \leq 0,05$

Tratamientos: 1-Tg.; 2-Tr.; 3-Tgr.; 4-Mg.; 5-Ogr.; 6-Ag.; 7-As.; 8-Ap.; 9-Ugr.; 10-Uc.; 11-Nr.; 12-Ps.

Dentro de los tratamientos se obtuvieron 5 resultados que superan el 50% de probabilidad de obtener probetas sanas a levemente dañadas, 2-Tr., 3-Tgr., 4-Mg., 7-As. y 9-Ugr. Pero solamente 4-Mg. es considerado significativo por su $Pr > t$ menor o igual a 0,05 (cuadro 10).

Cuadro 10. Estimación de significancia de tratamiento.

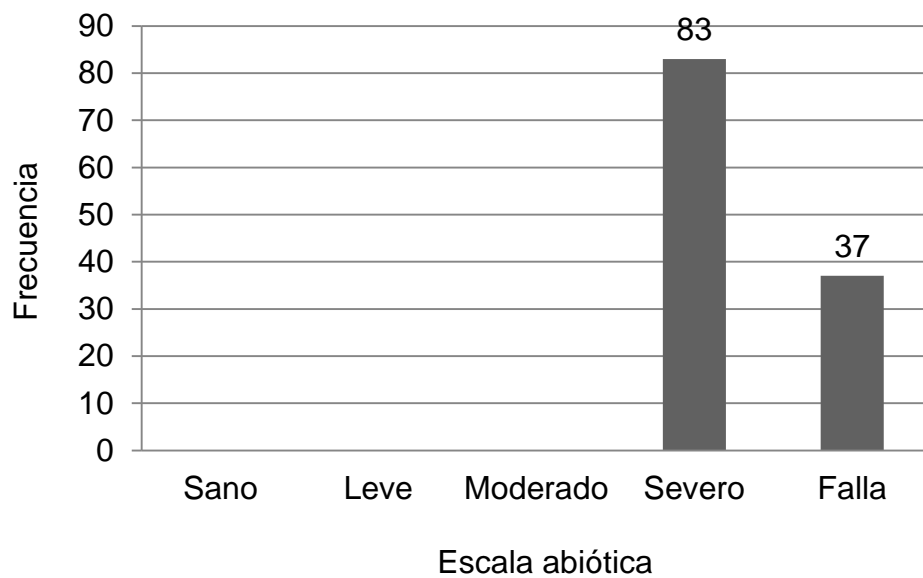
Escala	Estim.	Error estándar	DF	t Valor	Pr > t	Media	Error medio estándar
P ($y \leq 2$) 4-Mg.	0,9372	0,5745	106	1,63	0,0529	0,7185	0,1162

La aproximación F a la hipótesis de igualdad de efectos resulto significativa para $P = 0,08 < 0,10$, indicando mayores diferencias que las observadas en Tacuarembó.

4.4.2.2 Resultados abióticos

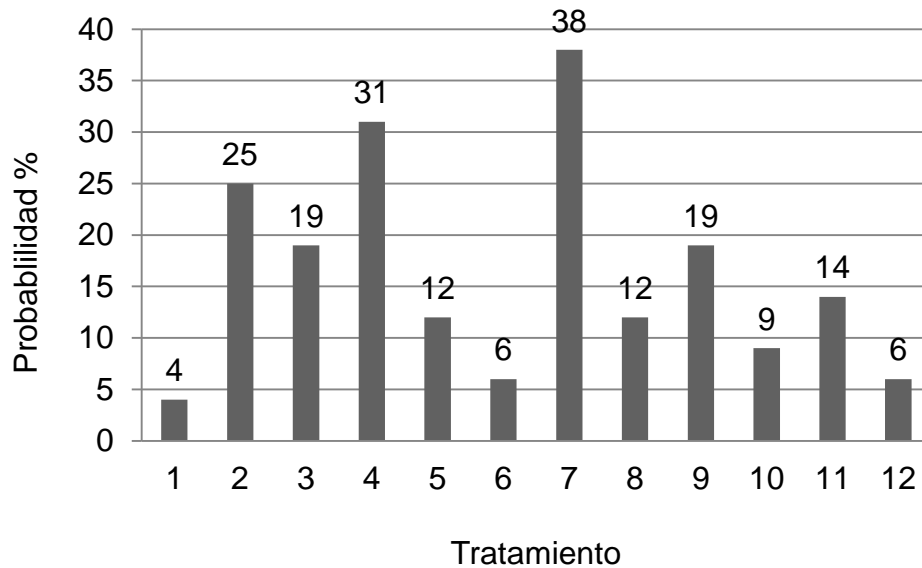
El perfil de respuesta abiótica que presenta Toledo (gráfico 7), muestra las 120 probetas evaluadas se distribuyen en ataque severo (83) o falla (37) (anexo 12).

Gráfico 7. Perfil de respuesta abiótica Toledo.



No hay diferencias significativas en el comportamiento de cada tratamiento. Se puede decir que su comportamiento es análogo.

Gráfico 8. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente deteriorada. Escala abiótica Toledo.



$P \leq 0,05$

Tratamientos: 1-Tg.; 2-Tr.; 3-Tgr.; 4-Mg.; 5-Ogr.; 6-Ag.; 7-As.; 8-Ap.; 9-Ugr.; 10-Uc.; 11-Nr.; 12-Ps.

