

### III - Presentación del Plan de Actividades

#### RESUMEN

Los postes de las líneas de transmisión eléctrica en el ámbito rural en Uruguay, son de madera de eucalipto, cuya albura es impregnable pero no así su duramen. Previo al montaje los postes son tratados con CCA (óxidos de cromo-cobre-arsénico) por el método de Bethell (vacío - presión - vacío), de acuerdo a lo establecido en la normativa de UTE. El objetivo del presente proyecto, es por un lado el desarrollo de un sistema de tratamiento (productos químicos a aplicar y método de tratamiento) para prevenir el deterioro de los postes del tendido eléctrico de UTE, alternativo al actualmente usado. En un doble tratamiento se combinan métodos con o sin presión, para aplicar productos químicos de conocida efectividad (sales de Zn, B y silicatos) como conservadores para madera, pero de menor toxicidad que los productos actualmente usados, reduciendo los inconvenientes que aquellos provocan de carácter ambiental, de salud ocupacional y fundamentalmente la disposición final de los productos de madera fuera de servicio. Estos productos tienen la limitación de que se lixivian de la madera cuando se emplean solos, razón por la cual son aplicados de a dos buscando una reacción química entre ellos. Por otra parte el proyecto efectúa un diagnóstico que permita conocer los agentes que deterioran los postes en servicio y su posible relación causa - efecto con otros factores ambientales y operativos que influyen en la durabilidad de los mismos. No existen en nuestro país información sobre los agentes de degradan madera en uso. Los resultados obtenidos serán un importante insumo a tener en cuenta en la optimización de la aplicación del nuevo sistema de tratamiento de los postes desarrollado en este estudio. Algunas de las actividades proyectadas han sido propuestas como tesis de grado en curso a estudiantes de las carreras de Ingeniería Agronómica y Químicas y será propuesto a estudiantes de Maestría de la Facultad de Agronomía, Química o Ciencias. Los conocimientos adquiridos durante la ejecución de este proyecto serán incorporados en el curso de grado en el tema ya ofrecido en la UDELAR. Al mismo tiempo el incorporarme como docente al Instituto Superior de Estudios Forestales del Polo de Desarrollo Universitario de Tacuarembó involucra la realización de variadas actividades de gestión, así como el planteo y la formulación de futuros proyectos que permitan integrar mis actividades de investigación con las llevadas a cabo por los integrantes del mencionado Instituto. Por último, la participación del Grupo de Investigación en Patología Forestal, cuyos integrantes forman parte del mencionado Instituto, me permite participar de los cursos de posgrado dictados por el Grupo.

#### ANTECEDENTES

En toda la extensión territorial de Uruguay, UTE (Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas) posee una amplia red de distribución de energía eléctrica sostenida en postes de madera de eucalipto. Los postes sostienen líneas aéreas y subestaciones aéreas de distintos voltajes. La normativa de UTE detalla las especificaciones que deben cumplir estos postes antes y después de su

tratamiento (UTE, 2007).

Los postes más empleados son los de clase 5, con 10,5 m de largo de eucalipto. El tratamiento preservante que reciben actualmente previo al montaje, es con CCA (óxidos de cromo-cobre-arsénico) por vacío - presión - vacío a las cantidades de preservante especificadas en la norma.

El CCA es hoy en día el único producto usado como preservante para madera en Uruguay ya que las pocas opciones comercialmente disponibles son inviables debido a sus altos costos.

Se considera que el CCA proporciona a la madera una alta durabilidad, que en algunos casos podría llegar a decenas de años. Igualmente conocidas son sus desventajas. Las mismas están asociadas a la presencia en su composición de metales pesados, razón por la cual su uso ha sido prohibido en la Unión Europea y Estados Unidos para aplicaciones que estén en contacto con personas, siendo fuertes las presiones para generalizar esta prohibición. A pesar de ello, en el tratamiento de postes para las redes de tendido eléctrico continúa siendo el producto universalmente empleado (Gran Bretaña, EEUU, Nueva Zelanda, Australia y países de América Latina, por ejemplo) por la relación costo de producto – durabilidad adquirida por la madera que otorga. Sin embargo también se debe tener en cuenta que estos costos se ven afectados por las precauciones especiales que deben tomarse en las plantas de impregnación, por ejemplo referidas al riesgo inherente a la exposición laboral al producto de los operarios y el entorno de la planta. Por otra parte es sumamente difícil disponer en forma segura tanto de los residuos del procesamiento de la madera como de las maderas fuera de uso, lo que lleva a que en países como Australia la misma sea dispuesta en rellenos sanitarios especiales.

