PROYECTO DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL
SPU ARGENTINA- CAPES BRASIL

LOS BOSQUES Y EL FUTURO

Consolidando un vínculo permanente en educación forestal



Editoras
Dra. Ana María Giménez
Dra. Graciela Ines Bolzon de Muniz

ISBN 978-987-1676-77-4

UNSE
Universidad Nacional de Santiago del Estero

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PROYECTO DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL
SPU ARGENTINA- CAPES BRASIL

LOS BOSQUES Y EL FUTURO

Consolidando un vínculo permanente en la educación forestal

Proyecto ***Educación Forestal para un equilibrio vital***

Doutorado em Engenharia Florestal, Sector Agrarias, Universidad Federal de Parana, Curitiba, Brasil.
Doctorado en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Editoras:

Dra. Ana María Giménez y Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz

LOS BOSQUES Y EL FUTURO
Consolidando un vínculo permanente en la educación forestal

Diagramación/edición: Sr. Fabian Zubrinic
Revisión: Ing. Myriam Ludueña
Diseño de tapa: Sr. Fabian Zubrinic

Todos los derechos de esta edición pertenecen a las siguientes instituciones:

Doutorado em Engenharia Florestal, Sector Agrarias, Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil.

Doctorado en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.



Giménez, Ana María / Graciela Inés Bolzón
Los bosques y el futuro : consolidando un vínculo permanente en la educación forestal / Ana María Giménez ; Graciela Inés Bolzón ; contribuciones de Myriam Ethel Ludueña ; fotografías de Fabián Zubrinic ; ilustrado por Fabián Zubrinic. - 1a ed . - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2018.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-1676-77-4

1. Ciencias Forestales. 2. Educación Científica. I. Ludueña, Myriam Ethel, colab. II. Zubrinic, Fabián, fot. III. Zubrinic, Fabián, ilus. IV. Título.
CDD 333.75

PRÓLOGO

Las características múltiples de las Ciencias Forestales, exhibiendo un universo de posibilidades específicas y de ámbito general, representan una extraordinaria oportunidad para educación, investigaciones, consolidación y generación de tecnologías variadas. La amplitud de la actividad forestal, bien como de la cadena productiva a ella asociada, comprendiendo un grande conjunto de acciones técnico-científicas para la producción de bienes y servicios, tienen alto significado práctico para la humanidad, bien como para el desarrollo de estudios avanzados en nivel de Posgrado.

En ese contexto, es con grande contentamiento que presentamos el libro "Los Bosques y el Futuro: Consolidando un Vínculo Permanente en Educación Forestal", resultado de una productiva y victoriosa relación entre Brasil y Argentina, Proyecto de Cooperación Internacional SPU-CAPES, establecida entre la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) y la Universidad Federal de Paraná (UFPR). El libro, muy bien organizado y con excelente contenido académico, contempla la participación de profesores, investigadores y posgraduandos de las dos universidades. Son miradas distintas que representan la pluralidad natural de las Ciencias Forestales y la conformación institucional a que pertenecen los autores, pero que se complementan perfectamente en su esencia y propósito.

El libro está estructurado en 16 capítulos, con temas de diferentes naturalezas epistemológicas, quiénes articulan e integran saberes en una perspectiva holística que ejemplifica la grande dimensión y complejidad de la formación académica forestal. En ese contexto, de múltiples posibilidades intelectuales, el contenido de los capítulos refleja, a su vez, la necesidad de articulación e integración de conocimientos para formar profesionales capaces de atender no solo la complejidad de la demanda académica, pero que permitan desarrollar técnicamente el sector forestal desde una visión amplia e inclusiva que contemple el porvenir en bases sostenibles.

Los capítulos que compone el libro resultan, en su mayoría, de estudios e investigaciones desarrollados en el ámbito de los programas de posgrado en Ciencias Forestales de la UNSE y de la UFPR. Son presentados en una secuencia libre, sin orden jerárquico como pre-requisito. De esa manera, los textos pueden ser disfrutados a lo acaso, por libre elección del lector, sin perjuicio para la comprensión plena de la información ofrecida. Cada capítulo tiene una estructura propia adecuada a la naturaleza del tema abordado.

Temas como educación avanzada en la área científica, caracterización anatómica y discriminación de madera y carbón vegetal, relación entre madera y construcciones coloniales históricas, biodegradación de madera muerta, relación entre salinidad y distribución espacial de plantas xerófitas, fisiología de plantas sometidas a estrés salino, productividad primaria líquida de forraje bajo sequía en sistema silvipastoril, intoxicación de plantines sometidos al uso de glifosato, regeneración y resiliencia de leñosas arbóreas frente a disturbios, conectividad biológica y conservación de la biodiversidad, domesticación de plantas en el contexto agroforestal, evaluación de ciclo de vida (ECV) y actividades extracurriculares en la educación forestal básica, están presentes en el libro de manera vigorosa, con textos claros, actuales e interesantes que no permiten subterfugios en cuanto a los objetivos académicos a que se propone.

A las editoras, Drª. Ana Maria Gimenez y Drª. Graciela Inés Bolzón y a los autores, nuestros más efusivo reconocimiento por viabilizaren esta importante obra con la certeza de que su carácter utilitario, estricto y lato sensu, será muy bien disfrutado por todos aquéllos que se interesan por las Ciencias Forestales.

Guido Lorenz
Dr., Profesor, Posgrado en Ciencias Forestales
Universidad Nacional de Santiago del Estero
(UNSE) Santiago del Estero, Argentina

Ivan Crespo Silva
Dr., Profesor, Posgrado en Ingeniería Forestal
Universidad Federal de Paraná (UFPR)
Curitiba, Brasil

PRÓLOGO

As características multifacetadas das Ciências Florestais, exibindo um universo de possibilidades específicas e de âmbito geral, representam uma extraordinária oportunidade para educação, pesquisas, consolidação e geração de tecnologias variadas. A amplitude da atividade florestal, bem como da cadeia produtiva a ela associada, compreendendo um grande conjunto de ações técnico-científicas para a produção de bens e serviços, têm alto significado prático para a humanidade, bem como para o desenvolvimento de estudos avançados em nível de Pós-Graduação.

Nesse contexto, é com grande contentamento que apresentamos o livro "Los Bosques y el Futuro: Consolidando un Vínculo Permanente en Educación Forestal", resultado de uma produtiva e exitosa relação entre Brasil e Argentina, Projeto de Cooperação Internacional CAPES-SPU, estabelecida entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Nacional de Santiago del Estero (UNSE). O livro, muito bem organizado e com excelente conteúdo acadêmico, contempla a participação de professores, pesquisadores e pós-graduandos das duas universidades. São olhares distintos, que representam a pluralidade natural das Ciências Florestais e a conformação institucional a que pertencem os autores, mas que se complementam perfeitamente em sua essência e propósito.

O livro está estruturado em 16 capítulos, com temas de diferentes naturezas epistemológicas, os quais articulam e integram saberes em uma perspectiva holística que exemplifica a grande dimensão e complexidade da formação acadêmica florestal. Nesse contexto, de múltiplas possibilidades intelectuais, o conteúdo dos capítulos reflete, por sua vez, a necessidade de articulação e integração de conhecimentos para formar profissionais capazes de atender não só a complexidade da demanda acadêmica, mas que permitam desenvolver tecnicamente o setor florestal a partir de uma visão ampla e inclusiva que contemple o futuro em bases sustentáveis.

Os capítulos que compõe o livro resultam, em sua maioria, de estudos e pesquisas desenvolvidos no âmbito dos programas de pós-graduação em Ciências Florestais da UFPR e da UNSE. São apresentados em uma sequência livre, sem ordem hierárquica como pré-requisito. Dessa maneira, os textos podem ser desfrutados ao acaso, por livre escolha do leitor, sem prejuízo para a compreensão plena da informação oferecida. Cada capítulo tem uma estrutura própria adequada à natureza do tema abordado.

Temas como educação avançada na área científica, caracterização anatômica e discriminação de madeira e carvão vegetal, relação entre madeira e construções coloniais históricas, biodegradação de madeira morta, relação entre salinidade e distribuição espacial de plantas xerófitas, fisiologia de plantas submetidas a estresse salino, produtividade primária líquida de forragem submetida à estiagem em sistema silvipastoril, intoxicação de mudas submetidas ao uso de glifosato, regeneração e resiliência de lenhosas arbóreas frente a distúrbios, conectividade biológica e conservação da biodiversidade, domesticação de plantas no contexto agroflorestal, avaliação de ciclo de vida (ACV) e atividades extracurriculares na educação florestal básica, estão presentes no livro de maneira vigorosa, com textos claros, atuais e interessantes que não permitem subterfúgios quanto aos objetivos acadêmicos a que se propõe.

As editoras, Drª. Ana Maria Gimenez e Drª. Graciela Inés Bolzón e aos autores, os nossos mais efusivos reconhecimentos por viabilizarem esta importante obra com a certeza de que o seu caráter utilitário, estricto e lato sensu, será muito bem apreciado por todos aqueles que se interessam pelas Ciências Florestais.

Ivan Crespo Silva
Dr., Profesor, Posgrado en Ingeniería Forestal
Universidad Federal de Paraná (UFPR)
Curitiba, Brasil

Guido Lorenz
Dr., Profesor, Posgrado en Ciencias Forestales
Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Santiago del Estero, Argentina

Apoyo institucional:

El proyecto pudo ser realizado con el invalorable apoyo de las autoridades institucionales a quienes agradecemos.

- Argentina

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Rector: *Ing. Héctor Rubén Paz*
Vicerrectora: *Mg. María Mercedes Díaz*

Facultad de Ciencias Forestales:

Decano: *Dr. Juan Carlos Medina*
Vice Decana: *Dra. Nancy Giannuzzo*

Directora del Programa de Posgrado de la Facultad de Ciencias Forestales: *Dr. Guido Lorenz*

- Brasil

Universidad Federal de Parana, Curitiba

Reitor: *Prof., Dr., Ricardo Marcelo Fonseca*

Vice-reitora: *Profª., Drª., Graciela Bolzón de Muniz*

Coordenador de Pesquisa e Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia - Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação: *Prof., Dr., Francisco de Assis Mendonça*

Coordenador de Pós-Graduação: *Prof., Dr., Marcio Pereira da Rocha*

Vice-coordenador de Pós-Graduação: *Prof., Dr., Romano Timofeiczyk Junior*

Un agradecimiento especial a:

A los colegas que respondieron a esta invitación y aportaron sus trabajos y experiencia.

A la invalorable tarea de nuestros compañeros:

Sr. Fabian Zubrinic *en la Edición y diseño de tapa*
Ing. Myrian Ludueña *en Revisión*

INDICE

Pág.

Capitulo 1

Introducción: La educación superior en las ciencias forestales

Giménez, A. M. y G. I. Bolzón de Muñiz.....1

Capitulo 2

Características anatômicas de 20 espécies do mato grosso

Nisgoski, S.; F. Zatt Schardosin; R. *Faria França; J. N. Marchiori; S. Rodrigues dos Santos y G. I. Bolzón de Muñiz*.....7

Capitulo 3

Uso do NIR na discriminação da madeira e carvão de 20 espécies do Mato Grosso, Brasil

Nisgoski S.; F. Zatt Schardosin; R. *Faria França; G. I. Bolzon de Muñiz*.....21

Capítulo 4

Pasajes de la historia colonial contados a través de las maderas

Giménez, A. M.; J. G. Moglia; F. Calatayu; M. E. Figueroa y J. A. Diaz Zirpolo .31

Capítulo 5

Nuevas tecnologías aplicadas al análisis de la biodegradación de madera muerta

Díaz Zirpolo, J. y A. M. Gimenez.....53

Capítulo 6

Distribución espacial de la salinidad del suelo en un bosque del chaco semiárido

Figueroa, M. E. y G. Lorenz.....67

Capítulo 7

Fisiología de especies forestales bajo estrés salino: conocimientos y desafíos

Meloni, D. A.; D. Moura Silva y G. I. Bolzón de Muñiz *85*

Capítulo 8

Productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* derivada de NDVI MODIS y su respuesta ante sequías

Tiedemann, J. L. *99*

Capítulo 9

Intoxicación de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh sometidos a la deriva simulada de glifosfato

Meloni, D. A.; M. C. Silva; M. G. Targa; D. Moura Silva; G. I. Bolzón de Muñiz y A. Catán *113*

Capitulo 10

Regeneración en especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina y su respuesta a disturbios

Bravo, S.; R. Abdala; F. del Corro; V. Ibáñez-Moro; A. C. Santacruz-García; D. Loto y F. Ojeda *127*

Capítulo 11

Corredores biológicos y la conservación de la biodiversidad: El caso del corredor norte en Santiago del Estero

Rivas, F.; G. E. Mujica y M. Brassiolo *151*

Capitulo 12

Biodiversidade domesticada no contexto agroflorestal brasileiro e argentino

Crespo Silva. I.; R. Carreras y E. F. Cisneros *179*

Capítulo 13

Técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos: Do surgimento à aplicação no setor florestal

Langer, M.; da Silva D. A.; J. E. Arce e S. H. Rocha..... 201

Capitulo 14

Conceitos de funções florestais para construção de uma Avaliação do Ciclo de Vida no setor florestal

Langer, M.; da Silva D. A.; J. E. Arce e S. H. Rocha..... 223

Capítulo 15

Experiências em ensino, pesquisa e extensão: o Programa de Educação Tutorial (PET) - Engenharia Florestal - UFPR

Camargo Angelo, A. 249

Capítulo 16

Projeto Arboreto: Ensino, pesquisa e extensão florestal

Camargo Angelo. A.; A. Ferreira Pinto y K. Koch Fernandes de Souza..... 265

Capítulo 1

Introducción: La educación superior en las ciencias forestales

Giménez, A. M.[1] y G. I. Bolzón de Muñiz[2]

Los nuevos desafíos

El mundo actual ofrece múltiples desafíos a la sociedad global. El informe anual del Comité Ejecutivo de la Alianza Global (World Economic Forum, 2017) indica diez temas preponderantes en la agenda global para los próximos años. La investigación identifica los asuntos que tendrán un mayor impacto en el mundo durante los próximos años.

Los temas de interés se detallan en el siguiente orden: la desigualdad creciente, la persistencia del desempleo, el déficit de liderazgo, el crecimiento de la competición geoestratégica, el debilitamiento de la democracia, el aumento de la contaminación en el mundo en desarrollo, la mayor frecuencia de catástrofes naturales (directamente relacionadas con el cambio climático), el avance del nacionalismo, mayor estrés por el acceso del agua, la creciente importancia de la salud para la economía y el sentimiento anti-inmigración.

Hará falta grandes liderazgos para afrontar estos desafíos y un nuevo tipo profesional con fuertes raíces éticas (Velasco, 2017).

Si bien no está indicado en este ranking de impactos mundiales, uno de los ámbitos con mayores crisis es la educación. Muchos de los temas apuntados anteriormente tienen origen en la carencia de ella. Los paradigmas educativos, frente a la realidad del hombre moderno han quedado obsoletos y requieren de un nuevo pensar y hacer.

Los caminos del conocimiento y la forma de abordarlo, abren un mundo nuevo donde cada uno de los partícipes del sistema, debe ampliar su postura y prepararse para grandes cambios.

[1] Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: amig@unse.edu.ar
[2] Universidad Federal de Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil. E-mail: gbmunize@ufpr.br

Las nuevas tecnologías desafían a la educación a recorrer un camino diferente. "El aprendizaje requiere tiempo para seleccionar positivamente las adaptaciones. Una sociedad se torna inviable cuando tiene más y más opciones en intervalos temporales más y más cortos" (García, 2007). La tecnología está impulsando precisamente esa aceleración y creando una brecha entre quienes tienen acceso y recursos para asimilar los avances y quienes no los tienen. Es innegable el poder transformador de la tecnología, mucho más profundo del que se puede percibir o incluso de imaginar.

Sin embargo, esa fuerza multiplicadora no está al servicio de reducir la desigualdad ni logra frenar aún las tendencias autodestructivas del ser humano en su relación con el ecosistema que habita. La autogestión se apoya en el acceso prácticamente ilimitado a fuentes de información desde cualquier rincón del planeta y en la capacidad de tomar decisiones "on line". Las principales barreras que impedían esta autogestión, el espacio y el tiempo, han sido demolidas por la tecnología.

Otro aspecto a reflexionar hace referencia si la demanda de saberes, competencias y hábitos son las que el sistema ofrece.

Segura (2014) sostiene que las naciones no se merecen, se construyen y la educación es el código fuente. En Brasil y Argentina, la educación es un complejo sistema con una problemática que puede resumirse en dos aspectos trascendentes. Argentina se debate entre la calidad e inclusión. La formación primaria, secundaria y universitaria no tiene todo el nivel esperado.

El cuestionamiento es: ¿aprendemos poco o pretendemos poco? No se puede concebir una nación desarrollada, competitiva e insertada en el mundo, sin un programa de educación transgeneracional y multidisciplinario que abarque a todos los actores. Hay una demanda de saberes, de competencias y de hábitos que no las está proveyendo el sistema educativo formal. Lo que sí está claro es que el profesional requiere actualmente de formación continua y allí radica el eje de la oferta educativa que cada vez es más amplia.

El mundo actual globalizado se conecta de manera lateral, instantánea y múltiple. Ello conlleva a un sinnúmero de beneficios en el área científica y permite la construcción diversa y solidaria de la Ciencia. Los parámetros de calificación científica universitaria a nivel mundial son similares, aunque las posibilidades reales de los diferentes países e instituciones son disímiles. Desde los países en desarrollo se pretende alcanzar parcialmente esos parámetros, aunque el desafío real debería plantearse sobre el tipo de Ciencia e Instituciones son necesarias para generar un desarrollo sostenible y de rasgos autóctonos.

La cooperación internacional

En América Latina y el Caribe, el proceso de internacionalización de la educación superior procura ser preservado a través de una adecuada reglamentación. Esto significa establecer reglamentos, de común acuerdo con otros países de la región, que tienden a controlar, en función de las necesidades y los intereses nacionales, las ofertas de carácter transnacional (López Segre, 2007).

Los países de Latinoamérica a través de políticas de estado promueven programas de cooperación internacional. La Secretaría de Políticas Universitarias SPU Argentina y CAPES Brasil, promueven a través de proyectos lazos de cooperación.

Luego de 8 años de cooperación internacional a través del Programa de Centros Asociados para el Fortalecimiento de Posgrados Brasil Argentina (CAFP-BA)

La Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE accede a 2 proyectos consecutivos de cooperación internacional con Brasil en el marco de las convocatorias SPU/CAPES. Se establece la cooperación binacional entre el Doctorado en Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina y Doctorado en Ingeniería Forestal, Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil.

El primero proyecto de fortalecimiento de posgrados se desarrolla entre 2011 y 2014, denominado: *Educación Forestal para un equilibrio vital;* el segundo: C*onsolidando un vínculo permanente en Educación Forestal* (2015/2018).

La cooperación internacional permitió acercar a dos países, dos regiones, dos instituciones. El fruto de 8 años de proyectos fue muy interesante y de importantes logros. Poder compartir experiencias en dos realidades muy diferentes, fue sumamente enriquecedor. Definir prioridades, metodologías, compatibilizar investigaciones y planificar acciones futuras, fue parte de este proceso.

La base de la cooperación recae en dos instituciones de Educación Superior con desigualdades académicas. Se basa en esquemas de asociación académica binacional mediante el cual un posgrado de excelencia académica (PROMOTOR) fortalece a un posgrado de menor desarrollo relativo (RECEPTOR).

El objetivo general del proyecto hace referencia a: Promover el fortalecimiento del Programa de Doctorado en Ciencias Forestales de Santiago del Estero, Argentina con la colaboración del Doctorado en Ingeniería Forestal de la UFP,

Curitiba, Brasil mediante la asociación flexible de posgrados sobre las bases de un acuerdo de cooperación bilateral.

Si bien los desafíos de la actividad forestal actual de ambas universidades son similares, las estrategias de abordajes y las posibilidades reales de desarrollo científico son muy diferentes. UNSE, Argentina, cuenta con un importante bagaje científico y recursos humanos formados. UFPr Brasil, además de ello posee extraordinarios equipamientos de última generación que permite un salto cualitativo en el mundo científico.