No se destaca ningún tratamiento con probabilidad superior al 50 % de obtener probetas sanas a levemente deterioradas (gráfico 8, anexo 12).

4.4.3. Resultados biótico y abiótico Tacuarembó - Toledo

Cuando comparamos los mismos tratamientos pero en diferente sitio (Tacuarembó y Toledo) se obtienen seis tratamientos con probabilidad de chances de éxito y siempre es el sitio Tacuarembó el de mayores chances.

Los tratamientos son, tac.1, tac.5, tac.6, tac.9, tac.11 y tac.12 con probabilidad de chance de éxito 51,3, 107,6, 42,9, 31,7 y 130,4 respectivamente.

El resto de los tratamientos no presentan diferencias significativas como para considerarlos con probabilidad de chances de obtener éxito en un sitio o en otro, sino que les es indiferente el sitio.

Cuadro 11. Comparación de tratamiento sitio vs. tratamiento sitio.

Lugar Tacuarembó	Lugar Toledo	Estim.	DF	95% Limite confianza	
tac.1	tol.1	9,220	213	1,655	51,352
tac.2	tol.2	2,179	213	0,379	12,540
tac.3	tol.3	4,705	213	0,963	22,985
tac.4	tol.4	0,927	213	0,184	4,666
tac.5	tol.5	20,495	213	3,902	107,646
tac.6	tol.6	11,497	213	2,043	64,700
tac.7	tol.7	1,773	213	0,284	11,060
tac.8	tol.8	4,283	213	0,944	19,434
tac.9	tol.9	9,147	213	1,948	42,943
tac.10	tol.10	2,928	213	0,591	14,518
tac.11	tol.11	5,642	213	1,002	31,769
tac.12	tol.12	20,516	213	3,226	130,472

5. DISCUSIÓN

5.1. PRESERVANTE CCA-TIPO C

Los resultados del espectrómetro arrojaron información contundente, donde se pudo constatar la presencia del preservante CCA del tipo C. Los altos niveles de cromo (CrO_3) los bajos niveles de cobre (CuO) y el nivel medio de arsénico (As_2O_5) aseguran la presencia y la utilización de un único preservante, CCA-tipo C según la clasificación de la norma AWPA (2014).

Se descarta la posibilidad de utilización de cualquier otro preservante por completo, incluso de otro tipo de CCA.

5.2. AGENTES DESTRUCTORES

Debido a las condiciones de los sitios, era de esperar presencia de microorganismos destructores como hongos. Sobre todo los de podredumbre blanda debido a que los suelos de ambos sitios presentan niveles de humedad altos por periodos de tiempo relativamente largos.

La podredumbre blanda fue identificada por mostrar aspecto de esponjosidad y por ser blanda al tacto, criterio tomado de González (2012). Se constató tanto en superficie como en el interior de la madera.

Se confirma lo mencionado por Dickinson et al. (1992) que la acción de los hongos de pudrición blanda es acompañada por la pudrición marrón.

La podredumbre marrón a diferencia de la blanda, fue identificada solamente en superficie y solo en duramen de los postes. Un fino polvo de color rojizo y un resquebrajado parecido a un ladrillo fue el criterio de identificación (Deacon 2006, Ibáñez et al. 2009).

5.3. DETERIORO DE LOS POSTES

El grado de deterioro de los postes fue superior en Toledo. Esto puede verse explicado en parte, por la mayor actividad biológica que presenta, asociada a un mayor contenido de materia orgánica en suelo.

También el mayor contenido de arcilla, lleva a una mayor retención de agua, generando un alta humedad en suelo y repercutiendo directamente sobre la actividad microbiológica, medio ideal para el desarrollo de hongos de la podredumbre blanda según Deacon (2006).

Por lo tanto se confirma lo establecido por FAO (s.f.) que asegura que a medida que aumentan los nutrientes del suelo (particularmente el nitrógeno) y el contenido de arcilla el grado de deterioro es mayor en este tipo de suelos en comparación con suelos arenosos, siendo arenosos los suelos de Tacuarembó.

En cuanto al clima y cómo pudo afectar en los postes no se mostraron claros los resultados si bien INIA. GRAS (s.f.) muestra que Tacuarembó presenta mayores precipitaciones acumuladas anuales y mayor temperatura media, los valores obtenidos en la escala abiótica no revelaron mayor deterioro en comparación a Toledo y no se muestra una diferencia significativa en el análisis estadístico.

Por lo tanto la combinación de factores bióticos y abióticos llevó a que Toledo presentará valores en la escala de evaluación superiores a Tacuarembó lo que significa mayor grado de deterioro de sus postes.

5.4. EL MEJOR TRATAMIENTO

No se llegó a un único tratamiento ideal para ambos sitios, por lo que fue necesario identificar cual fue el mejor tratamiento por sitio.

Para Tacuarembó se obtuvo como mejor tratamiento a *E. grandis* – Oxipla (5-Ogr.). También se pudo constatar dos tratamientos más que pueden ser eficaces, *E. grandis* – UTE (9-Ugr.) y *E. saligna* – Puentesol (12-Ps.).

Para Toledo se obtuvo un único tratamiento como el mejor, *E. globulus* – Matra (4-Mg.).

6. CONCLUSIONES

El preservante utilizado para preservar la madera en el ensayo fue el CCA tipo-C, se mostró más efectivo contra insectos que contra microorganismos y dentro de los microorganismos podemos decir que es efectivo contra podredumbre blanca pero no contra podredumbre blanda y marrón tras 28 años de exposición.