En base a estas consideraciones y a la aplicación de legislaciones nuevas, exigencias ambientales, de seguridad y salud ocupacional, existe un incentivo para la industria en el mundo en la búsqueda de nuevos conservadores para madera alternativos a los biocidas de amplio espectro como el CCA de producción, manejo y aplicación seguros, cuyos efectos sobre el ambiente estén controlados y en lo posible de bajo costo.

El presente proyecto plantea el desarrollo de un sistema de tratamiento alternativo al actualmente usado. La efectividad y el éxito de un tratamiento preservante depende de cuatro factores básicos que se deben considerar en el desarrollo del sistema preservante: 1) características de la madera, 2) procesos o métodos de tratamiento a emplear, 3) características del producto preservante aplicado y 4) posibles interacciones o reacciones químicas entre el preservante y los componentes estructurales de la madera que contribuyan a su fijación a la misma.

Como ya se indicó la madera empleada es eucalipto que presenta una banda muy angosta de albura, por lo tanto es particularmente importante que esta albura esté adecuadamente protegida, ya que de eso depende la resistencia y la vida útil del poste, en virtud de que su duramen no es tratable por la aspiración irreversible de las punteaduras y por la cantidad y tipo de extractivos depositados durante la transición albura a duramen. Su anatomía nos indica el movimiento primario de los líquidos en su interior (longitudinalmente y en segundo término, radialmente), pudiendo ocurrir además difusión a

través de la pared celular cuando no se encuentra incrustada. En consecuencia es factible el empleo efectivo de métodos de difusión de preservantes para el tratamiento de estas maderas en virtud de la correlación existente entre la permeabilidad y la tratabilidad de la madera (Zabel y Morrell, 1992; Sjostorm 1993).

Los métodos de preservación de madera están clasificados en dos grupos, los denominados procesos a presión, donde la madera es impregnada en autoclaves a presiones superiores a la atmosférica y los procesos que no utilizan presión (Eaton & Hale, 1993).

Los procesos sin presión, basados en la capacidad de difusión de los líquidos y los gases dentro de la madera (sujetos a las leyes de Fick), son más simples en cuanto a su forma de aplicación y a los equipos empleados. La velocidad de difusión es afectada por factores como la estructura, densidad y el contenido de humedad de la madera. Son procesos aplicables a madera verde, no estacionada y químicos acuosos (Hunt y Garret, 1967).

Los tratamientos a presión o por vacío, requieren de equipos industriales más complejos (cilindros de tratamientos, bombas de presión y de vacío, válvulas, manómetros, vacuómetros, etc) que aumentan los costos operativos y de inversión pero logran altos niveles de penetración y retención del producto (Eaton y Hale, 1993).

En este proyecto se plantea el uso de combinaciones de los siguientes compuestos, sulfato de zinc, bórax, ácido bórico, silicatos y borato de zinc solubilizado en amoníaco como conservadores para los postes, aplicados a través de un proceso de dos etapas, una con presión y otra sin presión. La aplicación en etapas de diferentes sistemas químicos que potencien sus propiedades como funguicidas, insecticidas, ignífugos o la fijación a la madera, ha sido empleada como método de mejora en el desarrollo de nuevos productos (Manning, 2008; Marney & Russell, 2008).

Las sales de zinc y los compuestos de boro son ingredientes activos de numerosos preservantes para madera con un amplio espectro de efectividad (Lloyd et al., 1990, 2001; Rainer, 1993). En particular el borato de zinc es el menos lixiviable de todos los boratos pero por su reducida solubilidad no puede aplicarse en madera sólida, es normal incorporarlo como polvo en madera compuesta. Los silicatos también han sido utilizados como conservadores de madera.