Durante el período (2011/2018) se efectuaron 16 Misiones de Coordinación, 40 Misiones de Estudio y 25 Misiones de Trabajo.

El apoyo a la formación de recursos humanos de posgrado en Ciencias Forestales de Argentina, fue amplia. Los doctorandos durante su estancia en Brasil participaron de prácticas de campo, trabajo de laboratorio, viajes de campaña, ciclo de conferencias, etc., que significaron un aporte importante en su formación profesional. En las misiones se dieron conferencias a nivel de posgraduación también en el grado. Se realizaron dos Talleres de Tesis con los doctorandos.

Los cursos dictados por profesores brasileños en las Misiones de Trabajo, permitieron acrecentar la calidad académica y diversificar la temática.

Entre los principales logros se destacan:

Publicación del primer libro en 2013 titulado: *Educación e Investigación Forestal para un equilibrio vital Cooperación Binacional Argentina Brasil,* editado por Giménez, Bolzón Muñiz.

Fortalecimiento de las actividades académicas de dirección y co-dirección de Tesis Doctorales en áreas de vacancia.

Aumento de la movilidad de docentes según la oferta de cursos de las unidades receptoras y promotoras.

Gestión y organización de Talleres, seminarios y actividades académicas que hagan a la mejora de la calidad académica del Doctorado en Ciencias Forestales.

A los cursos dictados concurrieron además de los doctorandos de la unidad académica, profesionales forestales de otras provincias. Los Rectores de ambas unidades académicas se comprometieron a apoyar el proyecto y a concretar otras acciones conjuntas. Los doctorandos fueron asesorados en el tema de tesis y se abrieron nuevas instancias de comunicación para el uso de equipos de alta tecnología que cuenta Brasil, y así desarrollar trabajos de mayor nivel científico.

Se establecieron vínculos académicos para que investigadores brasileños participen como editores de la Revista Científica Quebracho, FCF, UNSE.

Los Bosques y el futuro

La realidad forestal de dos regiones Inmensas, el Chaco Argentino y la selva Paranaense, importantes desde lo territorial y lo ambiental, ha tenido un profundo cambio por una influencia antrópica sostenida y grandes magnitudes en el siglo XX, que modificaron las condiciones regionales.

El desafío del presente libro es acompañar esos cambios con la mira en el futuro, desarrollando tecnologías amigables con el ambiente, educando ambientalmente y generando estrategias sostenibles para la de gestión del recurso forestal.

El libro se realizó con el aporte de profesores que participaron del programa, así como de los doctorandos que realizaron las misiones de estudio.

Capitulo 2

Características anatômicas de 20 espécies do mato grosso

Nisgoski, S.[1]; F. Zatt Schardosin[2]; R. Faria França[2]; J. N. Marchiori[3]; S. Rodrigues dos Santos[3] y G. I. Bolzón de Muñiz[1]

1. Introdução

Os biomas brasileiros apresentam uma diversidade de espécies florestais com potencial madeireiro e não madeireiro, as quais devem ser conhecidas para uma correta aplicação com maior valor econômico e também mantendo a preservação das espécies. No Brasil, as Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção seguem a Portaria 443 do Ministério do Meio Ambiente**,** de 17 de dezembro de 2014, estando incluídas 276 espécies da Mata Atlântica, 131 espécies do Cerrado, 46 espécies da Caatinga, 24 espécies da Amazônia, 17 espécies do Pampa e duas do Pantanal (MMA, 2014).

Além destas espécies que constam como ameaçadas, que possuem restrição de exploração e comercialização, o controle e fiscalização do mercado de madeiras é de suma importância contra a utilização de madeira ilegal, desta forma a descrição anatômica serve como base de informações para órgãos fiscalizadores para identificação do material.

O caso da Floresta Amazônica é ainda mais especial, o bioma ocupa a maior parte do território brasileiro e está presente em nove países da América do Sul. A região de coleta das amostras está inserida dentro desta área e localizada no estado do Mato Grosso. O estado de Mato Grosso compreende em seu território três diferentes biomas brasileiros, a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal. Estas regiões, devido aos processos antrópicos de ocupação, sofreram sérios impactos ambientais não só devido às atividades extrativistas, mas também com a expansão de fronteiras agrícolas.

[1] Laboratorio de Anatomia e Qualidade da Madeira Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil. E-mail: Silvana.ufpr@gmail.com
[2] Doutorandos na Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil.
[3] Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Com relação à exploração madeireira, geralmente as primeiras árvores a serem exploradas são indivíduos maiores e de maior valor, posteriormente sendo retiradas outras espécies menos valiosas. Juntamente com incêndios florestais, esta exploração de madeira causa danos graves à composição e à estrutura da Floresta Amazônica (Monteiro *et al*, 2004).

Estudos apontam a Amazônia como uma das principais regiões produtoras de madeira do mundo, sendo a atividade madeireira com maior destaque econômico. Dentre os estados pertencentes à Amazônia Legal, o Mato Grosso é o que apresentava o segundo maior número de empresas, ocupando a vice liderança no consumo de toras, aproximadamente 4 milhões de m³ divididos em três pólos madeireiros (Figura 1) (IMAZON, 2010).

Este capítulo teve como objetivos a descrição anatômica macro e microscópica da madeira de vinte espécies do estado do Mato Grosso, Brasil.

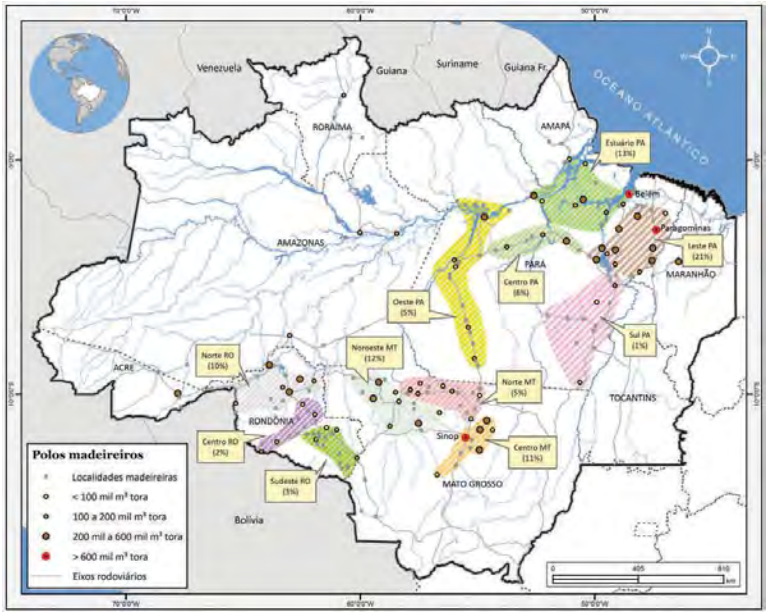


Figura 1. Amazônia Legal, pólos madeireiros.
Fonte: IMAZON (2010).

2. Material em métodos

As amostras das espécies (Tabela 1) são provenientes do município de Nova Maringá, estado do Mato Grosso (13°1'26" S, 57°4'8" W). As árvores foram cortadas em uma floresta natural, e discos do tronco com espessura aproximada de 80 mm foram retirados na altura do DAP (1,30 m). Os discos foram lixados e foram retiradas cunhas envolvendo a variação medula casca. As amostras foram secas ao ar livre e permaneceram em câmara climatizada com temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de 65 ± 1%.

A nomenclatura botânica está atualizada de acordo com as determinações do Jardim Botânico do Rio de Janeiro - **Flora do Brasil 2020 em construção.** A descrição macroscópica seguiu as recomendações de Coradin e Muñiz (1991). As imagens foram obtidas em estereomicroscópio Zeiss Discovey V12, com câmera digital acoplada, no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná. A descrição microscópica seguiu as recomendações da Associação Internacional dos Anatomistas de Madeira (IAWA, 1989). As medidas foram efetuadas em microscópio Olympus CX40, com escala micrométrica. Foram obtidas 25 leituras para o diâmetro tangencial dos vasos (μm), frequência dos vasos (vasos/mm^2), altura e largura dos raios (μm) e frequência dos raios (raios/mm). Os resultados são apresentados como mínimo, média, máximo e desvio padrão.

Tabela 1. Espécies estudadas.

Nome científico	Nome popular	Família
Astronium graveolens Jacq.	guaritá	Anacardiaceae
Astronium lecointei Ducke	muiracatiara	Anacardiaceae
Aspidosperma pyrifolium Mart.	peroba	Apocynaceae
Handroanthus albus (Cham.) Mattos	Ipê amarelo	Bignoniaceae
Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don	caroba	Bignoniaceae
Trattinnickia burserifolia Mart.	amescla	Burseraceae
Apuleia molaris Spruce ex. Benth.	garapa	Fabaceae
Hymenaea courbaril L.	jatobá	Fabaceae
Poeppigia procera C. Presl.	Jacarandá branco	Fabaceae
Sclerolobium paniculatum Vogel.	taxi	Fabaceae
Piptadenia communis Benth.	angico branco	Fabaceae
Goupia glabra Aubl.	cupiuba	Goupiaceae
Licaria cannela (Meisn.) Kosterm	Canela branca	Lauraceae
Mezilaurus itauba (Meisn.)Taub ex. Mez	itaúba	Lauraceae
Ocotea leucoxylon (Sw.) Laness.	canelão	Lauraceae
Ocotea odorífera (Vell.) Rohwer	Canela sassafrás	Lauraceae
Erisma uncinatum Warm.	cedrinho	Vochysiaceae
Qualea paraensis Ducke	cambará	Vochysiaceae
Vochysia densiflora Spruce	amarelinho	Vochysiaceae
Vochysia máxima Ducke	Cedinho cuiabano	Vochysiaceae

3. Descrição anatômica

Astronium graveolens

Cerne marrom claro rosado quando recém cortado, com estrias pardo escuras, distinto do alburno marrom claro; grã irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento pouco distintos, demarcados pelo espessamento das fibras. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares grandes. Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico tendendo a aliforme e confluente em trechos curtos; unilateral e escasso presentes. Raios heterogêneos, com uma ou duas fileiras marginais de células quadradas; uni e multisseriados de 2 a 3; não estratificados. Fibras de parede fina a média, septadas.

Astronium lecointei

Cerne marrom escuro, com estrias mais escuras, distinto do alburno branco amarelado; grã irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento distintos pelo espessamento das fibras e ocasionalmente finas linhas de parênquima marginal. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e confluente; finas linhas marginais presentes. Raios heterogêneos, com uma ou duas fileiras marginais de células quadradas; uni e multisseriados até 3; não estratificados. Fibras de parede grossa, septadas. Cristais isolados pequenos presentes nos raios.

Aspidosperma pyrifolium

Cerne e alburno indistintos, róseo-avermelhado com manchas estriadas; superfície pouco lustrosa; textura muito fina e uniforme; grã direita a irregular; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento pouco distintos, demarcados por zonas fibrosas com menor número de poros. Porosidade difusa; poros solitários múltiplos; vazios; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, pequenas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial pouco distinto, apotraqueal difuso. Raios heterogêneos; unisseriados, eventualmente bisseriados; não estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas.

Handroanthus albus

Cerne marrom com reflexos esverdeados, distinto do alburno branco amarelado; grã irregular; textura fina a média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos de 2; parcialmente obstruídos por ipeina; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme losangular e confluente em trechos curtos. Raios homogêneos, multisseriados de 2 a 3; estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas.

Jacaranda copaia

Cerne e alburno indistintos, branco-palha levemente rosado; apresentando leves estrias na face tangencial; textura média; grã direita a irregular; superfície lisa ao tato com lustre mediano; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento demarcados por zonas fibrosas. Porosidade difusa, poros solitários em maioria, múltiplos de 2 a 3 presentes, obstruídos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme linear e confluente em trechos curtos. Raios heterogêneos, uni a trisseriados, não estratificados. Fibras não septadas de parede fina.

Trattinnickia burserifolia

Cerne e alburno pouco distintos pela cor, cerne bege-rosado ou bege-amarelado; cheiro e gosto imperceptíveis; grã direita ou irregular; textura média; superfície irregularmente lustrosa.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa, poros solitários em maioria, múltiplos presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas, pequenas. Espessamento em espiral nos vasos presentes. Pontoações raio-vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial escasso. Raios heterogêneos, multisseriados, trisseriados predominantes não estratificados. Fibras de paredes médias, septadas.

Apuleia molaris

Cerne bege amarelado a marrom amarelado, distinto do alburno mais claro; grã irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento pouco distintos, finas linhas de parênquima marginal presentes. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais até 5; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares

semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme e confluente em trechos curtos; finas linhas marginais presentes. Raios heterogêneos, com uma fileira marginal de células quadradas; multisseriados de 2 a 4, trisseriados predominantes; estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas. Cristais em séria nas células de parênquima axial.

Hymenaea courbaril

Cerne marrom avermelhado, distinto do alburno branco avermelhado; grã regular a irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento distintos, demarcados pelas linhas de parênquima marginal. Porosidade difusa; poros solitários e geminados predominantes, múltiplos presentes; parcialmente obstruídos por óleo resina; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme losangular e confluente em trechos curtos; finas linhas marginais presentes. Raios homogêneos,multisseriados de 4 a 5 predominantes, unisseriados ocasionais; não estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas. Cristais presentes.

Poeppigia procera

Cerne marrom-escuro diferenciado do alburno branco-amarelado; textura média; grã direita; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento pouco distintos pela diferença na espessura da parede das fibras e parênquima axial. Porosidade difusa; poros solitários, geminados e múltiplos; parcialmente obstruídos por óleo resina; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas, ornamentadas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial pouco distinto, paratraqueal unilateral, confluente em trechos curtos. Raios fracamente heterogêneos; multisseriados de 2 a 6 células, bi a trisseriados mais freqüentes; estratificados. Fibras de parede média a espessa, septadas. Cristais em série presentes nas células de parênquima.

Sclerolobium paniculatum

Cerne irregular quanto à cor, róseo-claro ao bege-pardacento, com reflexos róseos ou arroxeados; alburno pouco diferenciado, um pouco mais claro; textura média; grã revessa; superfície irregularmente lustrosa e áspera ao tato; cheiro suave, um tanto desagradável; gosto imperceptível.

Anéis de crescimento distintos pelo espessamento da parede das fibras. Porosidade difusa; poros solitários, geminados e múltiplos até 4; vazios; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio

vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial pouco contrastado, paratraqueal escasso, unilateral e vasicêntrico; cristais romboédricos em série presentes. Raios homogêneos; unisseriados; não estratificados. Fibras de parede fina a média, não septadas.

Piptadenia communis

Cerne de cor uniforme marrom-claro; alburno diferenciado, bege-claro; textura média; grã irregular; superfície lisa ao tato e de brilho pouco acentuado; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa, poros solitários e geminados em maioria, múltiplos presentes, vazios; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme losangular e losangular confluente; cristais em série presentes. Raios homogêneos, uni e bisseriados localmente, não estratificados. Fibras de parede média, não septadas.

Goupia glabra

Cerne e alburno indistintos pela cor, marrom-avermelhado; superfície sem brilho; cheiro perceptível, desagradável, gosto imperceptível; densidade alta; grã irregular; textura média.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa, poros solitários em maioria, geminados presentes, parcialmente obstruídos por óleo resina; placa de perfuração simples e escalariforme de poucas e espessas barras. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares pequenas. Parênquima axial apotraqueal difuso em agregados. Raios heterogêneos, unisseriados predominantes, bi a trisseriados presentes. Fibras de paredes espessas, não septadas

Licaria cannella

Cerne marrom amarelado escuro, distinto do alburno mais claro; grã irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento distintos pelo espessamento da parede das fibras. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos de 2 a 3, parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico tendendo a aliforme e confluente em trechos curtos. Raios heterogêneos, com uma fileira marginal de células quadradas ou eretas; multisseriados de 2 a 3; não estratificados. Fibras de parede grossa, septadas. Células oleíferas presentes.

Mezilaurus itauba

Cerne amarelo esverdeado uniforme, pouco distinto do alburno mais claro; grã irregular; textura média; cheiro levemente adocicado, gosto imperceptível.

Anéis de crescimento pouco distintos, demarcados pelo espessamento das fibras. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme losangular e confluente em trechos curtos; unilateral e vasicêntrico. Raios heterogêneos, com uma ou duas fileiras marginais de células quadradas; bisseriados; não estratificados. Fibras de parede grossa, septadas. Células oleíferas presentes.

Ocotea leucoxylon

Cerne variando do pardo claro amarelado ao pardo acastanhado; grã direita à revessa; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento distintos pelo espessamento das fibras. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais até 4; parcialmente obstruídos por tilos e óleo resina; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares, grandes. Parênquima axial paratraqueal unilateral, vasicêntrico e confluente. Raios heterogêneos, com uma fileiras marginal de células quadradas; bisseriados; não estratificados. Fibras de parede fina a média, septadas. Células oleíferas abundantes na margem dos raios.

Ocotea odorifera

Cerne pardo acastanhado claro, pouco distinto do alburno; grã direita; textura média; cheiro característico perceptível; gosto levemente picante.

Anéis de crescimento distintos pelo espessamento de fibras. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos radiais até 5; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal escasso e unilateral. Raios heterogêneos, bisseriados; não estratificados. Fibras de parede fina, septadas. Células oleíferas presentes junto ao raio.

Erisma uncinatum

Cerne marrom avermelhado, às vezes com manchas irregulares, distinto do alburno branco acinzentado; grã direita; textura grossa; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa; poros solitários em maioria; vazios; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial apotraqueal em faixas. Raios heterogêneos, com 4-5 fileiras marginais de células quadradas; uni e bisseriados; não estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas. Floema incluso presente.

Qualea paraensis

Cerne marrom amarelado escuro, distinto do alburno mais claro; grã irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos até 4; parcialmente obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme losangular e confluente. Raios homogêneos; uni e bisseriados; não estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas.

Vochysia densiflora

Cerne marrom rosado, pouco distinto do alburno; grã direita a irregular; textura média; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento indistintos. Porosidade difusa; poros solitários; vazios; placa de perfuração simples e escalariforme; pontoações alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares grandes. Parênquima axial paratraqueal aliforme linear e confluente. Raios heterogêneos, com uma a quatro fileiras marginais de células quadradas; multisseriados até 5, trisseriados predominantes; não estratificados. Fibras de parede grossa, não septadas. Cristais isolados nas células de parênquima axial e radial.

Vochysia maxima

Cerne marrom claro, pouco distinto do alburno cinza claro a cinza rosado; grã irregular; textura média a grossa; cheiro e gosto imperceptíveis.

Anéis de crescimento pouco distintos. Porosidade difusa; poros solitários e múltiplos, obstruídos por tilos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas. Pontoações raio vasculares e parênquimo vasculares semelhantes às intervasculares. Parênquima axial paratraqueal aliforme linear e confluente em trechos curtos. Raios heterogêneos, com fileiras marginais de células quadradas; unisseriados baixos e multisseriados de 3 a 5 altos; não estratificados. Fibras de parede fina média, não septadas.

Tabela 2. Diâmetro e frequência de vasos em 20 espécies do Mato Grosso. Valores mínimo – **média -** máximo e (desvio padrão).