El sitio Tacuarembó muestra postes en mejor estado de integridad que Toledo, posiblemente por las características del sitio y principalmente por el tipo de suelo repercutiendo directamente en la actividad biológica (menor).

No hay un único mejor tratamiento, por lo que no hay una mejor empresa impregnadora y tampoco una mejor especie para impregnar. Dependerá el sitio en el cual se utilizará la madera tratada por CCA para definir la especie y empresa a seleccionar.

El mejor tratamiento para el sitio Tacuarembó es E.grandis Oxipal (5-Ogr.), comprendido este tratamiento por la especie *Eucalyptus grandis* y la empresa Oxipal, mientras que para el sitio Toledo es E. globulu – Matra (4-Mg.), comprendido por la especie *Eucalyptus globulus* y la empresa Matra.

7. RESUMEN

El trabajo consistió en la evaluación de un ensayo de campo constituido por postes de maderas de varias especies de eucalipto y una especie de pino tratadas con arseniato de cobre cromatado (CCA) tras 28 años de exposición. Compuesto por 12 tratamientos (empresa-especie), dos repeticiones, cada una con 120 postes, hacen un total de 240 postes evaluados. Las repeticiones se encuentran, una en la cercanía de la ciudad de Tacuarembó (Norte) y otra en Toledo (Sur) localidad de Canelones. Para la evaluación se realizó una escala tras fusionar y modificar la norma AWPA E8 – 13 y un documento de origen australiano. Los objetivos planteados para el trabajo fueron, evaluar el grado de deterioro de los postes mediante la utilización de la escala propuesta; identificar posibles agentes destructores como hongos e insectos y poder asociar las posibles diferencias de deterioro de los postes de madera a la planta impregnadora que realizó el proceso de impregnación y las condiciones naturales del sitio donde se encontraba cada repetición. Como resultado se obtuvo que los investigadores utilizaran un único preservante y fue el CCA-tipo-C el cual es efectivo contra insectos y hongo de la podredumbre blanca, siendo ineficaz contra los hongos de la podredumbre blanda y marrón. También se obtuvo el resultado de que no existe un único tratamiento capaz de comportarse eficaz en ambos sitios. Para poder recomendar la utilización de un tratamiento es necesario conocer el sitio en el cual se va a utilizar la madera.

Palabras clave: Preservante de maderas; CCA; *Eucalyptus*; Cementerio de estacas; Protección de maderas.

8. SUMMARY

This work consisted of evaluating a field trial that involved wooden poles of several eucalyptus species and one species of pine treated with "Chromated copper arsenate" (CCA) after 28 years of exposure. It consisted of 12 treatments (company-species), two repetitions, each with 120 posts which makes 240 posts assessed. These are found, one in the vicinity of Tacuarembó city (North) and the other one in Toledo (South), Canelones department. For the evaluation, a scale was made after merging and altering the AWPA E8 - 13 regulation and a document of Australian origin. The aim of this project was to evaluate the posts deterioration stages by using the proposed scale; identify potential destructive agents such as fungi and insects; and to be able to associate the possible differences of deterioration in the wooden poles to the impregnation company that carried out the impregnation process and afford normal conditions to each of the trials. As a result, it was obtained that the researchers were using a single preservative, the CCA, more specifically the type C one, which is the only one effective against insects and fungi of white rot, being ineffective against the fungi of soft and brown rot. On the other hand, we also concluded that there is no single treatment able to behave effectively in both places. To be able to recommend the use of a specific treatment it is fundamental to know the place in which the wood is going to be used.

Keywords: Preservative of woods; CCA; Eucalyptus; Stake cemetery; Protection of woods.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Anthony, R. W. ; Lebow, S. T. 2015. Wood preservatives and pressure-treated Wood; considerations for Historic-preservation Projects. (en línea). Practice Points. no. 14: 1-9. Consultado 17 abr. 2017. Disponible en https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2015/fpl_2015_anthony001.pdf
2. Barreiro, S.; Hirsch, T. 2011. Protección de la madera. Tesina Arq. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. 60 p.
3. Blanchette, R. A. 1984. Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. (en línea). Applied and Environmental Microbiology. 48 (3): 647-653. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC241580/?page=1>
4. Brischke, C.; Meyer, L.; Olberding, S. 2014. Durability of wood exposed in ground - Comparative field trials with different soil substrates. International Biodeterioration and Biodegradation. 86: 108-114.
5. Connell, M. 2005. Industrial wood preservatives: the history development, use, ventajas, and future trends. (en línea). In: Thompson, R. ed. The chemistry of wood preservation. reprint ed. Abington, Cambridge, UK, Woodhead Publishing. pp. 16-33. Consultado 27 feb. 2018. Disponible en https://books.google.com.uy/books?id=wKkAgAAQBAJ&pg=PA19&lpg=PA19&dq=kamesan+CCA&source=bl&ots=VBPnCUTCUy&sig=t_0sC2TBONLsGxz0_Pc6TItAPDE&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiq6Lmop8bZAhVRhuAKHfwnDTQQ6AEILjAB#v=onepage&q=connell&f=false
6. Deacon, J. W. 2006. Fungal biology. (en línea). Malden, USA, Blackwell. 380 p. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en http://fmedicine.ajums.ac.ir/fmedicine/documents/Fungal%20Biology_20140517_172134.pdf
7. Dickinson, D.; McCormack, P.; Claver, B. 1992. Incidence of soft rot in creosoted poles. In: The International Research Group on Wood Preservation Annual Meeting (23rd., 1992, Harrogate, UK). Papers. Stockholm, Sweden, IRG. p. irr. (IRG/WP no. 1554).

8. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemsferio Sur. v.2, 358 p.
9. Eaton, R. A.; Hale M. D. 1993. Wood; decay, pests and protection. London, Chapman and Hall. 546 p.
10. Esteves, W. L.; Dufau, B.; Missio, A. L. 2012. Field testing of CCA-treated Brazilian spotted gum. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 74:124 -128.
11. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. Roma. 28 p.
12. González, G. 2012. Patologías bióticas de la madera de los bosques templados de Chile, a la selva atlántica de misiones. Tesina Arq. Concepción, Chile. Universidad de Bio Bio-Concepción-Chile. 54 p.
13. Greaves, H. 1971. The bacterial factor in wood decay. *Wood Science and Technology*. 5: 6-16.
14. Hartford, W. 1973. Chemical and physical properties of wood preservatives and wood preservatives systems. *In*: Nicholas, D. ed. *Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments*. Syracuse, NY, Syracuse University. v.2, pp. 247-276
15. Huiricán, V. A. 2008. Retención y penetración de sales CCA en rolletes de raleo de *Pinus radiata* D.DON. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 56 p.
16. Hunt, G. M.; Garratt, G. A. 1953. Wood preservation. 2nd. ed. New York. McGraw-ill. 417 p.
17. Ibáñez, C. M.; Mantero, C.; Bianchi, M.; Kartal, N. 2009. Madera, biodeterioro y preservante. Montevideo, Hemisferio Sur. 134 p.
18. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY). s.f. Información agroclimática. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 19 set. 2016. Disponible en http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/index.html

19. Juacida, R. 1991. Algunos factores que influyen en la permeabilidad de las maderas. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 18 p. (Publicación Docente no.3).
20. Lepage, E.; de Salis, A. G.; Rebechi Guedes, E. C. 2017. Tecnologia de protecao da madeira. Sao Paulo, Montana Química. 252 p.
21. McCullagh, P.; Nelder, J. 1989. Generalized Linear Model. 2nd. ed. London, Chapman and Hall. 511 p.
22. MVOTMA (Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, UY). 2009. Guía de buenas prácticas en impregnación de madera. Montevideo. t. 2, 57 p.
23. Pizzi, A. 1983. A new approach to the formulation and application of CCA preservatives. Wood Science and Technology 17: 303-319.
24. Schultz, T., Nicholas, D. 2008. Introduction to Developing Wood Preservative: systems and Molds in Homes. (en línea). In: Schultz, T. P.; Militz, H.; Freeman, M. H.; Goodell, B.; Nicholas, D. D. eds. Development of Commercial wood Preservatives. Washington, D. C., American Chemical Society. Division of Cellulose and Renewable Materials. pp. 2-8 (ACS Symposium Series vol. 982). Consultado 20 abr. 2017. Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/bk-2008-0982.ch001>
25. Tuset, R.; Durán, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización; aserrado, secado, preservación, descortezado, partículas. Montevideo, Hemisferio Sur. 687 p.
26. Vaca de Fuentes, R. V. 1998. Técnicas para la preservación de maderas. Santa Cruz, Bolivia, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. 59 p.
27. Vignote, S.; Martinez, I.; Villasante, A. 2013. La silvicultura y calidad de la madera (en línea). Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. pp. 12-13. Consultado 12 jun. 2017. Disponible en [http://www.montes.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Montes/La%20Escuela/Actos Institucionales/Lecciones/Ficheros_Est%C3%A1ticos/LECCI%C3%93N%20IN AUGURAL%202013-S.VIGNOTE.pdf](http://www.montes.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Montes/La%20Escuela/Actos%20Institucionales/Lecciones/Ficheros_Est%C3%A1ticos/LECCI%C3%93N%20IN%20AUGURAL%202013-S.VIGNOTE.pdf)
28. Wottitz, C.; Moreno, G. 2011. Fijación química del preservante CCA-C en la madera de Pinus elliottii. Parte 1; influencia de la temperatura y de la

humedad relativa. (en línea). Maderas Ciencia y Tecnología. 13(1): 85-103. Consultado 13 jun. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000100008>

10. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de caracterización de perfil de Argisol Ócrico.

U. de mapeo	Hor.	Esp. cm	Ar. 2-0,05	Lim. 50-2	Ar. <2µm	CIC/ar.	pH (H ₂ O)	C.o. %	Fe lib. %	cmol kg ⁻¹					CIC pH 7,0
										Ca	Mg	K	Na	Al	
Material generador															
Algorta	A1	0-42	79,6	11,2	9,2	0,94	5,4	1,02	nd	5,1	1,1	0	1		8,7
	A2	42-55	78,9	11,3	9,8	0,58	5,4	0,54	nd	2,9	0,7	0	0		5,7
	Bt1	55-76	56,4	8,8	34,8	0,57	5,2	0,7	nd	10	3,3	0	0		20
Arenisca cretácica	Bt2	76-100	56,2	9,1	34,7	0,52	5,4	0,6	nd	9,8	3,8	0	0		18
	BC	102+	60,7	10,4	28,9	0,59	5,8	0,21	nd	9,8	3,1	0	1		17,1

Referencias: Unidad de mapeo; horizonte; espesor (cm); arena 2 – 0.05; limo 50 – 2; arcilla menor $<2\mu\text{m}$; capacidad de intercambio catiónico / arcilla; pH (H_2O); Carbono orgánico %; hierro libre %; calcio; magnesio; potasio; sodio; aluminio; capacidad de intercambio catiónico pH 7,0.