En este proyecto se estudian alternativas tanto al orden de aplicación de los productos, como al método de aplicación empleado considerando que, ahora se trabaja con madera redonda de eucalipto y que se debe maximizar la efectividad del nuevo sistema preservante al menor costo operativo posible. Por último se verificará si hay interacción química entre los compuestos químicos aplicados y los componentes estructurales de la madera, tanto por microscopía como por FTIR; no hay antecedentes de este estudio cuando se aplica Zn.

Otro aspecto desarrollado en este proyecto es el relevamiento de los postes en servicio, a partir de un muestreo estadísticamente válido, que permita construir una base de datos con la información mínima necesaria para conocer las causas de deterioro de los postes en nuestro país. Dicha base contendrá la identificación de los agentes causales de deterioro de la madera, su distribución y su

prevalencia, vinculados al tiempo en servicio del poste, el tipo de suelo en el que se encuentra, el tipo de empotramiento y el número de veces que fue retratado. No existen estudios de agentes causantes de deterioro de madera en servicio en nuestro país.

La identificación de las especies fúngicas presentes en las muestras de los postes, será tanto fenotípica como genotípica, a partir de los cultivos puros obtenidos en los aislamientos. La identificación clásica estará basada en las claves diagnósticas que contienen las características morfológicas macroscópicas y microscópicas de los cultivos, junto a las condiciones de los cultivos (Nobles, 1948; Stalpers, 1978; Barnett y Hunter, 1987). Luego que la identificación clásica ubica el aislamiento en una Phyla (Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota ó Chitridiomycota), se realiza la identificación genotípica. Para esta última se empleará en principio la técnica de PCR (*Polymerase chain reaction*) de la región ITS (*Internal Transcriber Spacer*) así como genes específicos de los hongos estudiados ( $\beta$  tubulina, factor de elongación 1-  $\alpha$  EF-1  $\alpha$ , histona H3) en los casos que lo requieran. La región ITS (que comprende las regiones ITS1, el gen del 5.8S ARN ribosomal y el ITS2) ha sido ampliamente utilizada para la identificación de hongos por su bajo nivel de variación intraespecífica comparado a su alto nivel de variación interespecífica. Esta región se encuentra repetida muchas veces al azar en el ADN, en consecuencia amplificada por PCR, lo convierte en un método muy sensible.

La región ITS es muy variable por tanto puede ser utilizada para generar fragmentos por la técnica de RFLP de forma de obtener perfiles que permitan la identificación del hongo contaminante de madera con la elección de oligonucleótidos específicos. Este método permite la detección de agentes de deterioro específico en la etapa incipiente de ataque.

## **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema de preservación (combinación de los productos químicos a aplicar y método de tratamiento en etapas) para los postes de las líneas de distribución eléctrica de Uruguay.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Relevamiento de las causas de deterioro de los postes de las líneas de distribución eléctrica en servicio en Uruguay y su correlación con otros factores que influyen en la vida útil de los postes.
2. Identificar los agentes causales de deterioro de los postes de las líneas de distribución eléctrica en servicio en Uruguay.
3. Construir un banco de datos con la información recopilada, aplicando las principales conclusiones obtenidas al nuevo sistema de tratamiento desarrollado.
4. Identificar el sistema de tratamiento para los postes (combinación de productos químicos a aplicar y método de tratamiento en etapas) que proporcione productos que cumplan las especificaciones (retención, penetración y resistencia a la lixiviación) esperadas.
5. Verificar la viabilidad técnica y económica del sistema de tratamiento seleccionado para los postes (productos químicos a aplicar y método de tratamiento) seleccionado.

7. Ensayar el sistema de tratamiento para los postes (productos químicos a aplicar y método de tratamiento en etapas) a partir de un ensayos de durabilidad adquirida, tanto de campo acelerados como a escala media de con piques de 1.5 m.