Espécie	Vaso/mm²	Diâmetro Vaso (µm)
Astronium graveolens	5-**8,8-**12 (2,03)	90-**126,4**-160 (20,39)
Astronium lecointei	4-**6,5**-11 (1,53)	86-**132,1**-183 (21,93)
Aspidosperma pyrifolium	21-**32,2**-42 (5,65)	80-**105,2**-180 (21,04)
Handroanthus albus	5-**8,2-**12 (4,79)	75-**98,2**-122 (8,92)
Jacaranda copaia	1-**2,1**-5 (1,29)	192-**263,9**-353 (37,14)
Trattinnickia burserifolia	2-**3,2**-5 (0,91)	150-**241,0-**275 (32,18)
Apuleia molaris	4-**13,7**-27 (6,99)	64-**110,5**-162 (20,74)
Hymenaea courbaril	1-**3,0**-5 (1,14)	110-**170,8**-220 (28,70)
Poeppigia procera	9-**16,7**-27 (4,01)	77-**99,5**-129 (14,76)
Sclerolobium paniculatum	1-**3,4**-6 (1,57)	134-**208,1**-314 (53,35)
Piptadenia communis	1-**3,1**-6 (1,22)	110-**167,9**-227 (33,95)
Goupia glabra	9-**16,9**-33 (5,09)	61-**83,5**-103 (11,05)
Licaria cannella	2-**4,8**-8 (1,60)	114-**150,3**-201 (22,64)
Mezilaurus itauba	5-**6,5**-9 (1,16)	115-**140,6**-169 (16,37)
Ocotea leucoxylon	3-**5,2**-8 (1,32)	90-**139,2**-188 (24,69)
Ocotea odorifera	4-**7,2**-11 (1,61)	123-**167**-212 (20,69)
Erisma uncinatum	1-**1,8**-3 (0,75)	198-**259,9**-335 (42,57)
Qualea paraensis	4-**5,3**-7 (1,05)	180-**222,0**-300 (33,29)
Vochysia densiflora	4-**6,4**-8 (1,08)	94-**143,6**-185 (19,46)
Vochysia maxima	1-**3,0**-6 (0,98)	182-**245,8**-322 (30,47)

Tabela 3. Dimensões e frequência de raios de 20 espécies do Mato Grosso. Valores mínimo – **média -** máximo e (desvio padrão).

Espécie	Altura raio (µm)	Largura raio (µm)	R/mm
A. graveolens	130-**324,4**-550 (170,78)	10-**31,6**-50 (11,06)	3-**4,6**-8 (1,50)
A. lecointei	174-**325,5**-483 (73,26)	11-**36,2**-62 (10,22)	3-**4,3**-7 (0,98)
A. pyrifolium	140-**224,4**-440 (65,26)	20-**33,6**-50 (7,00)	6-**7,6**-9 (0,65)
H. albus	118-**157,5**-179 (15,57)	5-**8,9**-16 (2,17)	4-**8,5**-11 (1,96)
J. copaia	150-**410,9**-736 (156,13)	27-**48,5**-73 (10,43)	2-**3,6**-5 (0,77)
T. burserifolia	170-**324,4**-500 (85,40)	30-**45,4**-80 (11,72)	3-**4,8**-8 (1,37)
A. molaris	162-**205,8**-422 (50,35)	8-**19,3**-32 (5,50)	2-**4,3**-6 (0,99)
H. courbaril	120-**386,4**-620 (138,32)	20-**52,0**-80 (16,33)	4-**5,6**-9 (1,22)
P. procera	276-**280,0**-291 (36,99)	17-**31,5**-44 (7,63)	8-**11,7**-16 (2,30)
S. paniculatum	132-**213,9**-324 (57,61)	10-**16,1**-21 (2,78)	5-**6,7**-10 (1,46)
P. communis	105-**178,0**-265 (41,32)	9-**14,8**-25 (4,14)	2-**5,0**-7 (1,41)
G. glabra	164-**461,5**-906 (177,46)	20-**33,5**-48 (7,82)	9-**11,2**-8 (1,86)
L. cannella	197-**500,1**-967 (174,82)	22-**37,1**-51 (7,70)	3-**4,8**-7 (1,05)
M. itauba	225-**485,6**-816 (164,94)	30-**41,1**-56 (8,30)	4-**6,1**-7 (1,39)
O. leucoxylon	212-**363,4**-759 (126,57)	24-**31,9**-39 (3,61)	2-**4,0**-6 (1,06)
O. odorifera	163-**294,0**-426 (70,01)	10-**12,8**-16 (1,82)	2-**3,9**-6 (0,93)
E. uncinatum	116-**328,9**-821 (192,96)	17-**43,2**-72 (16,99)	2-**4,4**-7 (1,64)
Q. paraensis	104-**216,2**-405 (87,49)	11-**21,4**-32 (5,56)	3-**4,9**-8 (1,33)
V. densiflora	256-**629,6**-1235 (250,95)	33-**56,3**-95 (13,99)	2-**4,1**-6 (0,91)
V. maxima	141-**386,7**-1116 (276,75)	11-**31,3**-50 (23,72)	3-**5,9**-8 (1,39)

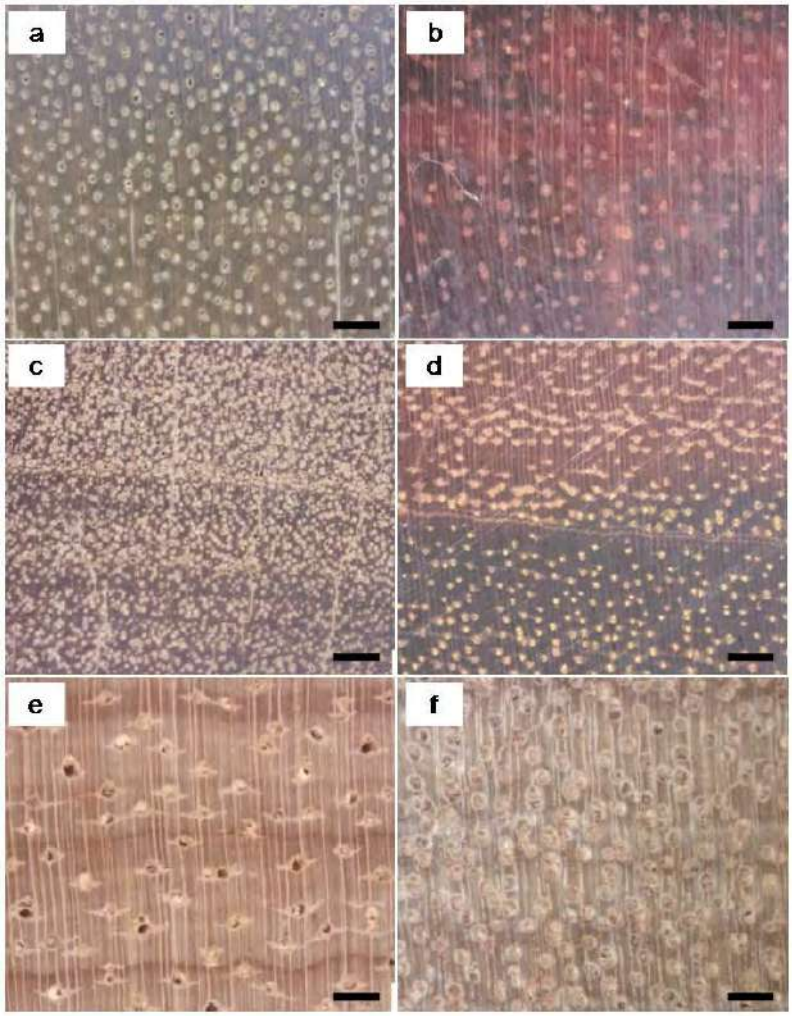


Figura 2. Imagem macroscópica da superfície transversal. a) *Astronium graveolens*; b)*Astronium lecointei*; c) *Aspidosperma pyrifolium*; d)*Handroanthus albus*; e) *Jacaranda copaia*; f) *Trattinnickia burserifolia*. Escala 1mm.

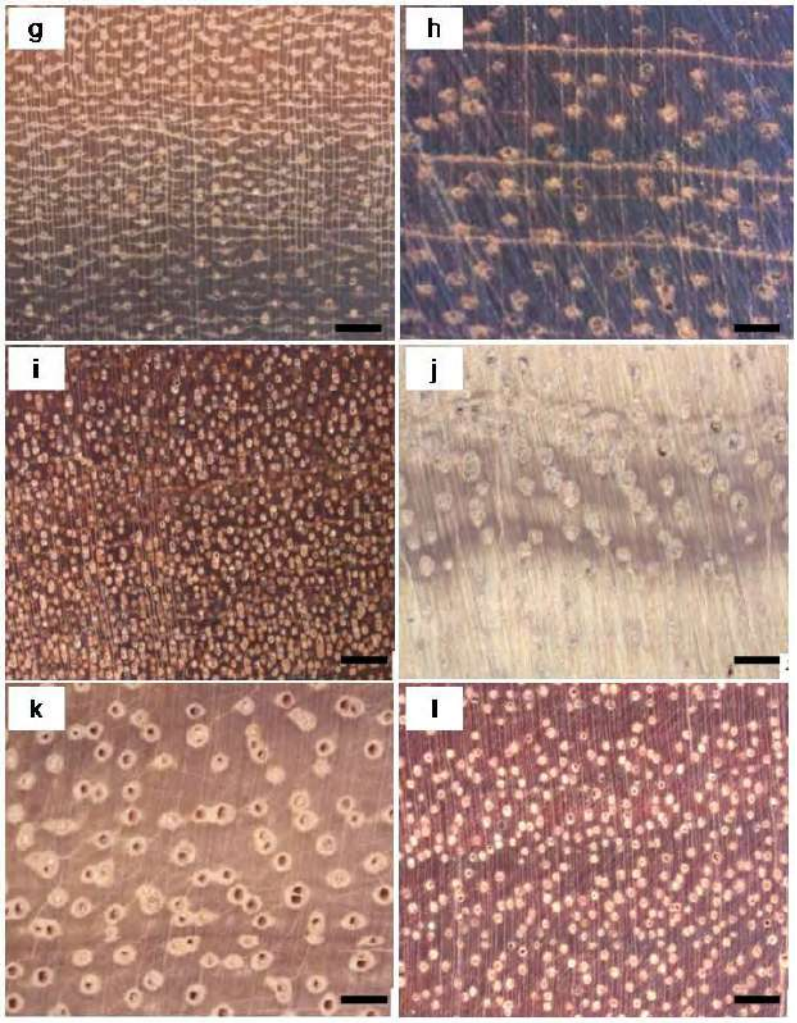


Figura 3. Imagem macroscópica da superfície transversal. g) *Apuleia molaris*; h) *Hymenaea courbaril*; i) *Poeppigia procera*; j) *Sclerolobium paniculatum;* k) *Piptadenia communis*); l) *Goupia glabra*. Escala 1mm.

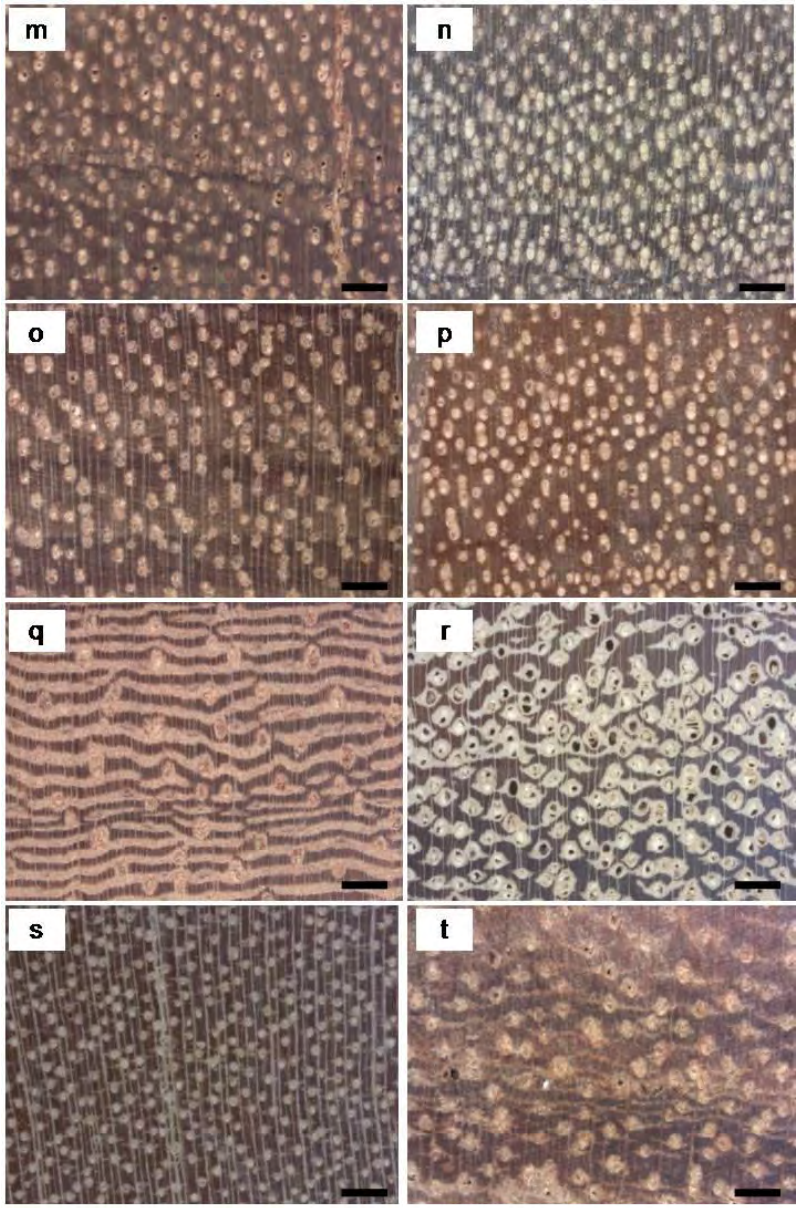


Figura 4. Imagem macroscópica da superfície transversal. m) *Licaria cannela;* n) *Mezilaurus itauba*; o) *Ocotea leucoxylon*; p) *Ocotea odorifera*; q) *Erisma uncinatum*; r) *Qualea paraensis*; s) *Vochysia densiflora*; t) *Vochysia maxima*. Escala 1mm.

4. Referências bibliográficas

Coradin, V. T. R. y G. I. B. Muñiz, 1991 Normas de procedimentos em estudos de anatomia da madeira: i. Angiospermae; ii. Gimnospermae. Lpf, série técnica, 15, Brasília, 1991.

Flora do brasil 2020 (em construção). Jardim botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2016

IAWA. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *Iawa bulletin*, v.10, n.3, p.219-332.

IMAZON - Instituto do homem e meio ambiente da Amazônia. 2010. A atividade madeireira na amazônia brasileira. Serviço florestal brasileiro (sfb). 20p. Belém.

Monteiro, A. L. S.; JR. C. M. S. Souza; P. G. Barreto; F. L. S. Pantoja y J. J. Gerwing. 2004. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da amazônia legal. *Scientia forestalis*, n.65, p.11-21.

Ministério do meio ambiente. Portaria mma 443, de 17 de dezembro de 2014 - Lista nacional oficial de espécies ameaçadas de extinção.

Capitulo 3

Uso do NIR na discriminação da madeira e carvão de 20 espécies do Mato Grosso, Brasil

Nisgoski, S.[1]; F. Zatt Schardosin[2]; R. Faria França[2] y G. I. Bolzon de Muñiz[1]

1. Introdução

A discriminação de diferentes espécies através da madeira necessita de pessoas treinadas e com conhecimento da composição anatômica de cada material, além de amostras cadastradas em xilotecas e laminários com a maior abrangência possível. O método mais tradicional é baseado em caracteres visuais, o que nem sempre leva à identificação em nível de espécie, havendo casos em que não é possível a determinação do gênero, sendo confirmada apenas a família à qual a amostra pertence (Gasson, 2001).

No caso da fiscalização de amostras de carvão vegetal este trabalho torna-se ainda mais complexo uma vez que existem alterações no aspecto visual, alterações das propriedades organoléticas, rupturas e fibras vitrificadas, as quais surgem em função da temperatura, tempo e processo de carbonização.

Técnicas alternativas para a discriminação de amostras em campo são baseadas na reflectância no infravermelho próximo (NIR), a qual tem sido aplicada em diferentes ramos da indústria de base florestal (Tsuchikawa e Schwanninger, 2013).

A utilização do NIR para discriminação de espécies foi demonstrada em trabalhos de Braga *et al.* (2011), Pastore *et al.* (2011), Russ *et al.* (2009) Sandak *et al.* (2011); Nisgoski *et al.* (2015a); Hwang *et al.* (2016), entre outros, utilizando diferentes granulometrias e formatos de amostra, além de origens geográficas. Para material carbonizado o processo de carbonização (Monteiro *et al.*, 2010) e a distinção de

[1] Laboratorio de Anatomia e Qualidade da Madeira Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil. E-mail: Silvana.ufpr@gmail.com
[2] Doutorandos na Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil.

espécies com material maciço está em fase inicial (Nisgoski *et al.*, 2015b; Muñiz *et al.*, 2016).

Este capítulo teve como objetivos a discriminação da madeira e carvão de vinte espécies do Mato Grosso através do infravermelho próximo utilizando-se amostras maciças. Também foram avaliados diferentes pré-tratamentos.

2. Material e métodos

As amostras das espécies (Tabela 1, Figura 1-2) são provenientes do município de Nova Maringá, estado do Mato Grosso (13°1'2"S, 57°4'8"W). As árvores foram cortadas em uma floresta natural, e discos do tronco com espessura aproximada de 80 mm foram retirados na altura do DAP (1,30m). Amostras de cada espécie, com dimensões de 2x2x5 cm e orientadas nos três sentidos anatômicos foram obtidas envolvendo a variação medula casca. As amostras foram secas ao ar livre e permaneceram em câmara climatizada com temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de 65 ± 1 %.

Para a produção de carvão, as amostras foram envolvidas em papel alumínio e carbonizadas em mufla com temperatura final de 450 °C e taxa de aquecimento de 1,66 °C/min. O material carbonizado permaneceu na temperatura final por duas horas. A folha de alumínio só foi removida para a obtenção dos espectros de infravermelho.

Tabela 1. Espécies estudadas e legenda das Figuras 1 e 2.

Nome científico	Família	Figura
Astronium gracile	Anacardiaceae	a
Astronium lecointei	Anacardiaceae	b
Aspidosperma populifolium	Apocynaceae	c
Handroanthus album	Bignoniaceae	d
Jacaranda copaia	Bignoniaceae	e
Trattinickia burserifolia	Burseraceae	f
Apuleia molaris	Fabaceae	g
Hymenaea courbaril	Fabaceae	h
Poeppigia procera	Fabaceae	i
Sclerolobium paniculatum	Fabaceae	j
Piptadenia communis	Fabaceae	k
Goupia glabra	Goupiaceae	l
Licaria cannela	Lauraceae	m
Mezilaurus itauba	Lauraceae	n
Ocotea leucoxylon	Lauraceae	o
Ocotea odorifera	Lauraceae	p
Erisma uncinatum	Vochysiaceae	q
Qualea paraensis	Vochysiaceae	r
Vochysia densiflora	Vochysiaceae	s
Vochysia maxima	Vochysiaceae	t

A obtenção dos espectros em infravermelho próximo foi efetuada em um espectrofotômetro Tensor 37 da Bruker (Bruker Optics, Ettlingen, Germany) operando em reflectância difusa, 64 scans e resolução de 4 cm^{-1} na faixa de 4000-10000 cm^{-1}. Em uma sala com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de 60 %, as amostras maciças de madeira e carvão foram colocadas diretamente na superfície da esfera de integração e foi obtido um espectro em cada face da amostra (seção transversal, radial e tangencial), resultando em seis espectros separados para cada amostra física em um total de 48-60 por espécie em função do diâmetro da árvore. Para a análise, foi efetuada a média dos espectros de cada amostra.

O programa Unscrambler X (version 10.1, from CAMO Software AS) foi utilizado para a análise dos dados. A análise exploratória foi efetuada através dos gráficos de *scores* e *loadings* obtidos pela Análise de Componentes Principais (PCA) para verificar as possíveis diferenças. Os modelos individuais foram baseados no algoritmo NIPALS e validação cruzada. Os dados foram analisados de forma original e com os pré-tratamentos de primeira derivada de Savitzy-Golay (polynomial order = 1, smoothing point = 2) e segunda derivada de Savitzy-Golay (polynomial order = 2, smoothing point = 3). A coleta e análise de dados seguiram a norma ASTM E1655-05 (ASTM 2000).