Anexo 2. Análisis de caracterización de perfil de Brunosol Lúvico.

U. de mapeo	Hor.	Esp. cm	Ar. 2-0,05	Lim. 50-2	Ar. <2µm	CIC/ar.	pH (H ₂ O)	C.o. %	Fe lib. %	Ca	Mg	K	Na	Al	CIC pH7,0
Material generador															
cmol kg ⁻¹															
Paso Palmar	A1	0-24	77,1	4,7	18,2	0,95	5,6	2,42	nd	11	2,8	0	0		17,3
Formación	A2	24-46	60,4	12	27,6	0,87	5,9	2,02	nd	16	5,1	0	0		24,1
Guichón	Bt	46-56	40,4	9,3	50,3	0,77	5,6	0,89	nd	25	7,1	0	0		38,8
	BC	56-69	57,1	8,9	34	0,95	0	0,53	nd	22	7,3	0	0		32,3
	C	69-81	78,6	6	15,4	1,41	6,8	0,19	nd	16	4,7	0	0		21,7

Referencias: Unidad de mapeo; horizonte; espesor (cm); arena 2 – 0.05; limo 50 – 2; arcilla menor <2µm; capacidad de intercambio catiónico / arcilla; pH (H₂O); Carbono orgánico %; hierro libre %; calcio; magnesio; potasio; sodio; aluminio; capacidad de intercambio catiónico pH 7,0.

Anexo 3. Perfil de respuesta biótica Tacuarembó.

Response Profile		
Ordered Value	biotn	Total Frequency
1	1	25
2	2	49
3	3	18
4	4	4
5	5	24
The GLIMMIX procedure is modeling the probabilities of levels of biotn having lower Ordered Values in the Response Profile table.		

Anexo 4. Comparación de tratamiento vs. tratamiento. Biótica Tacuarembó.

Odds Ratio Estimates					
Trat.	Trat.	Estimate	DF	95% Confidence Limits	
1	2	0.767	105	0.147	4.012
1	3	0.590	105	0.127	2.737
1	4	1.328	105	0.281	6.289
1	5	0.242	105	0.047	1.242
1	6	0.562	105	0.109	2.899
1	7	0.726	105	0.130	4.057
1	8	0.820	105	0.183	3.673
1	9	0.315	105	0.067	1.473
1	10	1.296	105	0.277	6.060
1	11	0.620	105	0.121	3.170
1	12	0.322	105	0.060	1.717

2	3	0.769	105	0.150	3.956
2	4	1.731	105	0.328	9.144
2	5	0.315	105	0.056	1.773
2	6	0.733	105	0.129	4.167
2	7	0.946	105	0.154	5.807
2	8	1.069	105	0.214	5.336
2	9	0.410	105	0.080	2.116
2	10	1.689	105	0.324	8.806
2	11	0.808	105	0.143	4.550
2	12	0.419	105	0.072	2.449
3	4	2.251	105	0.481	10.535
3	5	0.410	105	0.083	2.033
3	6	0.952	105	0.189	4.809
3	7	1.230	105	0.224	6.741
3	8	1.390	105	0.317	6.092
3	9	0.533	105	0.118	2.410
3	10	2.196	105	0.477	10.120
3	11	1.050	105	0.211	5.239
3	12	0.545	105	0.105	2.821
4	5	0.182	105	0.035	0.944
4	6	0.423	105	0.081	2.204
4	7	0.546	105	0.097	3.083
4	8	0.617	105	0.137	2.790
4	9	0.237	105	0.050	1.119
4	10	0.976	105	0.207	4.608
4	11	0.467	105	0.090	2.408
4	12	0.242	105	0.045	1.304
5	6	2.322	105	0.423	12.754
5	7	2.999	105	0.505	17.807
5	8	3.389	105	0.699	16.421
5	9	1.301	105	0.266	6.366
5	10	5.355	105	1.051	27.293
5	11	2.561	105	0.472	13.880
5	12	1.329	105	0.239	7.394
6	7	1.291	105	0.214	7.796
6	8	1.459	105	0.297	7.165
6	9	0.560	105	0.111	2.825
6	10	2.306	105	0.449	11.847
6	11	1.103	105	0.199	6.099

6	12	0.572	105	0.100	3.274
7	8	1.130	105	0.212	6.031
7	9	0.434	105	0.079	2.375
7	10	1.786	105	0.321	9.946
7	11	0.854	105	0.143	5.103
7	12	0.443	105	0.072	2.736
8	9	0.384	105	0.087	1.690
8	10	1.580	105	0.355	7.035
8	11	0.756	105	0.156	3.667
8	12	0.392	105	0.078	1.983
9	10	4.117	105	0.887	19.118
9	11	1.969	105	0.396	9.795
9	12	1.022	105	0.199	5.240
10	11	0.478	105	0.094	2.432
10	12	0.248	105	0.047	1.317
11	12	0.519	105	0.092	2.933

Anexo 5. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Tacuarembó.