## **ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN Y ACTIVIDADES**

En el desarrollo del sistema de tratamiento de la madera, se emplearán los siguientes productos y sus combinaciones: sulfato de zinc, ácido bórico, bórax (tetraborato de sodio decahidratado) y silicato de sodio. En todos los casos se realizará un doble tratamiento, aplicando métodos sin presión (difusión, capilaridad y Boucherie), y método a presión, así como doble vacío. Se emplearán piques y postes libres de defectos. se determinará la retención del preservante, a través de la absorción (diferencia de peso de la madera antes y después del tratamiento) o por medidas por absorción atómica. La penetración se determinará realizando cortes transversales de los piques a los que se aplicará para el caso del boro, una solución de cúrcuma y revelador de ácido salicílico y para el Zn una solución de ferricianuro de potasio y almidón. La resistencia a la lixiviación, se evaluará a través de ensayos de envejecimiento normalizados.

La evaluación de la durabilidad adquirida se realizará para los piques a través de ensayos acelerados. Se espera obtener una retención de 5 kg/m<sup>3</sup> con la solución de ácido bórico – bórax y de 30 kg/m<sup>3</sup> para las sales de zinc. Más tarde se pasará a ensayos de campo con probetas más grandes.

La evaluación del ensayo se hará de acuerdo a la norma y la interpretación de los resultados será a la luz de un adecuado tratamiento estadístico de los mismos.

El relevamiento de los postes en servicio distribuidos en el país, comenzará con el muestreo de los mismos, empleando un barreno de incremento radial de 5 mm de diámetro interno; el agujero hecho para tomar la muestra será tapado con un tarugo inmunizado y curado con la solución de bórax y silicato.

Las colectas de las muestras, la conservación de las mismas así como el estudio de los aislamientos (en los casos que se pueda), se llevará a cabo de acuerdo a metodologías establecidas (Zabel y Terracina, 1990).

Se realiza la extracción de ADN tanto en hongos aislados como en madera atacada y luego se amplifica específicamente por PCR y se secuencia la región de interés (ITS o genes de interés). Una vez secuenciadas las regiones amplificadas se comparan con las secuencias publicadas en los bancos de datos genéticos y se informa el porcentaje de identidad con la especie supuesta.

Se realizarán breves ensayos de laboratorio que verifiquen la sensibilidad de los microorganismos aislados a los productos químicos a usar en el sistema de tratamiento, por la metodología aplicada.

## **FINANCIACIÓN**

Las actividades previstas que permiten dar cumplimiento a los objetivos se encuentran enmarcadas

en los siguientes proyectos:

CSIC – Iniciación a la Investigación: “ Desarrollo de un sistema preservante alternativo para las líneas de transmisión de eléctrica”, Responsable Claudia Ibáñez, Tutor Carlos Mantero. Inicio mayo 2012, duración 24 meses.

CSIC – Sector Productivo, Modalidad 1: “ Desarrollo de un sistema preservante alternativo para las líneas de transmisión de eléctrica”, Responsables: Claudia Ibáñez, Carlos Mantero.

Inicio enero 2013, duración 36 meses.

### **EXPERIENCIA EN EL ÁREA**

Luego de culminada mi tesis de Doctorado y publicados sus resultados en revistas arbitradas, comencé el estudio del desarrollo de productos preservantes para madera, ambientalmente amigables y de bajo costo. Estas investigaciones involucran no solo los aspectos químicos referidos a los productos aplicados y su posible reacción- interacción con los componentes estructurales de la madera, sino también la puesta a punto de los ensayos normalizados que permiten verificar la eficiencia de los productos. Los ensayos son tanto a nivel de laboratorio, como de campo o de campo acelerados. Se ha trabajado tanto con hongos como con insectos. Muchas de estas actividades pertenecen al grupo CSIC Protección de la madera (número de identificación 651725), que cuenta con la colaboración de Investigadores del exterior (Turquía, Venezuela y Brasil), que han participado activamente en las actividades de investigación.

### **DOCENCIA - FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

Algunas partes del proyecto han sido propuestas como tesis de grado a estudiantes de la Facultad de Agronomía y como trabajos experimentales como materias electivas a estudiantes de Facultad de Química. En el primer caso se trata de la implementación de un ensayo de durabilidad acelerado donde se prueban la efectividad y los detalles prácticos del y tratamiento de madera rolliza de eucalyptus con los productos químicos ensayados; en el segundo caso se trata del aislamiento e identificación de los hongos presentes en las muestras de los postes, y posterior análisis de los resultados obtenidos.