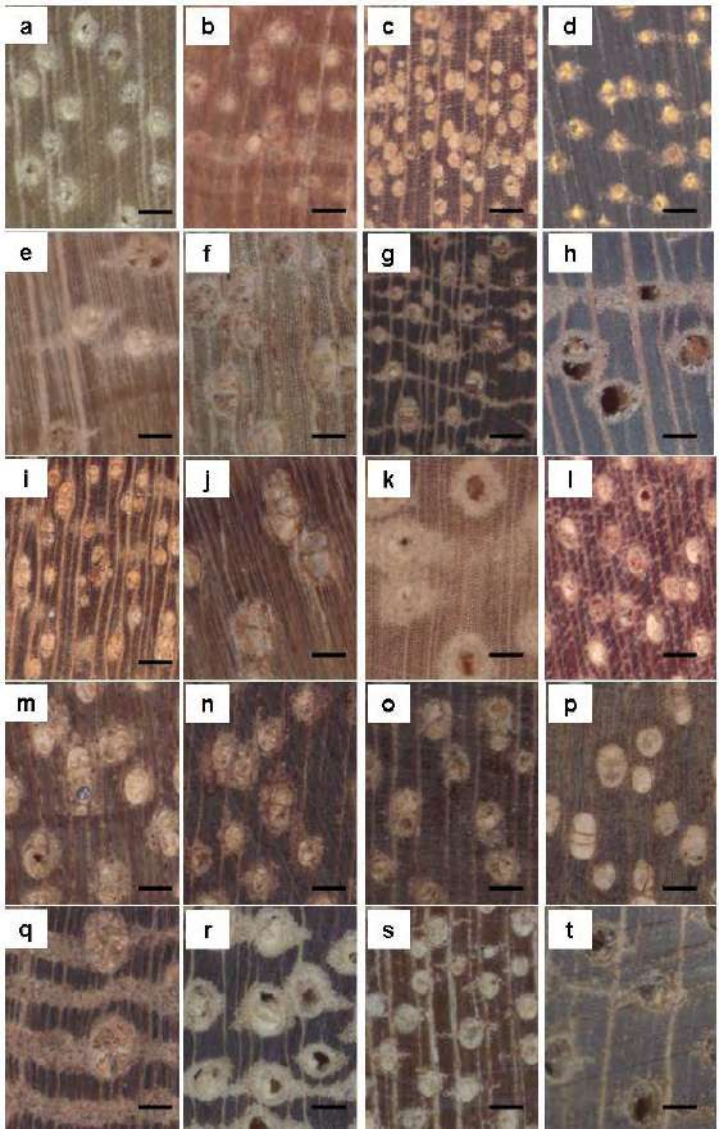


Figura 1. Imagem em estereomicroscópio da superfície transversal da madeira das 20 espécies estudadas. Escala = 200 μm.

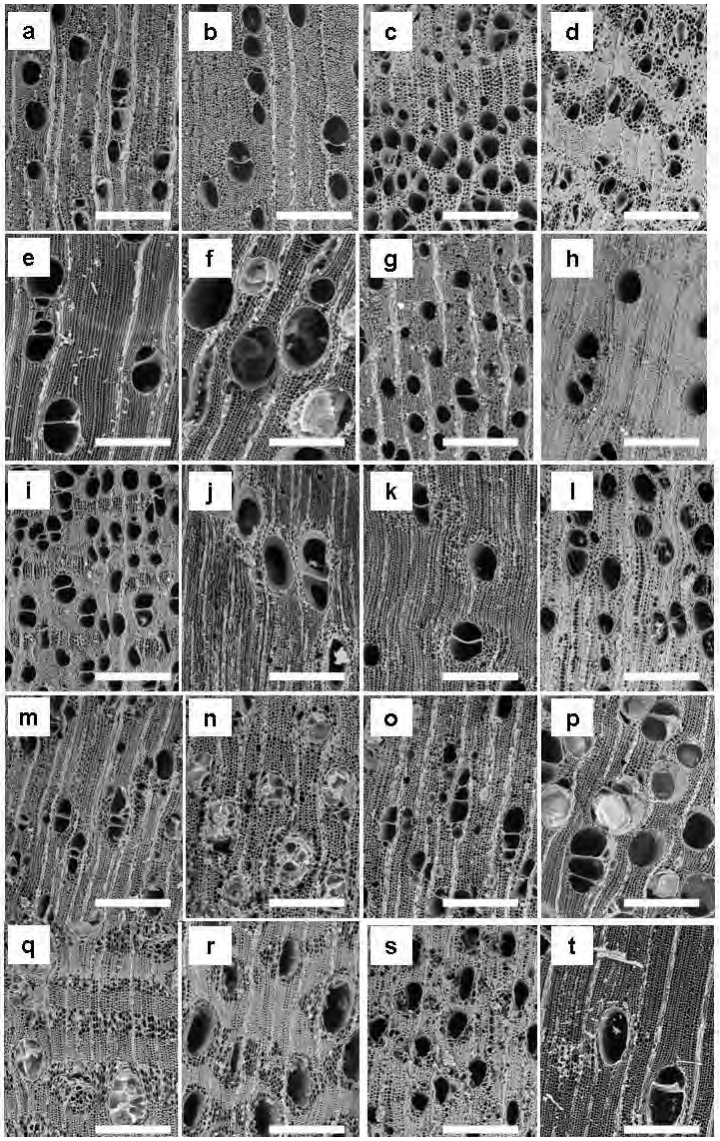


Figura 2. Imagem em microscopia eletrônica de varredura da superfície transversal do carvão das 20 espécies estudadas. Escala = 200 μm.

3. Resultados e discussão

As análises foram efetuadas para a visualização individual de todas as espécies e também o agrupamento por família (Figura 3).

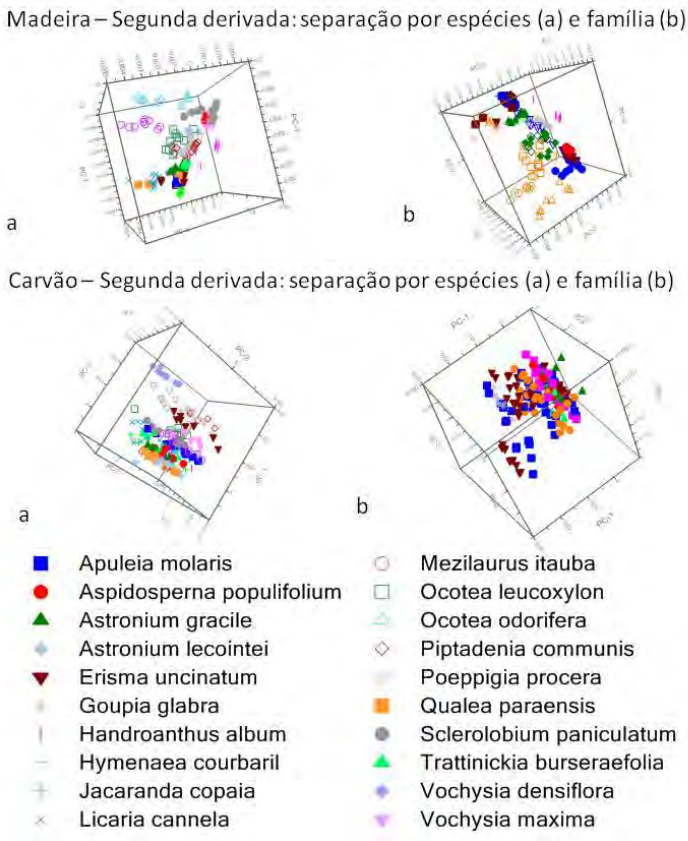


Figura 3. Análise de componentes principais para os dados em segunda derivada da madeira e carvão de 20 espécies do Mato Grosso.

Os melhores resultados foram obtidos com os dados em segunda derivada, tanto para madeira quanto para carvão. Outros trabalhos também evidenciaram a utilização da segunda derivada com sucesso na discriminação de espécies (Sandak *et al.,* 2011; Zhang *et al.,* 2014, Muñiz *et al.,* 2016).

Para a madeira é possível visualizar a distinção de algumas espécies (*Handroanthus album, Licaria cannela, Mezilaurus itauba*, *Ocotea odorifera*) e a proximidade entre outras como *Aspidosperma populifolium, Sclerolobium paniculatum e Vochysia máxima;* entre *Astronium lecointei, Goupia glabra, Ocotea leucoxylon e Piptadenia communis;* entre *Apuleia molaris, Astronium gracile, Erisma uncinatum, Qualea paraensis* e *Trattinickia burserifolia.* O agrupamento não está relacionado com a densidade do material, uma vez que existem espécies com características distintas bem próximas, como o exemplo de *Astronium gracile* (pesada) e *Trattinickia burserifolia* (leve).

Os valores de absorção e reflexão no espectro de infravermelho próximo (NIR) são diferentes de acordo com a espécie e estão relacionados com a composição anatômica e química da madeira. Variações podem ocorrer dependendo do ponto

onde a medida foi efetuada e da irregularidade da superfície, mas mesmo assim a discriminação das espécies é possível (Brunner *et al.,* 1996). Para material maciço o indicado é um maior número de amostras uma vez que a superfície (Braga *et al.,* 2011) e a granulometria (Nisgoski *et al.,* 2015a) afetam a distribuição do material.

Em outros estudos com madeira maciça, com base na observação do gráfico de *scores* da Análise de Componentes Principais, espécies da família Moraceae e Euphorbiaceae (Nisgoski *et al.,* 2015b), Fabaceae (Muñiz *et al.*, 2016) e diferentes procedências de *Criptomeria japonica* (Nisgoski *et al.*, 2016) foram diferenciadas.

Observando-se o agrupamento das espécies por família, verifica-se que as lauráceas (laranja) são as mais destacadas. Existe uma proximidade entre as espécies de *Astronium* (verde), a espécie *Vochysia maxima* está distante das outras Vochysiaceae (vinho). As fabáceas (azul) também estão alinhadas.

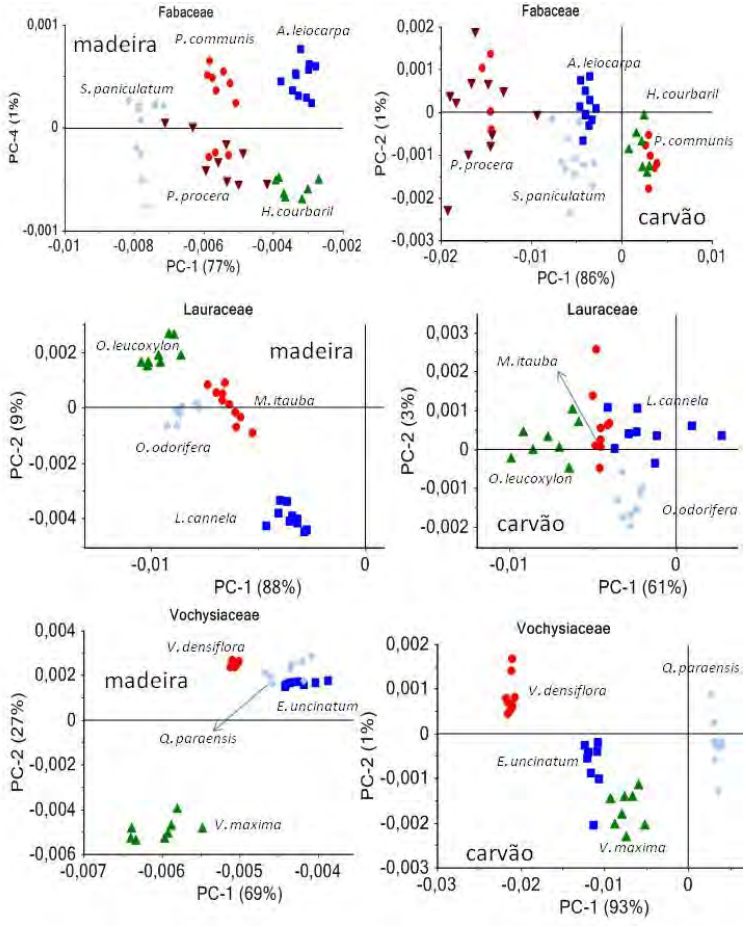


Figura 4. Análise de componentes principais para a madeira e carvão das espécies das famílias Fabaceae, Lauraceae e Vochysiaceae.

No caso das amostras de carvão, embora as espécies estejam próximas existe uma tendência de separação da maior parte delas. Em relação às famílias, como o processo de carbonização utilizado foi o mesmo para todas as amostras, a diferente degradação é proveniente das características individuais das espécies. Não é possível observar uma separação clara das famílias, mas a tendência é bem evidente.

Nisgoski *et al.* (2015b) trabalhando com duas espécies da família Moraceae e duas de Euphorbiaceae só observaram a distinção da família após a carbonização das espécies. Muñiz *et al.* (2013) verificou a separação de cinco espécies. A variação em um mesmo processo de carbonização é resultado da composição química da espécie analisada. A degradação dos principais componentes da madeira é diferente dependendo se estão isolados ou na matriz celular (Popescu *et al.*, 2011) e também de acordo com a temperatura e tempo de exposição durante a carbonização (Smith *et al.*, 2012).

A diferenciação das espécies dentro de cada família (Figura 4) reforça a influência da composição individual de cada material. No caso das lauráceas, os extrativos que determinam o odor característico de cada madeira são degradados durante a carbonização, diminuindo a distinção dos grupos de amostras de carvão.

4. Considerações finais

Existe influência das características da superfície da amostra no uso de madeira maciça. As irregularidades afetam o espectro, assim como a superfície analisada (topo ou laterais).

O melhor pré-tratamento para diferenciação das 20 espécies do Mato Grosso foi a segunda derivada. A região do espectro relativa às bandas de água deve ser eliminada uma vez que há variação da umidade de equilíbrio entre as espécies.

A técnica de infravermelho próximo (NIR) pode ser utilizada na fiscalização em campo para a discriminação de amostras maciças de madeira ou carvão, sendo o primeiro passo para uma avaliação prévia e rápida sobre a condição do material, se protegido ou proibido de corte.

5. Referências bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1655 – *Standard practices for infrared multivariate, quantitative analysis*. ASTM, 2012. 29p.

Braga, J.W.B.; Pastore, T.C.M.; Coradin, V.T.R.; Camargos, J.A.A.; Silva, A.R.D. 2011. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (cites appendix II). *Iawa Journal*, 32(2):285-296.

Brunner, M.; Eugster, R.; Trenka, E.; Bergamin-Strotz, L. 1996. FT-NIR spectroscopy and wood identification. *Holzforschung* 50(2): 130-134.

Davrieux, F. ; Rousset, P.L.A.; Pastore, T.C.M.; Macedo, L.A.; Quirino, W.F. 2010. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. *Química Nova* 33(5):1093–1097.

Gasson, P. 2011. How precise can wood identification be? Wood Anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA Journal* 32(2): 137-154.

Hwang, S.W.; Horikawa, Y.; Lee, W.H.; Sugiyama, J. 2016. Identification of *Pinus* species related to historic architecture in Korea using NIR chemometric approaches. *Journal of Wood Science* 62:156–167. doi: 10.1007/s10086-016-1540-0

Monteiro, T.C.; Silva, R.V.; Lima, J.T.; Hein, P.R.G.; Napoli, A. 2010. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. *Cerne* 16(3): 381-390.

Muñiz, G.I.B.; Carneiro, M.E.; Nisgoski, S.; Ramirez, M.G.L.; Magalhães, W.L.E. 2013. SEM and NIR characterization of four charcoal species. *Wood Science and Technology* 47(4): 815-823. doi 10.1007/s00226-013-0539-6.

Muñiz, G.I.B.; Carneiro, M.E.; Batista, F.R.R.; Schardosin, F.Z.; Nisgoski, S. 2016. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as "angelim" by near-IR and wood anatomy. *Maderas. Ciencia y Tecnología,* 18(3): ahead of print.

Nisgoski, S.; Carneiro, M.E.; Muñiz, G.I.B. 2015a. Influencia de la granulometría de la muestra en la discriminación de especies de *Salix* por infrarrojo cercano. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 17(1):195-204. doi: 10.4067/S0718-221X2015005000019

Nisgoski, S.; Muñiz, G.I.B.; Morrone, S.R.; Schardosin, F.Z.; França, R.F. 2015b. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. *Ciência da Madeira* 6(3): 183-190. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n3p183-190

Nisgoski, S.; Schardosin, F.Z.; Batista, F.R.R.; Muñiz, G.I.B.; Carneiro, M.E. 2016. Potential use of NIR spectroscopy to identify *Cryptomeria japonica* varieties from southern Brazil. *Wood Science and Technology* 50(1): 71-80. doi: 10.1007/s00226-015-0783-z

Pastore, T.C.M.; Braga, J.W.B.; Coradin, V.T.R.; Magalhães, W.L.E.; Okino, E.Y.A.; Camargos, J.A.A.; De Muñiz, G.I.B.; Bressan, O.A.; Davrieux, F. 2011. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: discrimination of true magogany, cedar, andiroba and curupixá. *Holzforschung*, 65(1):73-80.

Popescu, M.C.; Popescu, C.M.; Lisa, G.; Sakata, Y. 2011. Evaluation of morphological and chemical aspects of different wood species by spectroscopy and thermal methods. *Journal of Molecular Structure* 988: 65-72. doi: 10.1016/j.molstruc.2010.12.004

Russ, A.; Firesova, M.; Gigac, J. 2009. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy. *Wood Research* 54(4): 23-32.

Sandak, A.; Sandak, J.; Negri, M. 2011. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. *Wood Science and Technology*, 45(1):35-48, 2011.

Schwanninger, M.; Rodrigues, J.C.; Fackler, K. 2011. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 19: 287-308. doi: 10.1255/jnirs.955

Siesler, H.W.; Ozaki, Y.; Kawata, S.; Heise, M. 2002. Near infrared spectroscopy: principle, instrumentation and applications. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.

Smith, A.J.; MacDonald, M.J.; Ellis, L.D.; Obrovac, M.N.; Dahn, J.R. 2012. A small angle X-ray scattering and electrochemical study of the decomposition of wood during pyrolysis. *Carbon* 50: 3717-3723. doi: 10.1016/j.carbon.2012.03.045

Tsuchikawa, S.; Schwanninger, M. 2013. A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). *Applied Spectroscopy Reviews* 48:560-587.

Yonenobu, H.; Tsuchikawa, S. 2003. Near-Infrared spectroscopic comparison of antique and modern wood. *Applied Spectroscopy* 57(11): 1451-1453.

Zhang, X.; Yu, H.; Li, B.; Li, W.J.; Li, X.; Bao, C. 2014. Discrimination of *Pinus yunnanensis*, *P. kesiya* and *P. densata* by FT-NIR. *Journal Chemical Pharmaceutical Resources* 6(4): 142-149.

Capítulo 4

Pasajes de la historia colonial contados a través de las maderas

Giménez, A. M.[1]; J. G. Moglia[2]; F. Calatayu[2]; M. E. Figueroa[2] y J. A. Diaz Zirpolo[2]

Introducción

La madera es el material que de forma ininterrumpida ha acompañado al hombre desde la más remota antigüedad hasta nuestros días, quedando su historia íntimamente ligada a la humanidad. La llegada de la revolución industrial durante los siglos XVIII y XIX permitió el desarrollo de otros productos como el hormigón armado y el acero. Dada la sencillez de manufactura en serie y a la capacidad de cubrir mayores luces, se erigieron progresivamente como materiales estructurales predominantes en el siglo XX relegando la utilización de la madera a construcciones de menor entidad (Herrero *et al.*, 2007).

Actualmente en el mundo, existen construcciones históricas en madera, y cada vez es más relevante el interés de su conservación y restauración. Blanchette *et al.* (2005) resaltan que los elementos históricos construidos con madera s; on importantes objetos culturales, los cuales proporcionan valiosa información acerca del pasado.

En España es creciente en los últimos años, tanto a nivel nacional como regional, la realización de importantes actuaciones en materia de patrimonio histórico y cultural, destacando el amplio despliegue legislativo que se generó a tal propósito (Basterra *et al,* 2005). Las actividades de conservación son potenciales fuentes de trabajo y representan un valioso elemento del espacio socio-cultural y de dinamización económica dentro de una política sostenible de los recursos regionales. La madera, un material abundante y fundamental en el patrimonio inmobiliario y monumental de España, no ha recibido hasta la fecha la atención

[1] Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: amig@unse.edu.ar
[2] Laboratorio de Anatomía de Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

que su protagonismo requiere. Por falta de conocimientos profesionales, en muchos casos es sustituido el material original por otros elementos como cemento, acero, etc. Los autores señalan que parte de ello subyace en una información científica y técnica insuficiente sobre la fiabilidad estructural de la madera a lo largo del tiempo. Proponen una metodología básica de diagnóstico, tipificación y tratamiento de maderas usadas en estructuras, constituyendo una base técnica científica a partir del cual legislar.