Estimates							
Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Mean	Standard Error Mean
P(y<=2) trat.1	0.06121	0.5601	105	0.11	0.4566	0.5153	0.1399
P(y<=2) trat.2	0.3263	0.6326	105	0.52	0.3035	0.5809	0.1540
P(y<=2) trat.3	0.5888	0.5450	105	1.08	0.1412	0.6431	0.1251
P(y<=2) trat.4	-0.2226	0.5640	105	-0.39	0.6531	0.4446	0.1393
P(y<=2) trat.5	14.801	0.6190	105	2.39	0.0093	0.8146	0.09349
P(y<=2) trat.6	0.6376	0.6234	105	1.02	0.1544	0.6542	0.1410
P(y<=2) trat.7	0.3819	0.6771	105	0.56	0.2870	0.5943	0.1632
P(y<=2) trat.8	0.2596	0.5190	105	0.50	0.3090	0.5645	0.1276
P(y<=2) trat.9	12.173	0.5526	105	2.20	0.0149	0.7716	0.09739
P(y<=2) trat.10	-0.1979	0.5534	105	-0.36	0.6393	0.4507	0.1370
P(y<=2) trat.11	0.5399	0.6154	105	0.88	0.1912	0.6318	0.1432
P(y<=2) trat.12	11.959	0.6457	105	1.85	0.0334	0.7678	0.1151

Anexo 6. Perfil de respuesta abiótica Tacuarembó.

Response Profile		
Ordered Value	abiotn	Total Frequency
1	1	0
2	2	0
3	3	3
4	4	90
5	5	27
The GLIMMIX procedure is modeling the probabilities of levels of abiotn having lower Ordered Values in the Response Profile table.		

Anexo 7. Comparación de tratamiento vs. tratamiento. Abiótica Tacuarembó.

Odds Ratio Estimates					
Trat.	Trat.	Estimate	DF	95% Confidence Limits	
1	2	0.923	105	0.181	4.708
1	3	0.644	105	0.139	2.989
1	4	1.567	105	0.334	7.352
1	5	0.241	105	0.047	1.240
1	6	0.589	105	0.116	2.993
1	7	0.794	105	0.143	4.409
1	8	0.949	105	0.214	4.204
1	9	0.373	105	0.082	1.688
1	10	1.495	105	0.323	6.927
1	11	0.668	105	0.131	3.404
1	12	0.410	105	0.081	2.061
2	3	0.697	105	0.135	3.599
2	4	1.697	105	0.325	8.873
2	5	0.261	105	0.046	1.473
2	6	0.638	105	0.114	3.580
2	7	0.860	105	0.141	5.246
2	8	1.028	105	0.208	5.088
2	9	0.404	105	0.080	2.027
2	10	1.619	105	0.313	8.365

2	11	0.724	105	0.129	4.069
2	12	0.444	105	0.080	2.456
3	4	2.435	105	0.510	11.634
3	5	0.374	105	0.073	1.927
3	6	0.916	105	0.179	4.693
3	7	1.233	105	0.220	6.918
3	8	1.475	105	0.329	6.619
3	9	0.579	105	0.128	2.630
3	10	2.323	105	0.493	10.942
3	11	1.038	105	0.202	5.330
3	12	0.637	105	0.126	3.212
4	5	0.154	105	0.029	0.815
4	6	0.376	105	0.072	1.963
4	7	0.507	105	0.089	2.885
4	8	0.606	105	0.133	2.760
4	9	0.238	105	0.051	1.112
4	10	0.954	105	0.201	4.536
4	11	0.426	105	0.081	2.232
4	12	0.261	105	0.050	1.355
5	6	2.446	105	0.439	13.632
5	7	3.294	105	0.542	20.022
5	8	3.940	105	0.792	19.592
5	9	1.547	105	0.314	7.611
5	10	6.206	105	1.188	32.420
5	11	2.773	105	0.497	15.482
5	12	1.700	105	0.314	9.210
6	7	1.347	105	0.222	8.167
6	8	1.611	105	0.327	7.925
6	9	0.632	105	0.127	3.137
6	10	2.537	105	0.493	13.062
6	11	1.134	105	0.203	6.323
6	12	0.695	105	0.127	3.804
7	8	1.196	105	0.222	6.454
7	9	0.470	105	0.086	2.556
7	10	1.884	105	0.335	10.601
7	11	0.842	105	0.138	5.117

7	12	0.516	105	0.086	3.082
8	9	0.393	105	0.090	1.713
8	10	1.575	105	0.351	7.075
8	11	0.704	105	0.143	3.472
8	12	0.432	105	0.089	2.099
9	10	4.012	105	0.872	18.456
9	11	1.793	105	0.361	8.904
9	12	1.099	105	0.227	5.317
10	11	0.447	105	0.087	2.307
10	12	0.274	105	0.054	1.399
11	12	0.613	105	0.112	3.362

Anexo 8. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala abiótica Tacuarembó.