Una vez que estan etapas estén completas, el objetivo es proponer estudios mas específicos como tesis de maestría; por ejemplo analizar la distribución y caracterización de los microorganismos que atacan la madera en servicio (información nunca recabada en nuestro país) empleando técnicas más avanzadas a las usadas (diseño de *microarrays*, o pirosecuenciación), o el estudio de las interacciones químicas entre los productos aplicados y los componentes estructurales de la madera que disminuyan la lixiviación. Se espera que los estudiantes de posgrado realicen la mayor parte de sus actividades en el Instituto Superior de Estudios Forestales de Tacuarembó al mismo tiempo que puedan realizar pasantías que completen su formación en institutos de reconocida trayectoria en el exterior Todas estas actividades están sujetas a la obtención de fuentes de financiación.

Los conocimientos adquiridos durante la ejecución de este proyecto serán incorporados al curso de grado Biodeterioro y protección de madera, ofrecido por la UDELAR.

Al mismo tiempo se va a participar como docente invitado en el curso de Educación Permanente de la Facultad de Agronomía "Identificación y manejo de enfermedades del Eucalyptus" cuyo responsable es el Prof. Adj. Dr. Carlos Pérez.

Extensión y difusión de resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto serán difundidos en eventos nacionales e internacionales de divulgación científica que sean oportunos. Además se proyecta la publicación de artículos científico en revistas científicas arbitradas que se crean convenientes.

### **CALENDARIO DE ACTIVIDADES**

Los muestreos, identificaciones de microorganismos, así como el análisis de la posible relación causa efecto entre todos los factores considerados, es una actividad que se desarrolla a lo largo de los tres años.

Los tres tipo ensayos de durabilidad adquirida serán instalados de la siguiente manera:

Acelerado: primer año; de campo: segundo año; y de campo con postes (que depende de los resultados observados en los dos anteriores): final del tercer año.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Barnett H., Hunter B. 1978. Illustrated genera of Imperfect fungi. Ed 4 Mac Millan Publishing Company NY 218 pp.

Eaton R.A., Hale M. 1993. Wood. Decay, pests and protection. Chapman & Hall 1st ed.

Hunt G.M., Garret G.A. 1967. Wood Preservation. 3ed. Mc Graw Hill Book Co N Y.

Lloyd J., Fogel J. 2001. Wood preservative concentrate. United States Patent N° US 6,896, 908 B2.

Lloyd, J. D.; Dickinson, D. J.; Murphy, R. J.1990. The probable mechanism of action of boric acid and borates as wood preservatives. IRG/WP 1450. International Research Group on Wood Protection. Rotorua, New Zealand.

Manning M. 2008. Borate wood preservatives: the current landscape. Chapter 26. Development of comercial wood preservatives. Efficacy, environmental, and health issues. ACS Symposium Series 982. Ed.by Schultz, Miltz, Freeman , Goodell and Nicholas.

Marney D.C., Russell L.J. 2008. Combined Fire Retardant and Wood Preservative Treatments for Outdoor Wood Applications – A Review of the Literature. Fire Technology 44: 1-14.

Nobles M. 1948. Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood rotting fungi. Canad. J. of research. 26: 281 – 431.

Rainer, J. B. 1993. Borates as wood preservatives - an environmental, health and safety perspective. IRG/WP 93-50001-03. International Research Group on Wood Protection. Cannes, Francia.

Sjöström E. 1993. Wood Chemistry. Fundamentals and applications. Second edition. Academic Press

Inc. London.

Stalpers J.A. 1978. Identification of wood inhabiting fungi in pure culture. *Studies in Mycology*, N° 16. Centralbureau Voor Schimmelcultures, Baarn, Netherlands, 248 pp.

UTE. 2007. Norma de Distribución NO-DIS-MA-2502. Postes de madera para líneas de distribución.

Zabel R.A, Morrell J. J. 1992. *Wood Microbiology: decay and its prevention*. Academic Press. Inc. New York, NY.

---