En Argentina es aún mayor el vacío, ya que escasa es la conciencia de conservación del patrimonio cultural edilicio. Salvo en contadas ocasiones en algunas provincias argentinas (Buenos Aires, Córdoba, Salta), las construcciones antiguas, han sido demolidas.

La restauración de obras patrimoniales contempla inmuebles con estructuras y elementos de maderas como techos, entrepisos, carpintería, balaustradas, etc. En la mayoría de los casos la madera se encuentra deteriorada por el paso del tiempo, la falta de mantenimiento y la exposición a agentes climáticos y biológicos. Por ello con frecuencia es indispensable la sustitución de algún elemento o la preservación con tratamiento químicos, para la conservación del material (Alonso *et al.*, 2001).

Surge el interrogante de cómo actuar ante casos de deterioro y pudrición de la madera ¿Se reemplaza por el mismo material o se incluyen otros elementos?

Para la primera incógnita se requiere la determinación de la madera, ya sea para sustituirla por la misma o seleccionar especies con propiedades similares, así como para conocer la durabilidad natural de las mismas (Cuza Pérez *et al.*; 2005).

Para tratar integralmente la protección del patrimonio cultural, como en el caso de las Misiones Jesuíticas de los Guaraní, la idea es valorizar los remanentes misioneros por medio del rescate de su documentación histórica, sus estructuras arquitectónicas y arqueológicas, recuperando la distribución espacial de los antiguos poblados (Villegas Jaramillo, 2006).

¿Cuáles son los métodos disponibles y más adecuados para evaluar el estado de las estructuras de maderas?

Actualmente, en el campo de la conservación de material arqueológico a nivel mundial existe una seria preocupación en relación a los diferentes métodos implementados para el tratamiento de objetos de naturaleza orgánica, ya que en el curso de este siglo se han utilizado una serie larga de ellos que han tenido una variada gama de resultados.

Hoy mucha de esa información se ha sistematizado y se conocen cuantiosos fenómenos que se producen en la madera que ha permanecido sepultada en el contexto arqueológico y que por determinadas circunstancias ha llegado al mundo

moderno a través de las excavaciones arqueológicas. Las observaciones y los análisis practicados a los múltiples objetos han marcado una línea de estudio que ha enfatizado en la determinación de los procesos de deterioro para desembocar en un tratamiento mucho más preciso que atenúe esas condiciones de alteración y transformación acentuadas (Alonso *et al.*, 2001).

Mengyu Dong *et al.* (2017) examinaron cincuenta componentes estructurales principales de quince edificios históricos de madera en la Provincia de Shanxi, China y que datan de la dinastía Tang a la Qing. Se identificaron los géneros: *Cupressus, Larix, Malus, Picea, Pinus Subg. Diploxylon, Populus, Quercus, Sophora, Sorbus, Ulmus* y *Zizyphus*, mediante técnicas habituales de microscopía óptica. La selección de las maderas usadas proviene del área de distribución natural de las especies. La mayoría de los géneros identificados son nativos de las regiones de las construcciones

No obstante, los numerosos antecedentes existentes sobre las construcciones jesuíticas y el empleo de las maderas en las mismas, en muy pocas se hace hincapié, cuales son las especies empleadas en cada tipo de usos. En el caso de Argentina, las maderas del Gran Chaco participan significativamente en restos arqueológicos y construcciones históricas, así como en usos prehispánicos (Gonzales, Frere, 2009).

Díaz (2012) analiza el porqué de la escasez de maderas en el registro arqueológico de la Ciudad de Buenos Aires. Su análisis general y particular de los datos permitió hipotetizar que posiblemente la poca visibilidad de las maderas en el registró arqueológico porteño fue dada por la suma y articulación conjunta de diversos factores como la distribución geográfica de los bosques nativos, las características climáticas de la ciudad y la limitación de los recursos para ciertos sectores sociales, entre otros.

La principal dificultad en el trabajo con maderas pertenecientes a construcciones históricas es que el material es reducido, irregular y muy difícilmente se acerca a las normas para la preparación de material microscópico (Giménez *et al.,* 2014). Hay actualmente otras opciones para analizar las maderas por métodos no destructivos. Fioravanti *et al. (*2017) analizan instrumentos musicales antiguos con técnicas como microscopía de luz reflejada con dispositivo portátil con ampliaciones de 50× a 200× y LED (Light-Emitting Diode), para escanear aplicando Luz de sincrotrón X-ray μCT en modo de contraste de fase.

La cubierta de los edificios históricos es uno de los elementos constructivos que sufre con mayor rigor el paso del tiempo. La acción de los agentes atmosféricos o la falta de mantenimiento son las causas habituales de su deterioro (Gómez Sánchez, 2006) y en muchos casos, el comienzo del colapso integral del edificio.

Garabito López *et al.* (2015), después de analizar las lesiones observadas y describir las actuaciones realizadas para la rehabilitación estructural y constructiva de los edificios, recuperando así su carácter histórico y monumental, establece un diálogo conceptual entre la restauración y la reconstrucción arquitectónica. Los

criterios de actuación seguidos en los diferentes edificios son muy diferentes. Analizando las consideraciones estrictamente arquitectónicas, la restauración o la reconstrucción de las cubiertas pueden considerarse en ambos casos dos técnicas válidas en el objetivo de reconfigurar el edificio, manteniendo la esencia monumental e histórica del mismo.

La intervención arquitectónica persigue siempre la recuperación de la edificación y la conservación del legado en toda la extensión posible. Elegir entre la opción de restaurar o la de reconstruir los elementos constructivos, siempre debe ser una decisión profesional fundamentada en un diagnóstico adecuado sustentado en criterios profesionales (Noguera Jiménez, 2002). Antes de intervenir un monumento es preciso contar con la caracterización de los procesos patológicos, su origen y el grado de afección de los componentes de la construcción. En base a ello se establecerán criterios y prioridades a adoptar. Hay que decidir sobre que piezas sustituir, si es con el mismo material y el mismo sistema constructivo. Arquitectos, ingenieros civiles, especialistas en madera, deben dar la respuesta en conjunto.

Terán Bonilla (2004) indica que, en la elección adecuada de los materiales y técnicas de restauración para la solución de cada problema, requiere del conocimiento de los mismos, de su naturaleza, características, propiedades, saber cómo funcionan, su comportamiento y tiempo de vida útil, valorar las ventajas y consecuencias positivas y negativas que pueden traer su empleo en la restauración.

Además del diagnóstico técnico puramente constructivo es necesario también conocer la evolución histórica del monumento, estableciendo la temporalidad de las diferentes fases de actuación, las intervenciones precedentes y los motivos que las fundamentaron. Una buena recopilación bibliográfica y documental en archivos del propio monumento, es una opción a considerar para afianzar los criterios y decisiones adoptados. Conservar el legado es el propósito, pero la realidad de los hechos debe llevar a la reflexión y ponderar la opción de reconstruir lo que no puede ser restaurado, manteniendo en lo posible la naturaleza primigenia del edificio, eligiendo los materiales más parecidos a los originales y aplicando las técnicas constructivas que respeten la singularidad de la edificación. Cuando el sistema constructivo de la estructura prevalezca sobre otras consideraciones de carácter meramente arquitectónico, deberá prevalecer el criterio más restrictivo en el momento de planificar la intervención, respetando siempre la esencia histórica del monumento.

Amplia es la experiencia de Gómez y su equipo (Gómez *et al.* 2010), que desde la Facultad de Arquitectura, Urbanismo. y Diseño (U.N.C) y como Delegado en Argentina de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, realizan una labor extraordinaria en la restauración de edificios monumentales. A partir del análisis de la estructura de madera, ensayos físicos, mecánicos y anatómicos, se determina la capacidad resistente del material y por ende de la estructura en cuestión.

Gómez *et al.* (2008) a través del estudio del techo de construcciones jesuíticas del siglo XVII, verificó el estado de la construcción, afectada por deterioro. Concluye que gracias al sobredimensionamiento de las piezas, el mismo no colapsó. Se reemplazaron piezas dañadas con idéntica madera. El uso de la gammagrafía como técnica no destructiva para obtener información sobre posibles daños producido por las termitas en arcos, vigas y tablones de madera, permitieron la comparación con los anteriormente verificados y así poder aconsejar la preservación de este sector del techo como muestra intacta desde su ejecución en 1668.

Durante 10 años el Laboratorio de Anatomía de Madera (LAM) de la Facultad de Ciencias Forestales, UNSE y UNC han trabajado conjuntamente en la recuperación del patrimonio edilicio de construcciones históricas, colaborando con la determinación de maderas empleadas, para el posterior cálculo de la seguridad de la estructura (Giménez *et al.*, 2013).

En el presente capítulo se hace un resumen de lo actuado por el LAM en la identificación de maderas utilizadas en los edificios históricos, considerar su aptitud de uso y el estado de conservación de las piezas estructurales, para decidir si continúan en uso o requieren su reemplazo.

¿Por qué estudiar la identidad de las maderas de construcciones históricas?

La incógnita de los profesionales a cargo de la conservación de un edificio histórico, varía entre restaurar o reconstruir los elementos arquitectónicos. En ambos casos, se parte de la naturaleza del material y por ello en el caso de madera, se requiere conocer la identidad de la pieza a intervenir.

La madera investigada fue tomada de los componentes estructurales de edificios históricos que presentaron deterioro producido principalmente por humedad y termitas. Se recogieron bloques de madera de techos, columnas principales, vigas y otros partes, con el fin de obtener información clave de cada edificio. Un total de 17 unidades de muestra en 6 construcciones históricas de los siglos XVII y XVIII.

El material estudiado es el siguiente:

A. **Capilla doméstica**, construcción jesuítica (1650) Córdoba, Argentina (M1: Arcos, M2: viga recta; M3: tablones; M4: cordón superior; M5 y M6: liernes).

B. **Casa de Liniers,** Bs. As., Argentina (1780). Pórtico de la casa histórica (M 7: tablero; M8: marco de la puerta).

C. **Estancia Santa Catalina Jesús María (**1622) Córdoba, Argentina (M9: viga de madera de techo de galería; M10: base de columna de madera de galería sección semicircular).

D. **Museo jesuítico de Jesús María**, Córdoba, Argentina (M11: techo de la galería; M12: cabios, M13: vigas).

E. **Templo de San Buenaventura de Yaguarón** (**1755)** Paraguay (M 14: cabios de galerías perimetrales, M15: arcos de bóveda interior en la sacristía del templo).

F. **Ex-Biblioteca de la residencia de los Padres Jesuitas** (1650) Córdoba, Argentina. M16: cordón Inferior- cabriada ex-biblioteca, M17: nudillo-cabriada ex-biblioteca.

Los bloques se tomaron utilizando cuchillas de escalpelo, con el fin de evitar daños visibles a su integridad estructural. Las muestras fueron analizadas macro y microscópicamente. Las observaciones se realizaron con microscopio óptico y electrónico de barrido (MEB). En las descripciones del leño se siguió la terminología propuesta por IAWA (Wheeler *et al.*, 1989) y Tortorelli (2009). Las imágenes fueron tomadas con video cámara Sony. Además se trabajó con MEB Hitachi TM 1000 Tabletop del Laboratorio de Anatomía de Madera de la UFPR, Curitiba, Brasil. Se utilizó en primera instancia las claves de Tortorelli (2009) y DELTA Data Base para la determinación de especies. Se cotejó las muestras con material de la xiloteca del LAM Laboratorio de Anatomía de Madera de INSIMA, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, Argentina.

Las construcciones coloniales jesuíticas

En la época de la colonia (Siglo XVI al XVIII), las misiones Jesuíticas fueron estructuras socio-religiosas que propiciaban la reunión de comunidades indígenas en un pueblo, para ser evangelizadas. Se trató de instituciones creadas y administradas casi en su totalidad por jesuitas o franciscanos. Durante más de siglo y medio en América del Sur, los indígenas y los jesuitas coincidieron en un escenario poblado por signos de cristianismo, las heterodoxas liturgias, el trabajo ritualizado y colectivo. Los jesuitas supieron aprovechar las habilidades artísticas de los indígenas. Los artesanos indígenas pronto aprendieron el uso y las técnicas para el trabajo de la madera incorporando los modelos que habían llegado de Europa, a sus propias expresiones locales. Los conjuntos religiosos son producto de la simbiosis creada entre la técnica constructiva nativa y el estilo barroco de procedencia europea (Page, 1999).

La construcción, más emblemática de la misión fue la iglesia. En los templos, se destaca un sistema constructivo original basado en la estructura portante de pórticos de madera, que trabajan independientemente de los cerramientos y sostienen la cubierta monolítica a dos vertientes (Rodríguez Trujillo, 2010). La misma estaba constituida con un techo de madera, sostenida por columnas de madera dura labrada y horcones en las naves laterales formando un sistema estructural de madera casi independiente de los muros. En las construcciones se empleó siempre la madera local. Estas construcciones son un referente muy interesante de la edificación durante el período virreinal.

A. Capilla doméstica

En 1599 los jesuitas se radican en Córdoba, en el solar cedido por el Cabildo de la ciudad, donde existía desde hacía una década una pequeña ermita. A partir de 1606 comienzan las obras de edificación que darían forma a la actual Manzana Jesuítica. La misma comprende un bloque integrado por la iglesia, la capilla doméstica, la residencia de la orden y el Rectorado de la Universidad Nacional de Córdoba –antiguo Colegio Máximo de la Compañía de Jesús (1610) con sus dependencias administrativas, claustro, salón de grados, Biblioteca Mayor y Colegio Nacional de Monserrat (Venturini, 2003). La iglesia y la capilla doméstica se levantaron entre 1644 y 1671. La ermita, una de las construcciones eclesiásticas más antiguas que se conserva en el país, constituye la sacristía de la capilla doméstica (Fig. 1). Es el templo más antiguo de la Argentina, el primer patrimonio arquitectónico jesuita registrado en el país. Los detalles de su fachada, emerge como una fortaleza pétrea. La carencia en la región de maderos con dimensiones suficientes, impuso una original manera constructiva para su bóveda: la nave posee forma de casco o quilla de barco invertido (Page, 1999).

Gómez y Ruata (2002) analizan desde un modelo conceptual el comportamiento estructural de la Iglesia de la Compañía de Jesús en Córdoba. Las cubiertas de maderas empleadas en el siglo XVII se basaban en las posibilidades tecnológicas, conformadas por elementos lineales: vigas y puntales. El sistema copia los que usa la naturaleza. La viga como si fuese una rama principal que a su vez recibiera las cargas de una mayor cantidad de ramas más pequeñas que soportan representados por las hojas.

Ante signos evidentes de deterioro en el techo por filtraciones, se decide la intervención de la estructura iniciando la actividad por la evaluación primaria y la determinación de las maderas de las piezas afectadas en primer grado (Giménez *et al.*, 2014).



Fig. 1. Vista de Iglesia de la Compañía de Jesús en Córdoba.

Se trabajó con muestras pertenecientes a M1: Arcos, M2: viga recta; M3: tablones; M4: cordón superior; M5 y M6: liernes.

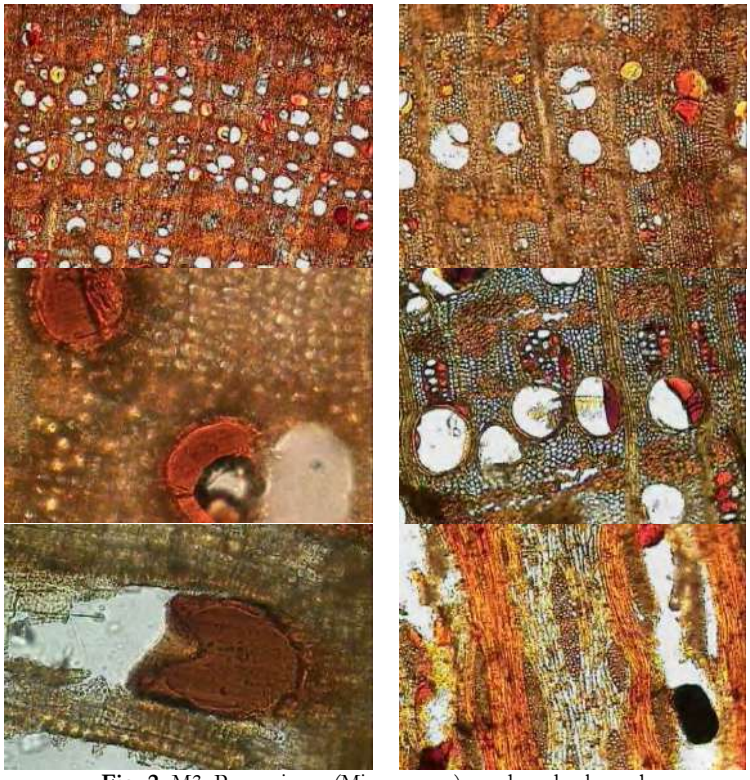


Fig. 2. M3: Prosopis sp. (Mimosaceae), madera de algarrobo

M4- del cordón superior de la Ex-biblioteca. Residencia Jesuítica (Fig.3).

M4: *Juglans australis*, madera de nogal criollo

Madera de color castaño violáceo, veteado suave, textura media y heterogénea. Leño de porosidad semicircular a difusa.

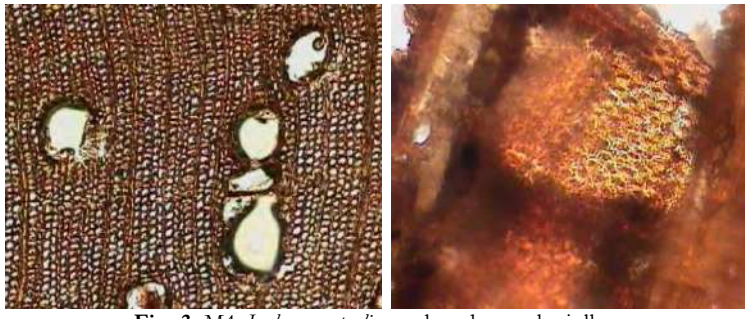


Fig. 3. M4: *Juglans australis*, madera de nogal criollo

Muestra 6 - Liernes inferior empleada en el cordón Inferior de la cabriada de la ex-biblioteca

Tabebuia avellanedae (Lapacho), Bignoniaceae, madera de lapacho

Madera parda verdosa, muy dura y pesada, de textura fina y heterogénea y grano entrelazado. Leño con porosidad difusa, poros solitarios (60%), múltiples cortos, escasos múltiples largos.

B. Casa de Liniers, ciudad de Buenos Aires (siglo XVIII) Pórtico

La Casa de Santiago de Liniers, en la ciudad de Buenos Aires fue declarada Monumento Histórico Nacional por Decreto 120412/1942 (Fig. 4). Localizada en la calle Venezuela 469, su primer propietario fue don Martín Simón de Sarratea, suegro de Santiago de Liniers, penúltimo virrey del Río de la Plata. El propio Liniers, jefe de la Reconquista de Buenos Aires durante las Invasiones Inglesas, vivió en esa casa entre 1806 y 1809. Allí se trataron los términos de la capitulación del general Beresford.

De la construcción original, con características propias del período colonial, tales como los muros anchos, la cubierta de tejas, las ventanas enrejadas y una maciza puerta de entrada, se conserva solamente la fachada y unas pocas paredes. El interior del edificio, que pertenece actualmente a la Editorial Estrada, sufrió severas.

Se trabajó con partes del Pórtico para analizar las maderas del que fue construida: M7 tableros de la puerta y M8: marco (Giménez *et al.;* 2016).

Muestra 7 tableros de la puerta

La muestra pertenece a: *Cedrela sp.* (Meliáceas).

Anillos demarcados por una banda de fibras Porosidad circular a semicircular. Las maderas de las diferentes especies de cedros nativos, son de alto valor estético y decorativo, por el color castaño rosáceo, la porosidad circular a semicircular, que brindan un vetado en arcos superpuestos tan característico. Aromática, liviana a moderadamente pesada, con peso específico variable de entre 0,42 a 0,60 se la utiliza en mueblería fina y carpintería de obra de calidad, así como en laminados.