Estimates							
Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Mean	Standard Error Mean
P(y<=2) trat.1	-17.566	0.5811	105	-3.02	0.9984	0.1472	0.07295
P(y<=2) trat.2	-16.769	0.6430	105	-2.61	0.9948	0.1575	0.08532
P(y<=2) trat.3	-13.159	0.5760	105	-2.28	0.9878	0.2115	0.09607
P(y<=2) trat.4	-22.057	0.6035	105	-3.66	0.9998	0.09924	0.05394
P(y<=2) trat.5	-0.3334	0.6151	105	-0.54	0.7055	0.4174	0.1496
P(y<=2) trat.6	-12.280	0.6317	105	-1.94	0.9727	0.2265	0.1107
P(y<=2) trat.7	-15.256	0.6905	105	-2.21	0.9853	0.1786	0.1013
P(y<=2) trat.8	-17.045	0.5539	105	-3.08	0.9987	0.1539	0.07212
P(y<=2) trat.9	-0.7696	0.5347	105	-1.44	0.9235	0.3166	0.1157
P(y<=2) trat.10	-21.589	0.5920	105	-3.65	0.9998	0.1035	0.05493
P(y<=2) trat.11	-13.533	0.6315	105	-2.14	0.9828	0.2053	0.1030
P(y<=2) trat.12	-0.8642	0.6061	105	-1.43	0.9216	0.2965	0.1264

Anexo 9. Perfil de respuesta biótica Toledo.

Response Profile		
Ordered Value	biotn	Total Frequency
1	2	20
2	3	32
3	4	33
4	5	35
The GLIMMIX procedure is modeling the probabilities of levels of biotn having lower Ordered Values in the Response Profile table.		

Anexo 10. Comparación de tratamiento vs. tratamiento. Biótica Toledo.

Odds Ratio Estimates					
Trat.	Trat.	Estimate	DF	95% Confidence Limits	
1	2	0.123	106	0.021	0.720
1	3	0.224	106	0.040	1.267
1	4	0.092	106	0.016	0.525
1	5	0.353	106	0.066	1.879
1	6	0.724	106	0.132	3.974
1	7	0.106	106	0.018	0.630
1	8	0.414	106	0.078	2.183
1	9	0.184	106	0.032	1.045
1	10	0.671	106	0.127	3.540
1	11	0.506	106	0.087	2.951
1	12	0.655	106	0.095	4.496
2	3	1.827	106	0.359	9.301
2	4	0.752	106	0.151	3.736
2	5	2.875	106	0.594	13.911
2	6	5.897	106	1.154	30.129
2	7	0.861	106	0.163	4.542
2	8	3.372	106	0.699	16.267
2	9	1.498	106	0.295	7.594

2	10	5.469	106	1.116	26.807
2	11	4.118	106	0.760	22.328
2	12	5.338	106	0.827	34.466
3	4	0.412	106	0.084	2.019
3	5	1.574	106	0.337	7.360
3	6	3.229	106	0.658	15.849
3	7	0.471	106	0.091	2.444
3	8	1.846	106	0.397	8.583
3	9	0.820	106	0.166	4.062
3	10	2.994	106	0.637	14.077
3	11	2.255	106	0.431	11.789
3	12	2.922	106	0.468	18.252
4	5	3.824	106	0.820	17.825
4	6	7.843	106	1.588	38.745
4	7	1.145	106	0.226	5.806
4	8	4.484	106	0.964	20.860
4	9	1.992	106	0.409	9.714
4	10	7.273	106	1.536	34.448
4	11	5.477	106	1.044	28.730
4	12	7.099	106	1.132	44.505
5	6	2.051	106	0.446	9.439
5	7	0.299	106	0.061	1.475
5	8	1.173	106	0.269	5.111
5	9	0.521	106	0.111	2.441
5	10	1.902	106	0.432	8.365
5	11	1.432	106	0.291	7.047
5	12	1.856	106	0.314	10.974
6	7	0.146	106	0.028	0.758
6	8	0.572	106	0.125	2.605
6	9	0.254	106	0.051	1.253
6	10	0.927	106	0.203	4.235
6	11	0.698	106	0.137	3.563
6	12	0.905	106	0.149	5.507
7	8	3.918	106	0.797	19.250
7	9	1.740	106	0.337	8.995
7	10	6.354	106	1.274	31.695

7	11	4.785	106	0.868	26.380
7	12	6.202	106	0.946	40.648
8	9	0.444	106	0.095	2.072
8	10	1.622	106	0.373	7.062
8	11	1.221	106	0.250	5.956
8	12	1.583	106	0.270	9.276
9	10	3.651	106	0.772	17.257
9	11	2.749	106	0.524	14.432
9	12	3.563	106	0.568	22.349
10	11	0.753	106	0.154	3.684
10	12	0.976	106	0.167	5.719
11	12	1.296	106	0.201	8.353

Anexo 11. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala biótica Toledo.

Estimates							
Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Mean	Standard Error Mean
P(y<=2) trat.1	-14.455	0.6715	106	-2.15	0.9832	0.1907	0.1036
P(y<=2) trat.2	0.6520	0.6001	106	1.09	0.1399	0.6575	0.1352
P(y<=2) trat.3	0.04956	0.5771	106	0.09	0.4659	0.5124	0.1442
P(y<=2) trat.4	0.9372	0.5745	106	1.63	0.0529	0.7185	0.1162
P(y<=2) trat.5	-0.4041	0.5336	106	-0.76	0.7747	0.4003	0.1281
P(y<=2) trat.6	-11.225	0.5725	106	-1.96	0.9737	0.2455	0.1061
P(y<=2) trat.7	0.8021	0.6128	106	1.31	0.0967	0.6904	0.1310
P(y<=2) trat.8	-0.5634	0.5300	106	-1.06	0.8549	0.3628	0.1225
P(y<=2) trat.9	0.2479	0.5777	106	0.43	0.3343	0.5617	0.1422
P(y<=2) trat.10	-10.470	0.5408	106	-1.94	0.9722	0.2598	0.1040
P(y<=2) trat.11	-0.7634	0.6173	106	-1.24	0.8905	0.3179	0.1338
P(y<=2) trat.12	-10.228	0.7379	106	-1.39	0.9157	0.2645	0.1435

Anexo 12. Perfil de respuesta abiótica Toledo.