Muestra 8: marco de la puerta: *Prosopis sp.* (Mimosaceae). Las maderas del género Prosopis son famosas por su calidad, estabilidad dimensional, durabilidad y aroma. Duras y pesadas, de color castaño rosáceo a amarillento, sus pesos específicos varían entre 0.7 y 1.1 kg/dm^3. Sus usos más importantes son en carpintería de obra, mueblería, pisos, estructuras, tornería, tonelería entre otros.

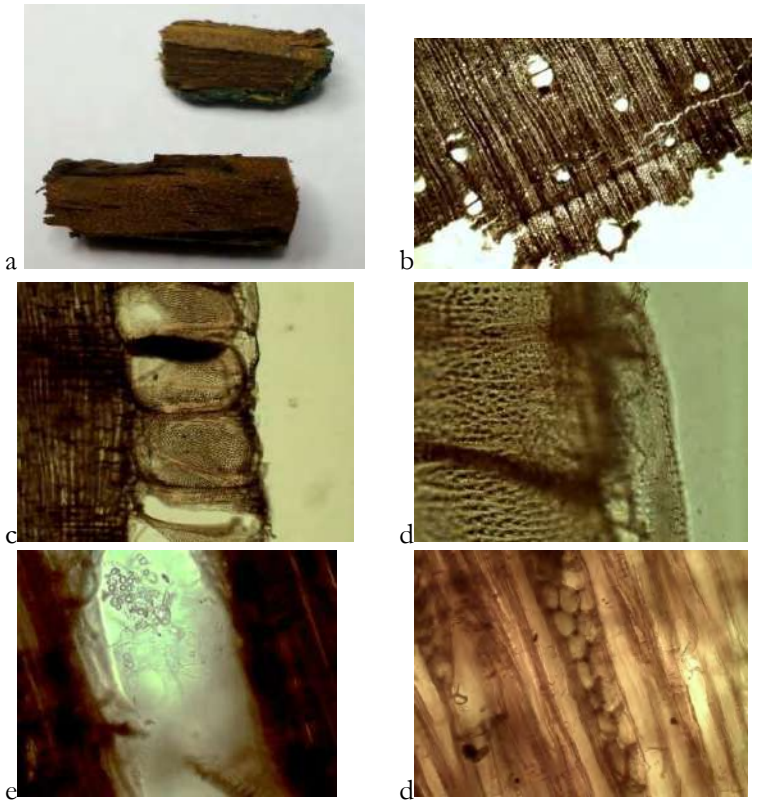


Fig. 4 a - Macro de la muestra M2. **b:** Microscopia de madera de M2 (sección transversal); **c y d:** Miembro de vasos con puntuaciones intervasculares; **e**: Hifas de hongos y huevos de insectos en la madera; **f, g** y **h**: Radios leñosos en sección tangencial.

C. Estancia Santa Catalina Misiones jesuíticas, Jesús María, Córdoba (1622)

Erigida en tierras de Calabaluba la Vieja, adquiridas por los jesuitas junto a varias cabezas de ganado, la Estancia Santa Catalina se convertiría en el establecimiento más grande y mejor trabajado de la Orden (Fig. 6). Fundada en 1622, desafió la insuficiencia de agua existente en el lugar promoviendo la construcción de un conjunto de conductos subterráneos que traían el líquido vital desde la distante Ongamira hacia un tajamar en el que se lo almacenaba para su uso adecuado. Además de su grandeza productiva, Santa Catalina destaca por el estilo barroco colonial de su iglesia, flanqueada en el exterior por dos torres y un portal en curva, y ornamentada en el interior por una nave en cruz latina que culmina en la cúpula. Luego de la expulsión de los Jesuitas, la estancia fue adquirida por Don Francisco Antonio Díaz en una subasta promovida por la Junta de Temporalidades. En 1941 fue declarada Monumento Histórico Nacional. Se ubica sobre un camino provincial secundario, unos 20 kms. al noroeste de la ciudad de Jesús María.

Esta estancia, con su templo barroco, se distingue por varias razones: data de 1622, se trata de la única que sigue en manos de la misma familia desde 1774 y es Patrimonio de la Humanidad de la Unesco desde 2000. Es la estancia mejor conservada de la ruta jesuita cordobesa. (Fig. 5)



Fig. 5. Estancia Santa Catalina, Jesús María, Córdoba.

Auténtica joya del barroco colonial, detrás de sus añosas paredes, sus retablos dorados a la hoja, sus ángeles de rostro mestizo y sus admirables obras de hidráulica destacan.

Se trabajó con: M9. Estancia Santa Catalina- Viga de madera de techo de galería rectángulo-

M9: *Aspidosperma quebracho-blanco* (Apocinaceae), quebracho blanco.

Madera dura y pesada, blanco amarillenta (pe; 0.80 kg/dm^3). Leño con porosidad difusa no uniforme. Poros exclusivamente solitarios. El parénquima es apotraqueal reticulado o difuso en agregados. Los radios homogéneos son, en su mayoría, tri a tetraseriados con 14 a 15 células de altura (Fig. 6).

M 10: Base de columna de madera de galería sección semicircular: corresponde *a Prosopis alba*

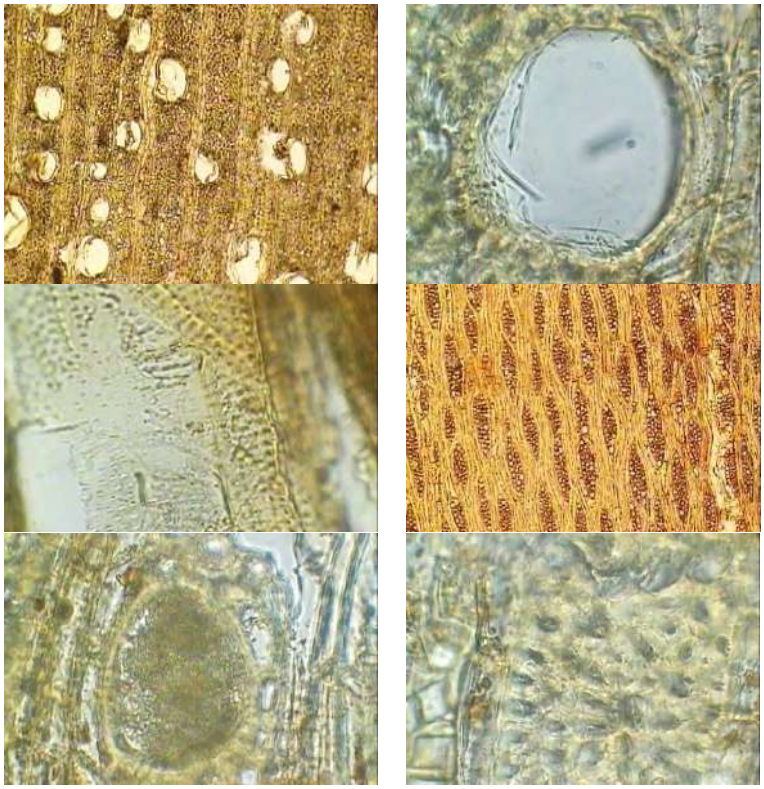


Fig. 6. Detalles anatómicos del leño de *Aspidosperma quebracho-blanco*

D. Museo jesuítico de Jesús María, Córdoba

Este edificio es una de las joyas arquitectónicas jesuíticas coloniales de Córdoba. El 14 de mayo de 1941 la Comisión Nacional de Museos y Monumentos y Lugares Históricos declaró a la antigua Estancia Jesuítica de Jesús María Monumento Histórico Nacional por Decreto Nº 90732, debido a su alto valor histórico y arquitectónico. (Fig. 7)

En esta propiedad se trabajó con maderas estructurales deterioradas que corresponden a: 11 techo de la galería de planta baja, 12- cabios del techo de galería planta alta 13 - vigas reticuladas del techo de habitaciones planta alta. La estructura de las galerías del Museo jesuítico presenta un forjado de entrevigado con viguetas de madera de un entrepiso aproximadamente cada 60cm, donde pisan las bóvedas de ladrillo



Fig. 7. Museo jesuítico de Jesús María, Córdoba, vista de la estructura del techo.

Muestra 11-12

Pertenecen a la especie: *Aspidosperma quebracho-blanco* (Apocinaceae) madera de quebracho blanco.

Muestra 13 -vigas reticuladas del techo de habitaciones planta alta. *Prosopis sp.* (Algarrobo) con presencia de galerías de insectos (Fig. 8)

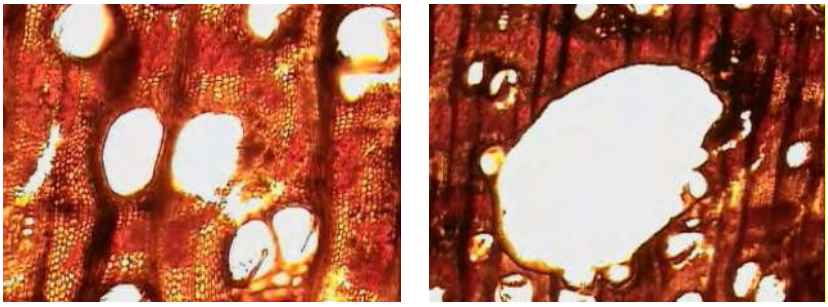


Fig. 8. *Prosopis sp*, con taladro por larvas de insectos.

E. Templo de San Buenaventura de Yaguarón, Paraguay

El templo de San Buenaventura de Yaguarón es una antigua iglesia Franciscana ubicada en el departamento de Paraguarí, Paraguay (Fig. 9). Es una de las iglesias más conocidas del país debido a su excelente estado de conservación. Maravilla del arte barroco Franciscano-Guaraní, la construcción del templo se inició en 1755 y fue finalizada en 1772: La dirección de esta obra es atribuida al artista

portugués José de Sousa Cavadas, quien habría orientado a los indígenas para construir el retablo.

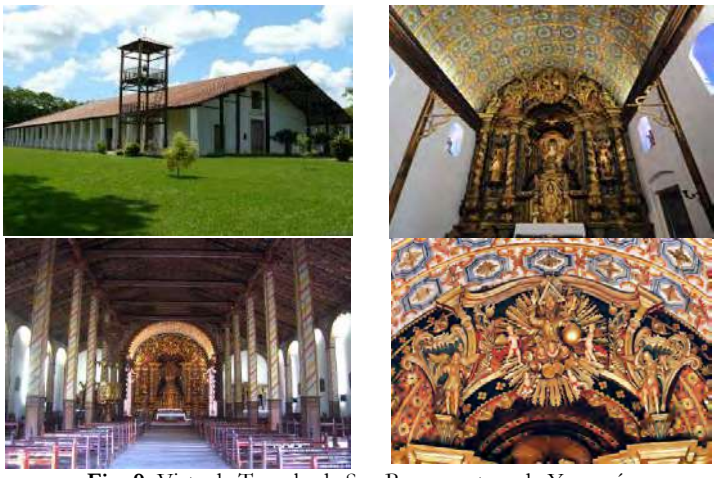


Fig. 9. Vista de Templo de San Buenaventura de Yaguarón

Es una hermosa obra arquitectónica construida con madera de lapacho, dividida en tres naves separadas por columnas cuadradas revestidas por tablones de madera policromada. Con una bóveda que se destaca por su hermoso artesonado, el altar ricamente ornamentado y decorado en oro, con retablos tallados en madera y recubiertos con láminas de oro. Los templos de todas las reducciones franciscanas fueron muy semejantes a esta iglesia, por ello es de gran importancia histórica, ya que sirve como modelo superviviente de aquellos cánones estilísticos. Otro rasgo que caracteriza a las antiguas iglesias franciscanas, es su tipo de campanario.

Se trabajó en 2 muestras:

Muestra 14- Cabios originales de la zona de galerías perimetrales. *Myrocarpus frondosus* Incienso

Pe: 0.845 kg/dm^3. Madera dura y pesada (Fig. 10). Madera castaña rosácea, en relativo estado de conservación, ha sido deteriorado por temitas. Anillos demarcados por una banda de parénquima terminal. Leño con porosidad difusa a semicircular, vasos con placa de perforación simple.

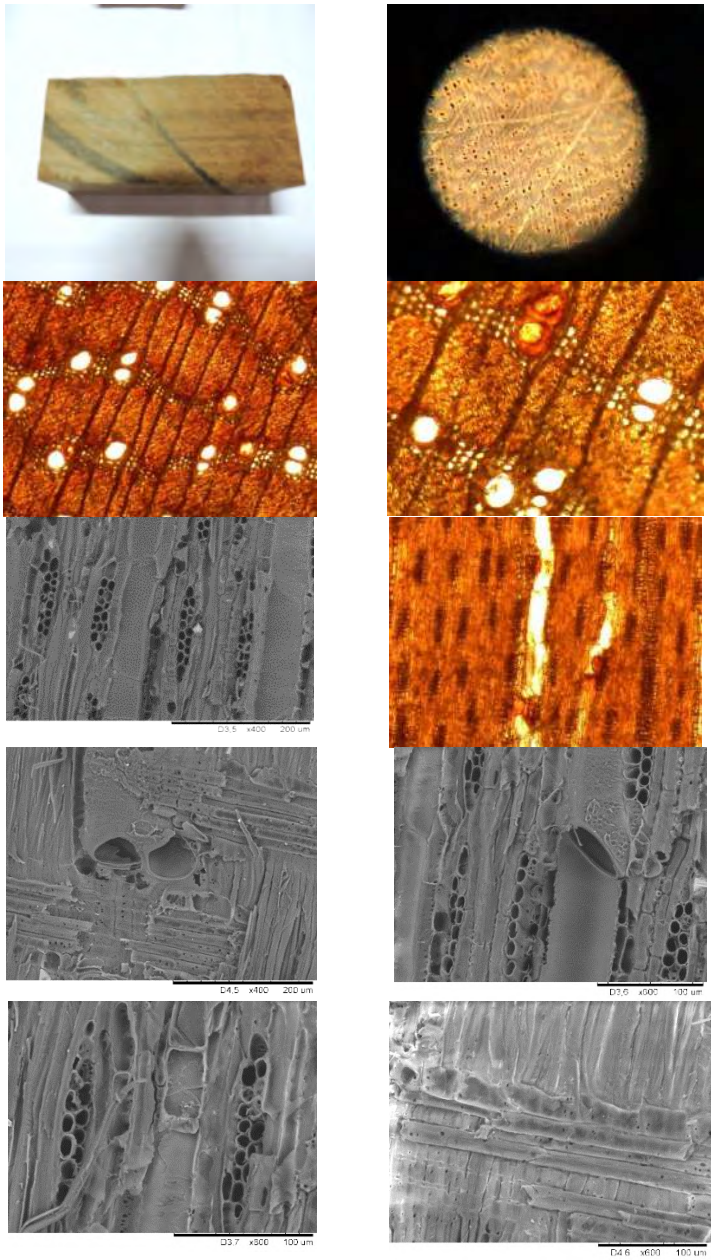


Fig. 10. Madera de *Myrocarpus frondosus*

Muestra 15 -Arcos que constituyen una bóveda interior en la sacristía del templo.

Luehea divaricata Tiliaceae (azota caballos) Pe: 0.62. Madera semi a moderadamente pesada (Fig. 11). Madera castaña amarillenta. Anillos moderadamente demarcados por una banda de parénquima terminal delgado. Leño con porosidad difusa, vasos

con placa de perforación simple. En la muestra se observan hifas de hongos en los vasos.

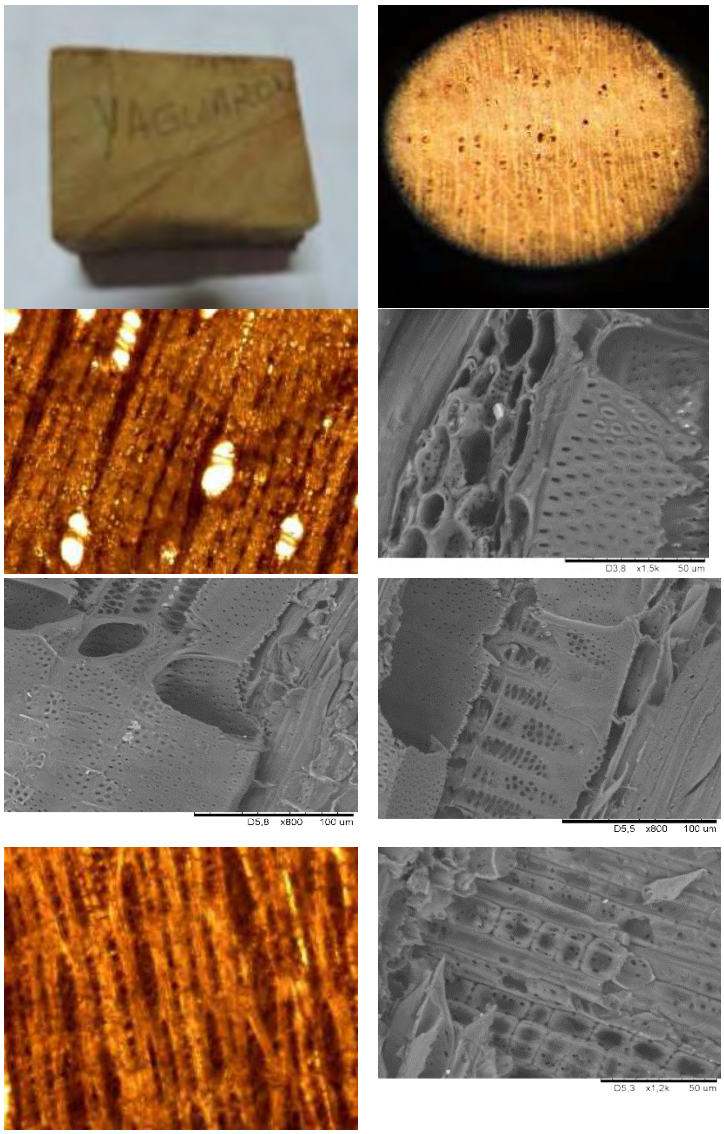


Fig. 11. Madera de *Luehea divaricata*

A pesar que la bibliografía cita que la iglesia está construida en lapacho, las 2 muestras entregadas para su análisis (cabios originales de la zona de galerías y arcos que constituyen una especie de bóveda interior en la sacristía) no pertenecen a esta especie.

F. Ex-Biblioteca de la residencia de Jesuitas, Córdoba

Este local se encuentra ubicado sobre la Sacristía de la Capilla Domestica de la Compañía de Jesús, hoy Patrimonio Cultural de la Humanidad.

Muestra 16- Cordón Inferior - Cabriada Ex-biblioteca. *Tabebuia sp.* (Lapacho), Bignoniaceae, madera de lapacho

Muestra 17 Nudillo Cabriada Ex-biblioteca. M17: *Prosopis sp.* (Mimosaceae), madera de algarrobo

¿De qué distancia se traía la madera empleada en las construcciones?

En todas las construcciones coloniales analizadas se emplearon maderas nativas. Recién a partir de 1850 según Giménez *et al.* (2014) está registrado el uso de madera de gimnospermas exóticas en construcciones de valor histórico, lo que indica la apertura a mercados madereros americanos y europeos.

Sobre los recursos maderables que se han utilizado en la región para las construcciones jesuíticas, todas las maderas son nativas, aunque algunas de otras regiones fitogeográficas. Ello demuestra que se transportaba maderas de zonas distantes. Es probable que la necesidad de piezas de mayores dimensiones haya sido la razón de recurrir a especies de otras provincias. Es probable que este se el caso del uso de nogal criollo, cedro y lapacho provenientes de la Selva tucumano-oranense, en las construcciones jesuíticas de Córdoba (Chaco árido).

La madera de algarrobo es una constante en los monumentos analizados, y resulta ser la madera de mayor presencia. Su distribución es típica del Chaco. Los pobladores del área la reconocen como una madera aprovechable para distintos usos, especialmente construcción, muebles y carpintería de obra. La distribución del algarrobo es en la región homogénea y relativamente abundante, aunque en la actualidad es muy preciado porque tienden a la desaparición promovida por la deforestación y la creación de áreas no maderables por la intromisión de pastos para el ganado.

Aspidosperma quebracho-blanco, una de las maderas más abundantes de Argentina, sólo está presente en dos oportunidades como viga de madera de techo de galería.

Es interesante destacar que madera de quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*) no ha sido determinada en ninguna de las piezas de análisis. Resulta sorprendente que no haya sido empleada en columnas o vigas de estructuras.

¿Las maderas permanecieron intactas a la actualidad?

Si bien en la época que se empleó las maderas, no había instrumental ni los métodos actuales para el estudio de las propiedades física-mecánicas, se seleccionaron las especies de mejor aptitud para el uso conferido. Las maderas están en obra desde las últimas décadas del siglo XVII. Por lo que requiere un párrafo aparte la durabilidad que hay que destacar.

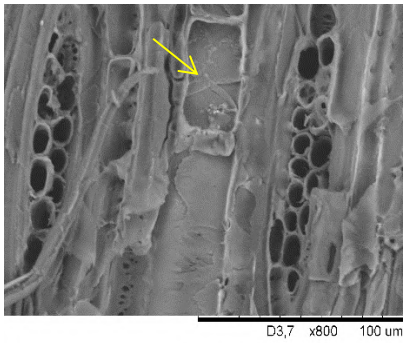
La durabilidad natural es una propiedad física de la madera que hace referencia a la resistencia natural a los ataques por agentes destructores de origen biótico o abiótico (Zabel, Morrell, 1992). Comprende aquellas características de resistencia que posee la madera sin tratamiento frente al ataque de hongos, insectos, perforadores marinos y otras influencias ambientales. Normalmente se mide como el tiempo en años que una madera es capaz de mantener sus propiedades mecánicas estando puesta en servicio empotrada en contacto con el suelo o el agua (González Laredo, 1996). La mayoría de las maderas tiene una durabilidad diferente frente a los diversos organismos que la pueden degradar. Hay una gran cantidad de especies muy durables frente a la acción de hongos mientras que son menos las especies que lo son frente al ataque de termitas. La sensibilidad a los hongos es variable, algunas maderas son susceptibles al ataque de basidiomicetes o deuteromicetes. La durabilidad de la madera también se ve afectada por efecto del medioambiente. La durabilidad natural de las maderas se clasifica, en el caso de deterioro producido por hongos, en cinco clases: Con más de 20 años de duración corresponde a la clase 1. Los tipos de deterioro más frecuentes presentes en el material estudiado son hongos e insectos, que se ilustran en la Fig. 12.

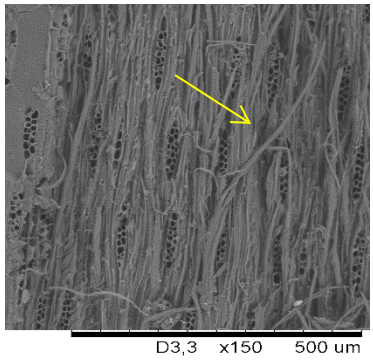
Algunas muestras de *Prosopis* presentan signos de agentes patógenos. La M13 presenta galerías de insectos (diámetros 0.5-1 cm.), huevos de insectos y además ataque de hongos, con descomposición de la madera. En las M14 y 15 se detectó ataque biológico, presentando estado de deterioro, se observan hifas de hongos xilófagos.

La muestra M9 de quebracho-blanco presenta daños de fuego en obra. Hay rastros de carbonización en la madera, por efecto fe incendio. Las marcas son sólo superficiales lo que se puede inferir que el fuego fue sofocado tempranamente. También evidencia esporas de hongos en el lumen de los vasos.

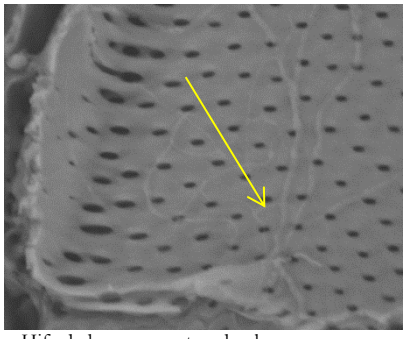
Por otro lado, *el agua* es una de las principales causas del deterioro superficial de la madera. El agua de lluvia que moja la superficie de la madera sin protección, es absorbida rápidamente por capilaridad por la capa superficial de la madera seguida por la adsorción en las paredes de las células. El vapor de agua es recogido directamente por adsorción por las paredes de las células. La diferencia de humedad entre el interior y la capa superficial que tenderá a hinchar, provoca un estado de tensiones en la pieza, que si no está equilibrado origina deformaciones en la madera. La humedad es uno de los factores de agresividad del medio y es la base a partir de la cual las normas europeas 335.1 y 335.2/95 determinan categorías de riesgo de la madera en función de su ubicación. La madera que conforma estructuras de techos corresponden según la norma al RIESGO 2: para

aquellas maderas colocadas en lugares protegidos de la intemperie en los que sólo de forma ocasional puede aparecer un grado alto de humedad sin que se produzcan condensaciones constantemente.

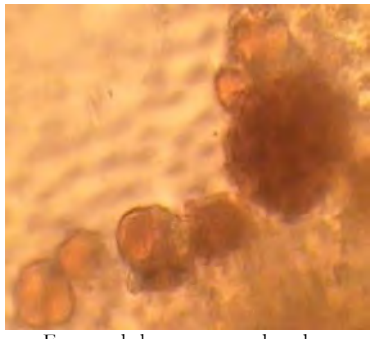




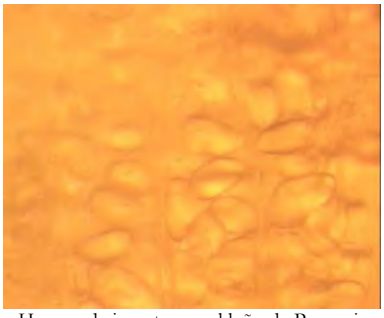
en m14



Hifa de hongo penetrando al vaso por una puntuación



Esporas de hongos en madera de Prosopis



Huevos de insectos en el leño de Prosopis



Taladro producido por insectos en Prosopis

Fig. 12. Muestras con alteraciones

En todos los casos del estudio, el deterioro de las estructuras se debe en principio al agua filtrada por los techos. Una vez perdido el aislamiento, la humedad inicia el deterioro de la madera. Las zonas sin humedad están intactas. Es fundamental

mantener protegidas las estructuras a la acción del agua. Son numerosos los ejemplos donde se documenta tal situación. Rodríguez Liñán *et al.* (2004) diagnostican en el Convento de Santa Clara (Sevilla), que la estructura de madera del techo, presentan daños producidos por filtraciones de agua procedentes de la cubierta del piso superior, en mal estado. Debido a la flecha del forjado, el agua se acumuló, el deterioro de la madera por humedad ha propiciado el ataque de distintos agentes xilófagos reduciendo notablemente la capacidad mecánica del material. Por tal razón algunas vigas presentaban fisuras de rotura a flexión en el centro del vano.

Todas las muestras estudiadas corresponden a leño de duramen. Las maderas están, después de 350 años, en buen estado salvo excepciones. El resto no manifiestan signos de deterioro. Lo cual está indicando la excelente durabilidad de las maderas nativas en cuestión.

Basterra *et al.* (2005) indican sobre las técnicas empleadas para estudiar la madera de construcciones, el pasaje de técnicas destructivas, a la incorporación de métodos no destructivos ha permitido determinar las características mecánicas generales de la madera de la estructura incorporando una clasificación mixta. Esto permite analizar fácilmente los resultados por técnicos ajenos al proceso de diagnóstico, facilitando el acierto en la toma de decisiones de intervención. La integración de los resultados obtenidos mediante ensayos no destructivos ha permitido determinar las características mecánicas generales de la madera de la estructura Esta clasificación mixta, resulta ser la más adecuada para clasificar este tipo de piezas de madera de escuadrías medianas y grandes.

En base a lo anteriormente expuesto se concluye:

- Todas las muestras de las seis estructuras de madera antiguas examinadas, son nativas.
- Se identificaron según la anatomía de la madera los géneros: *Prosopis, Aspidosperma, Cedrela, Juglans, Tabebuia, Myroxylon* y *Luhea*. El género recurrente en el 60% de las muestras es Prosopis.
- En la mayoría de los casos las maderas duras, las más comúnmente usadas.
- Si bien en la época que se empleó las maderas, no había instrumental ni los métodos actuales para el estudio de las propiedades física-mecánicas, se seleccionaron las especies de mejor aptitud para el uso conferido.
- El agua es una de las principales causas del deterioro superficial de la madera.

Referencias Bibliográficas

Basterra, A.; Ramón, G.; Barranco, I.; López, G.; Acuña, L. y M. Casado. (2005). Avance de propuesta metodológica para el diagnóstico y análisis de estructuras de madera históricas. Actas del IV Congreso Nacional de Historia de la Construcción pag: 121-131. Santiago Huerta Ed. Madrid.

Blanchette, R., Jurgens, J., Held, B., Arenz, B., Smith, J. (2005). Decay of historic and archeological wooden structures: degradation processes and molecular characterization of Wood destroying fungi. En: X Reunión sobre investigación y desarrollo en productos forestales - International Academy of Wood Science Meeting: 14-17 de Noviembre de 2005. Concepción, Chile

Diaz, I. (2012). Las maderas en el registro arqueológico porteño: primera aproximación a las transformaciones dentro y fuera de la estructura social. Zaranda ideas [online], vol.8, n.1 [citado 2017-05-12], pp. 0-0. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-12962012000100003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1853-1296.

Fioravanti; M.; Di Giulio; C.; Signorini; G.; Rossi , G.; Rognoni; Sodini; N.; Tromba, G.; and Franco Zanin. (2017). Non-invasive wood identification of historical musical bows. IAWA Journal 38 (3), 2017: 285–296

Garavito López, Javier; Sáiz, Á.; Rodríguez, Petrement, C. Garavito López, J. (2015). Intervenciones en cubiertas históricas de madera: ¿Restaurar o reconstruir? Anales de Edificación Vol. 1, Nº1, 16-22 (2015) ISSN: 2444-1309 Doi: 10.20868/ade.2015.3035

Giménez, A. M., Moglia, J. G., & Gómez, J. (2014). Maderas empleadas en construcciones históricas jesuíticas de Córdoba, Argentina. In Anales del Museo de América (Vol. 21, pp. 212-228).

Giménez, A. M., Figueroa M.E, J. Díaz Zírpolo. (2016). Madera con historia: pórtico colonial de la casa de Liniers. Revista Urbania Nº5: 20:30. UBA. Buenos Aires.

Giménez, A. M., Gómez, J.; Moglia, J.; Díaz Zírpolo, J.; D. González. (2014). Registro del ingreso de madera de pino en argentina, a partir de construcciones históricas. Bol. Soc. Argent. Bot. 49 (4): 649-658. 2014.

Gómez Sánchez, M. I. (2006) Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura (1500-1810). Madrid, España: Asociación de Investigación Técnica de Industrias de la Madera. AITIM

Gómez, J. L., Moisset de Espanés, D., Ruata, M. E., & Fernández, M. D. C. (2010). Comportamiento estructural de la Iglesia de la Compañía de Jesús: Modelo de diseño conceptual. https://es.scribd.com/doc/15472869/Comportamiento-estructural-de-la-iglesia-de-la-Compania-de-Jesus-01

González Laredo, R. (1996). Preservación de madera con taninos. *Madera y Bosques,* otoño, 67-73.

Herrero, M. E., Álvarez, R. A., Mariátegui, F. A., González, G. & Maldonado, i. B. (2007). Estado actual de la investigación sobre madera estructural en España. Informes de la Construcción, 59 (506), 15-27.

Mengyu Dong; Haibin Zhou; Xiaomei Jiang; Yun Lu; Weibin Wang and Yafang Yin. 2017. Wood used in ancient timber architecture in Shanxi Province, China. IAWA Journal 38 (2): 182–200.

Rodríguez Liñán, P.; Rubio de Hita, Gómez de Cózar, J.; Pérez Gálvez, F. 2004. Diagnóstico mediante técnicas de ultrasonidos del forjado de madera del refectorio del convento de santa clara en Carmona (Sevilla) Carmen Informes de la Construcción, Vol. 55: 490, marzo-abril

Roth, I.; Giménez, A.M. (1997). Argentine Chaco forests. Dendrology, tree structure, ang economic use.1- The semiarid Chaco. Encyclopedia of plant anatomy.XIV/5. 180 pag. Gerbruder-Borntraeger-Berlin-Stuttgart.

Terán Bonilla, J. 2004. Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica Conserva N0 112 8,

Tortorelli, L. 2009. Maderas y bosques argentinos. 2 Ed. Buenos Aires. Orientación Gráfica Editora. Tomo 1 y 2: 1105 p.

Wheeler, E. A., baas, P., & P. E. Gasson. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull. (ns) 10: 219-332.

Zabel, R.A. & J.J. Morrell. 1992. Wood microbiology. Decay and its prevention. Academics Press Inc. 476

Capítulo 5

Nuevas tecnologías aplicadas al análisis de la biodegradación de madera muerta

Díaz Zirpolo, J.[1] **y A. M. Gimenez**[1]

1. Introducción

La madera muerta (MM), se refiere a toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte de la hojarasca, ya sea en pie, que yace en la superficie, las raíces muertas y los tocones de un diámetro igual o superior a 10 cm., o cualquier otro diámetro utilizado por el país. Cada país puede utilizar otro valor límite, que no sea de 10 cm., pero en ése caso, el valor límite utilizado debe ser documentado (FAO, 2005).

A su vez representa un componente básico en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas forestales, ya que forma parte de numerosos procesos biológicos, físicos y químicos (Harmon *et al.*, 1986). El diámetro y el grado de descomposición (clase de deterioro) se han utilizado para precisar aún más las categorías de MM presente en un bosque (Harmon *et al.*, 1986).

El deterioro de la MM es un proceso esencial en el ambiente, puesto que recicla la materia orgánica compleja y constituye un componente integral de la vida.

El biodeterioro es esencialmente el resultado de la progresiva digestión de la madera por hongos o insectos, causando una continuidad de cambios en su apariencia y en sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, condición que la hace poco atractiva para ciertos usos. En ambientes naturales, la madera es frecuentemente colonizada en forma rápida por microorganismos e insectos comenzando un proceso de descomposición o biodegradación (Zabel y Morrell, 1992), que pueden culminar en la pérdida total de la pieza de madera.

Según Swift *et al.*, (1979), la descomposición de la MM se encuentra regulada por tres factores que interactúan entre sí, el ambiente físico-químico, la calidad del recurso y los organismos presentes (Figura 1).

[1] Laboratorio de Anatomía de Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. E-mail: diazzirpolo@gmail.com

Sin embargo, los factores causales que rigen la descomposición de la madera son aún poco conocidos (Cornwell *et al.*, 2009).



Figura 1. Factores interactuantes que regulan la descomposición de madera muerta.

Según Oliveira *et al.*, (1986), una madera es degradada biológicamente, porque algunos organismos utilizan los polímeros naturales de sus paredes celulares como fuente de alimento o poseen sistemas enzimáticos específicos capaces de metabolizarlos en unidades digeribles. La albura es la parte de la madera que representa material nutritivo susceptible al ataque de agentes biológicos como las reservas alimenticias en las células del parénquima. El duramen normalmente presenta mayor durabilidad natural, la cual se atribuye a la presencia de substancias toxicas en cantidades considerables que previenen o minimizan el ataque de los organismos que causan el deterioro. En tanto que la madera de albura no tiene suficiente cantidad de extractivos, o son de baja toxicidad para inhibir el crecimiento de los organismos (Velásquez *et al.*, 2004). Bajo las mismas condiciones el grado de deterioro la albura puede ser un 40 % más rápido que en la del duramen (Honorato *et al.*, 1998).

La madera se compone de tres tipos de polímeros: celulosa, hemicelulosas y lignina que están fuertemente entrelazadas y unidas químicamente por fuerzas no covalentes y por enlaces cruzados covalentes. Una gran variedad de hongos y bacterias pueden fragmentar estas macromoléculas mediante el uso de un complejo de enzimas hidrolíticas u oxidativas (Pérez *et al.*, 2002). Los principales componentes de las paredes celulares leñosas son degradados por diversos grupos de organismos en diferentes grados.

Teniendo en cuenta que el sector forestal cumple un rol importante en la economía del país, resulta necesario el desarrollo de nuevas tecnologías, así como el perfeccionamiento de técnicas ya conocidas para utilizar de forma racional el potencial de MM que tienen a disposición los países de América Latina.

Las propiedades de los materiales pueden ser estudiadas por las características de sus microestructuras. La Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) es una herramienta ampliamente utilizada para ello. El MEB generalmente se utiliza con muestras densas, es decir, básicamente no transparentes a los electrones, de alta resolución, brindando imágenes con aspecto tridimensional (Bolzón, 2014).

Por otro lado, se ha demostrado que los métodos de investigación térmicos constituyen herramientas adecuadas para el estudio de las propiedades físicas de la MM, puesto que proporcionan información sobre la interacción entre la celulosa, lignina y hemicelulosa, sustancias extractivas, agua, etc., como así también, para comprender la descomposición de los diversos materiales de la biomasa (Grønli *et al.*, 1999; Franceschi *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2008).

En este contexto, el objetivo del trabajo fue evaluar los grados de deterioro de la MM en bosques del Chaco Semiárido, mediante nuevas tecnologías.

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

El uso del MEB permite la observación de las características xilológicas con una mínima preparación de las muestras constituyendo un elemento de juicio indiscutible cuando se trata de identificación y evaluación de maderas (González, s.f.).

Una de las aplicaciones de técnicas de MEB en las ciencias forestales, es la determinación de los atributos de calidad de la madera, como el espesor de anillos y la densidad de la madera, el porcentaje de madera juvenil y la morfología de la rama (Bolzón, 2014).

Termogravimetría / Termogravimetría derivada (TG / DTG)

Las técnicas de análisis térmicos miden variaciones de un determinado parámetro en función de la temperatura (calefacción o enfriamiento) o como una función del tiempo a una temperatura constante. Proporcionan resultados en forma de las curvas, las cuales tienen las informaciones acerca de la variación del parámetro medido.

El análisis térmico es una técnica que se ha utilizado ampliamente para caracterización de productos de madera (polímeros, compuestos). Mide los cambios de entalpía asociadas al calentamiento, recocido, cristalización, y otros efectos por el tratamiento térmico de los polímeros, incluida la polimerización, degradación y cambios químicos.

La definición de las técnicas para el análisis térmico fue originalmente propuesta por el Comité de Nomenclatura de la Confederación Internacional de Análisis Térmicos (ICTA), fue adoptada por la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM) y se define como: Grupo de técnicas en las que las propiedades físicas o químicas de una sustancia se miden en función de la temperatura mientras la sustancia está sujeta a un programa de temperatura controlado y bajo una atmósfera.

Las técnicas termoanalíticas utilizadas con mayor frecuencia en la caracterización son: a) termogravimetría (TG), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis térmico-dinámico-mecánico (DMTA o DMA).

En tiempos recientes, la rápida evolución de los productos de madera, polímeros y los plásticos son impulsados por el desarrollo de las técnicas e instrumentos. Las técnicas de análisis térmico han recibido mucha aceptación por ser medidas precisas, rápidas y sintetizadas para estudiar fenómenos de fusión, transición vítrea, cristalización, además de acompañar procesos de curación, degradación y oxidación.

La termogravimetría (TG) mide la variación masiva de un material sometido al agua de calefacción. Es una técnica en la cual el peso de una muestra se mide continuamente en función del tiempo a temperatura constante, mientras que la muestra está sometida a un programa controlado de calefacción o enfriamiento. Se utiliza una termobalanza que registra la ganancia o pérdida de masa que presenta la muestra. En la curva TG la ordenada se representa la pérdida de masa (%) en función de la temperatura, proporcionando así una fácil comparación entre varias curvas sobre una base normalizada.

La variación de peso puede ser representada en miligramos o en porcentaje de la muestra original. Otra forma de representar los datos en termogravimetría es por medio de la llamada termogravimetría Derivada (DTG) que es un recurso matemático que proporciona la primera derivada de la curva de peso, en función de temperatura o tiempo. El registro es la curva termogravimétrica derivada o curva DTG. El área de los picos bajo la curva DTG es proporcional a la pérdida de masa en aquel evento térmico.