Response Profile		
Ordered Value	abiotn	Total Frequency
1	3	20
2	4	66
3	5	34
The GLIMMIX procedure is modeling the probabilities of levels of abiotn having lower Ordered Values in the Response Profile table.		

Anexo 13. Comparación de tratamiento vs. tratamiento. Abiótica Toledo.

Odds Ratio Estimates					
Trat.	Trat.	Estimate	DF	95% Confidence Limits	
1	2	0.128	107	0.020	0.815
1	3	0.179	107	0.029	1.105
1	4	0.096	107	0.015	0.595
1	5	0.314	107	0.055	1.784
1	6	0.586	107	0.102	3.357
1	7	0.068	107	0.011	0.430
1	8	0.314	107	0.055	1.784
1	9	0.179	107	0.029	1.105
1	10	0.426	107	0.075	2.425
1	11	0.252	107	0.040	1.569
1	12	0.644	107	0.095	4.355
2	3	1.404	107	0.234	8.442
2	4	0.751	107	0.128	4.415
2	5	2.456	107	0.431	13.984
2	6	4.589	107	0.785	26.839
2	7	0.533	107	0.090	3.159
2	8	2.456	107	0.431	13.984
2	9	1.404	107	0.234	8.442

2	10	3.334	107	0.578	19.227
2	11	1.973	107	0.319	12.183
2	12	5.041	107	0.730	34.813
3	4	0.535	107	0.093	3.090
3	5	1.749	107	0.317	9.655
3	6	3.267	107	0.578	18.452
3	7	0.379	107	0.065	2.217
3	8	1.749	107	0.317	9.655
3	9	1.000	107	0.170	5.870
3	10	2.374	107	0.426	13.242
3	11	1.404	107	0.234	8.442
3	12	3.589	107	0.537	23.998
4	5	3.269	107	0.595	17.951
4	6	6.107	107	1.078	34.591
4	7	0.709	107	0.125	4.011
4	8	3.269	107	0.595	17.951
4	9	1.869	107	0.324	10.799
4	10	4.438	107	0.796	24.738
4	11	2.625	107	0.441	15.639
4	12	6.709	107	1.000	45.010
5	6	1.868	107	0.359	9.732
5	7	0.217	107	0.039	1.211
5	8	1.000	107	0.195	5.126
5	9	0.572	107	0.104	3.157
5	10	1.358	107	0.263	7.003
5	11	0.803	107	0.143	4.515
5	12	2.052	107	0.331	12.743
6	7	0.116	107	0.020	0.670
6	8	0.535	107	0.103	2.788
6	9	0.306	107	0.054	1.729
6	10	0.727	107	0.139	3.796
6	11	0.430	107	0.075	2.460
6	12	1.099	107	0.175	6.880
7	8	4.611	107	0.826	25.742
7	9	2.637	107	0.451	15.414
7	10	6.259	107	1.103	35.535

7	11	3.703	107	0.613	22.376
7	12	9.463	107	1.385	64.642
8	9	0.572	107	0.104	3.157
8	10	1.358	107	0.263	7.003
8	11	0.803	107	0.143	4.515
8	12	2.052	107	0.331	12.743
9	10	2.374	107	0.426	13.242
9	11	1.404	107	0.234	8.442
9	12	3.589	107	0.537	23.998
10	11	0.592	107	0.104	3.351
10	12	1.512	107	0.243	9.409
11	12	2.555	107	0.378	17.286

Anexo 14. Probabilidad de que un tratamiento presente todas sus probetas sanas a levemente dañadas. Escala abiótica Toledo.

Estimates							
Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Mean	Standard Error Mean
P(y<=3) trat.1	-31.375	0.7147	107	-4.39	10.000	0.04159	0.02848
P(y<=3) trat.2	-10.799	0.6570	107	-1.64	0.9484	0.2535	0.1243
P(y<=3) trat.3	-14.196	0.6508	107	-2.18	0.9843	0.1947	0.1021
P(y<=3) trat.4	-0.7940	0.6214	107	-1.28	0.8980	0.3113	0.1332
P(y<=3) trat.5	-19.784	0.6247	107	-3.17	0.9990	0.1215	0.06668
P(y<=3) trat.6	-26.035	0.6525	107	-3.99	0.9999	0.06891	0.04187
P(y<=3) trat.7	-0.4501	0.6225	107	-0.72	0.7644	0.3893	0.1480
P(y<=3) trat.8	-19.784	0.6247	107	-3.17	0.9990	0.1215	0.06668
P(y<=3) trat.9	-14.196	0.6508	107	-2.18	0.9843	0.1947	0.1021
P(y<=3) trat.10	-22.842	0.6388	107	-3.58	0.9997	0.09244	0.05359
P(y<=3) trat.11	-17.593	0.6770	107	-2.60	0.9947	0.1469	0.08484
P(y<=3) trat.12	-26.975	0.7637	107	-3.53	0.9997	0.06312	0.04516