Con la curva TG es posible obtener información sobre la estequiometría, estabilidad térmica de la muestra, composición y estabilidad de los compuestos intermediarios, curvas de adsorción y desorción, determinación de humedad, volatilidad, composición de cenizas, estudios de deshidratación e higroscopicidad, corrosión de materiales en varias atmósferas, degradación térmica oxidativa de sustancias poliméricas, así como la composición del producto final (Bolzón, 2014).

2. Área de estudio

El estudio se realizó en la Localidad de La Fragua, Departamento Pellegrini, Santiago del Estero, Argentina (Figura 2). El área de estudio pertenece al Distrito Chaqueño Occidental (Cabrera, 1976), y su posición geográfica corresponde a la latitud Sur 26º05´40,4´´ y longitud Oeste 64º20´23,8´´. Se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT TM 5 de febrero del 2003, georreferenciadas al sistema Posgar de 1998, 4º faja.

El clima es semiárido, con precipitaciones escasas y estivales alternando con sequías en períodos bien delimitados (Minetti y Acuña, 1994). La precipitación media anual es de 600 mm (varía entre 500 - 700).



Figura 2. Localización del área de estudio

Sobre la base de un inventario forestal, se adaptó un dispositivo para el estudio de MM, mediante parcelas rectangulares de 10*100 m y muestreo por líneas de intersección (Díaz Zirpolo, 2014; Díaz Zirpolo y Giménez, 2013), evaluándose el grado de deterioro en base a 5 estados definidos a partir de características observables *in situ*, y posterior corroboración en laboratorio.

3. Evaluación del grado de deterioro de MM:

3.1. <u>En campo:</u> En base a 5 estados definidos a partir de características observables *in situ*, adaptando la clasificación propuesta por Pyle y Brown (1998), según (Tabla 1). Se determinó la humedad de cada muestra mediante xilohigrómetro y dataloggers (Figura 3).

Tabla 1. Clasificación del grado de deterioro

Grados de Deterioro	
I	La corteza no se desprende
II	La corteza se desprende pero se conserva el 50% de la misma
III	Se conserva menos del 50% de la corteza
IV	Sin corteza, el tronco se rompe fácilmente
V	La mayor parte del tronco es aserrín

Fuente: Adaptado de Pyle y Brown (1998).

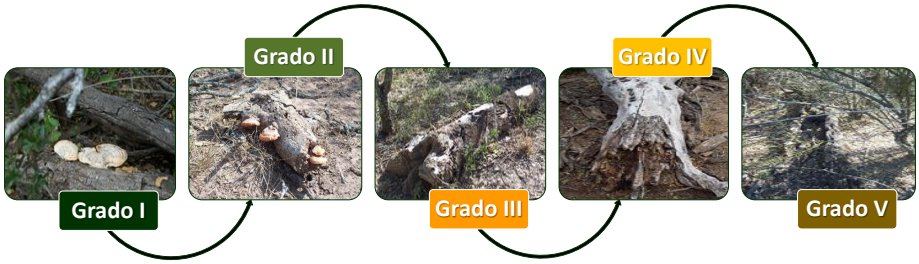


Figura 3. Grados de deterioro de MM evaluados.

3.2. <u>Análisis de la biodegradación en laboratorio:</u> Con la finalidad de corroborar la clasificación visual (Tabla 1) utilizada a campo, se realizó una evaluación de los grados de deterioro de las dos especies leñosas más representativas del sitio de estudio (*Ruprechtia apetala* y *Prosopis nigra*) (Díaz Zirpolo, 2017), dichas especies concuerdan con lo relevado por Hernández, (2014) en bosques de serranía del Cerro El Remate del Departamento Pellegrini.

Dicha evaluación se llevó a cabo mediante dos etapas, utilizando las técnicas de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Termogravimetría / Termogravimetría Derivada (TGA / DTG).

a) 1º etapa: Microscopia electrónica de barrido (MEB)

En esta etapa fueron analizadas las muestras en sus diferentes grados de deterioro con MEB, obteniéndose imágenes de los diferentes elementos constitutivos de la madera, con ayuda de un equipo HITACHI modelo TM-1000, directamente del material macizo. Para la preparación de las muestras, se obtuvo bloques de madera (<5 mm), de cada una de las dos especies leñosas y de cada uno de los cinco grados de deterioro definidos (Tabla 1).

Los bloques en sus tres planos de corte fueron colocados sobre un disco de grafito, y posteriormente en el equipo, para realizar el análisis de los diferentes estados de degradación (Figura 4).

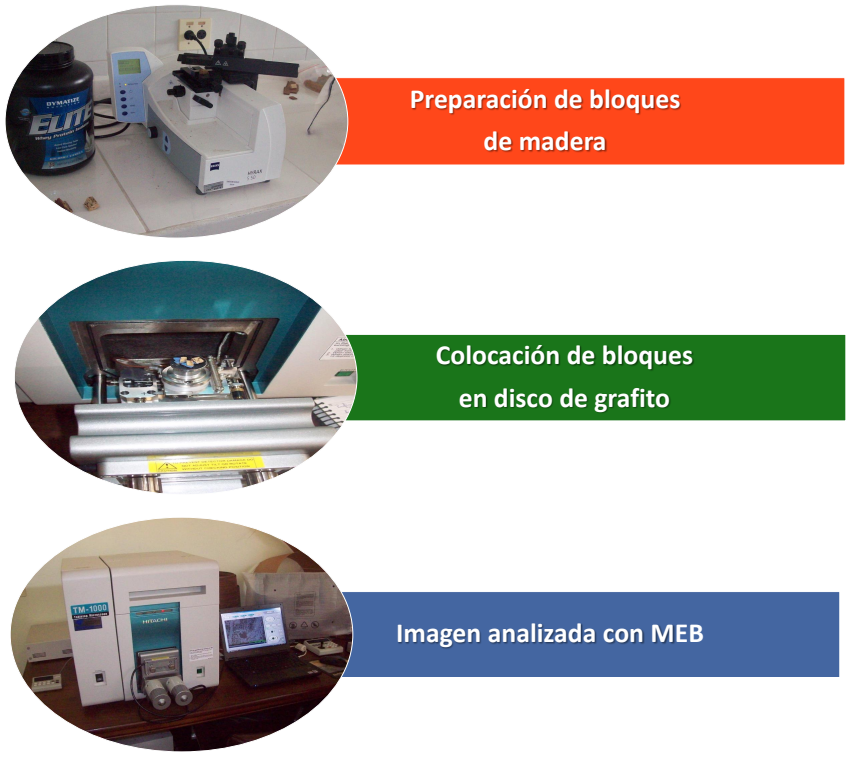


Figura 4. Secuencia para análisis con MEB.

Mediante el análisis se obtuvo para cada especie las correspondientes electromicrografías por cada grado de deterioro.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de la ocurrencia del proceso de deterioro en la madera de *Prosopis nigra*.

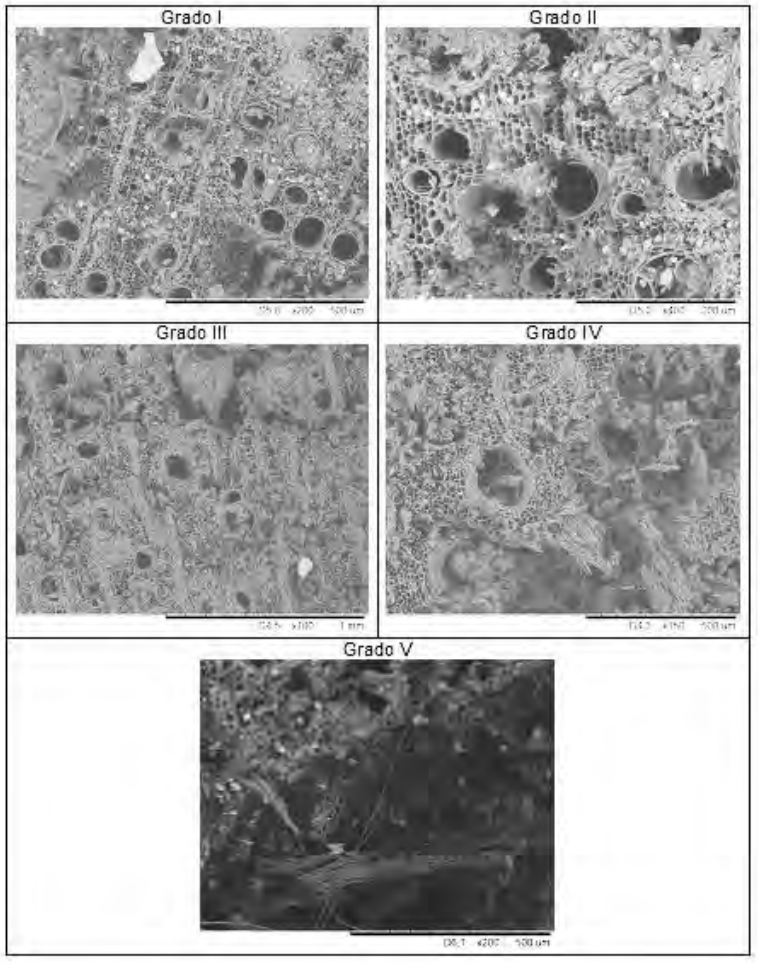


Figura 5. MEB en *Prosopis nigra.*

Los grados I al II no presentan microscópicamente evidencia de deterioro de la pared celular. A partir del III estadio se comienza a notar los cambios estructurales y el adelgazamiento de las paredes, lo que generó una estructura más esponjosa y una degradación de los radios parenquimáticos.

El análisis permitió corroborar diferentes cambios como pérdidas de densidad y resistencia, debido al efecto de los productos químicos (enzimas) generados por hifas de hongos que disuelven los nutrientes de la MM al alimentarse.

Los grados IV y V manifiestan ruptura de la pared celular y pérdida de la estructura celular.

A partir del Grado IV, se produce una degradación intensa de todos los componentes de la pared celular, principalmente lignina, generándose la separación de las fibras y destrucción de lámina media.

También se observó hifas dentro de los vasos, las cuales ocupan el tejido xilemático y a la vez disgregan la unión celular desde la lámina media (Grado V).

Resultados similares fueron obtenidos por Anagnost (1998) al estudiar diferentes tipos de pudriciones en abedul y pino con MEB.

b) 2º etapa: Termogravimetría/Termogravimetría Derivada (TGA / DTG)

Esto permitió evaluar la degradación térmica de los polímeros de la MM. La preparación, fraccionamiento y trituración de las muestras fue realizada en el Centro de Investigaciones en Biomasa y Secuestro de Carbono (BIOFIX), de la Universidad Federal de Paraná (UFPR), Brasil. Para ello se utilizó un molino de seis cuchillas con tamices metálicos. Las muestras fueron pesadas individualmente, obteniéndose el peso verde de cada componente. Se realizó la medición del valor calorífico y se lo caracterizó por la degradación térmica, mediante un equipo *Setaram Setsys Evolution* (TGA-DTA/DSC 1500) (Figura 6). El análisis de TGA se llevó a cabo bajo una atmósfera de nitrógeno dinámico (flujo de gas de 20 ml min-1) y en el intervalo de temperatura de 25 - 600 ºC con una calificación de calor de 10º C min-1. Las muestras pesaron entre 5 a 8 mg, con un tamaño de partícula inferior a 60 mallas. El crisol utilizado fue la alúmina. Los datos de pérdida de masa (termograma) fueron adquiridos durante la etapa de análisis térmico a un flujo de argón de 20 ml/min. Para el análisis estadístico de los datos estandarizados del TGA, se utilizó el software estadístico Origin Versión 8.6

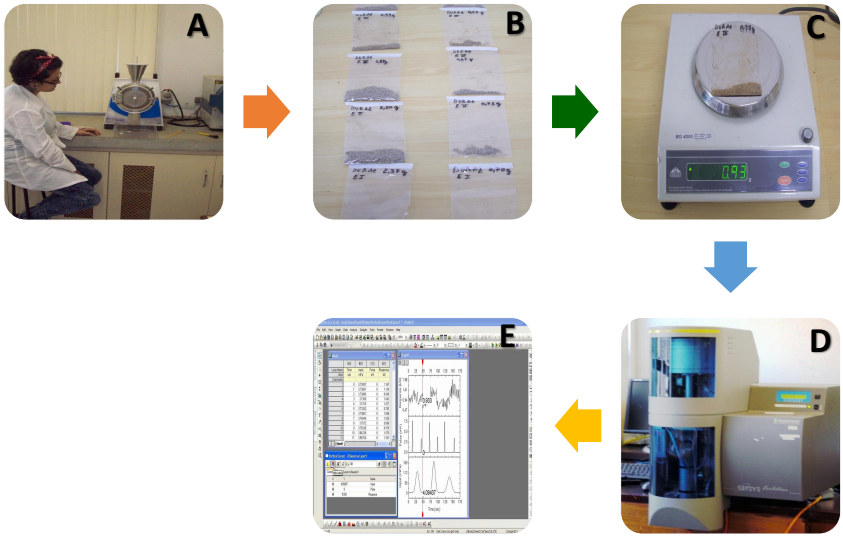
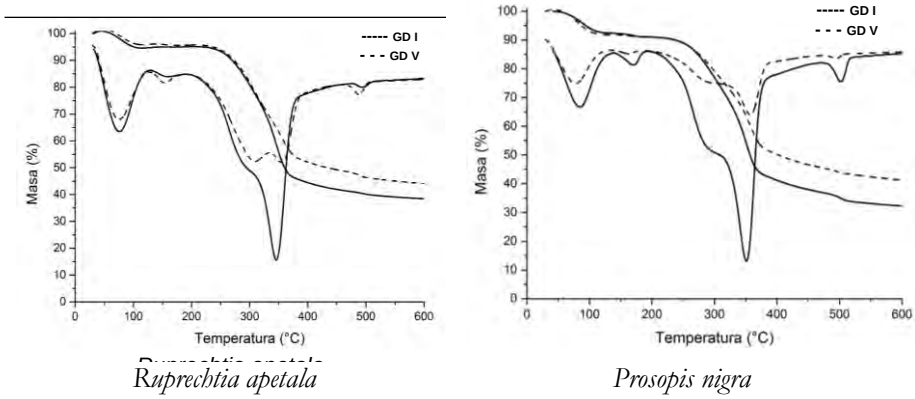


Figura 6. Ciclo para análisis de TGA. A - B. Trituración y fraccionamiento de muestras. C. Pesaje. D. Equipo *Setaram Setsys Evolution*. E. Termogramas.

El análisis TGA registró de manera continua la perdida masa de los grados de deterioro I y V de las dos especies evaluadas, bajo una atmósfera controlada en función de la temperatura. Conjuntamente se determinó mediante termogravimetría derivada (DTG) el gradiente en la variación de masa a temperatura constante.

Mediante el software estadístico Origin Versión 8.6 se obtuvieron los termogramas (gráficas) para cada especie, siendo representados en líneas continuas el grado de deterioro I y en líneas discontinuas el grado V (Figura 7).

En los diferentes termogramas, pudo corroborarse mediante un análisis cualitativo un comportamiento semejante entre las especies evaluadas, con picos bien marcados que correspondieron a la pérdida de diferentes componentes; a los 50-100 °C se produjo la evaporación del agua; a los 250-300 °C se generó la degradación térmica de los azucares de la madera (hemicelulosas); a los 360 °C se formó el mayor pico correspondiente a la degradación de la celulosa cristalina, dando lugar a una fase abrupta de pérdida de masa; mientras que a los 500 °C se reflejó la degradación térmica de la lignina.



Ruprechtia apetala *Prosopis nigra*

Figura 7. Análisis de TGA y DTG de grados de deterioro en especies evaluadas.

* Líneas continuas corresponden al grado I y líneas discontinuas representan al grado V. Conjunto de líneas descendentes indican las pérdidas de masas en función de la temperatura (TGA). Conjunto de líneas con picos indican sus correspondientes derivadas matemáticas (DTG).

Según Yang *et al.* (2007) la degradación de la lignina es lenta y se produce desde los 100-900 ºC, sin embargo en el ensayo de temperatura final (600 ºC) se observó una masa de residuo insignificante.

En general, se confirmó que los picos del grado de deterioro V fueron menores, puesto que la degradación fue considerable.

Las curvas de pérdida de masa de la MM, obtenidas a lentas velocidades de calentamiento, mostraron varias zonas de reacción asociados con la descomposición de sus componentes, que alcanzaron tasas máximas a diferentes temperaturas (Antal y Varhegyi, 1995).

4. Consideraciones finales

Numerosos autores han demostrado que los métodos de investigación térmica constituyen herramientas adecuadas para el estudio de las propiedades físicas de la madera (Grønli *et al.*, 1999; Franceschi *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2008).

Las bajas velocidades de calentamiento TGA, las propiedades específicas de la celulosa y los diferentes sistemas de medición (Grønli *et al.*, 1999) entre otros factores, han demostrado que ejercen una influencia significativa en los parámetros cinéticos.

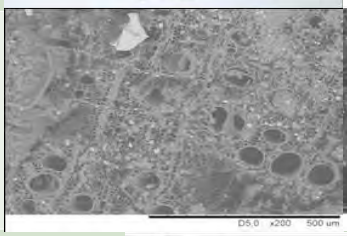
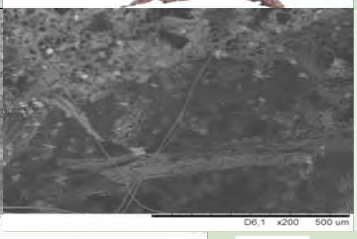
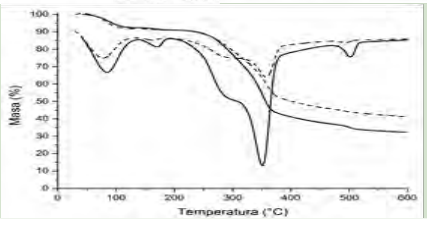
Grønli (1996) sostiene que para una lenta tasa de calentamiento, la degradación primaria de la madera comienza aproximadamente a los 500 K (226 ºC), sin

embargo, a un ritmo rápido, la degradación se alcanza aproximadamente a 573 K (300 ºC), siendo prácticamente el proceso encima de los 700 K (426 ºC) (Pyle y Zaror, 1984).

Según Severian (2008) la primera etapa de pérdida de masa está asociada con la descomposición de las cadenas ramificadas, mientras que la segunda etapa corresponde a la ruptura de las principales cadenas del xilano.

Las técnicas MEB y TGA, son eficientes para confirmar la clasificación visual observada a campo (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de técnicas evaluadas

Técnica	Grado I	Grado V
Clasificación Visual		
MEB		
TGA		----- GDI - - - GDV

Dichas tecnologías de investigación constituyen herramientas adecuadas para el estudio de las propiedades físicas, permitiendo comprender las transformaciones que producen durante la descomposición.

Referencias Bibliográficas

Anagnost, S. 1998. Light Microscopic Diagnosis of Wood Decay. IAWA Journal 19(2): 141-167.

Antal, M. J. and G. Varhegyi. 1995. Cellulose pyrolysis kinetics: The current state of knowledge. Industrial & Engineering Chemistry Research 34: 703-717.

Bolzón, G. I. (2014). Novas Tecnologías Aplicadas ao Setor Florestal. En. A. M. Giménez y G. Bolzón (Eds.), Educación e Investigación Forestal para un Equilibrio Vital. Parte 2. Cap. 9. (pp. 247-280). ISBN: 978-987-192-5-261.

Cabrera, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II Fs. 1. Editorial ACME. Bs. As. Argentina. 1-85 p.

Cornwell, W. K.; Cornelissen, J. H.; Allison, S. D.; Bauhus, J.; Eggleton, P.; Preston, C.; Scarff, F.; Weedon, J. T.; C. Wirth, and A. E. Zanne. 2009. Plant traits and wood fates across the globe: rotted, burned, or consumed?. Global Change Biology 15(10): 2431-2449.

Díaz Zirpolo, J. y Giménez A. M. (2013). Cuantificación y calificación de madera muerta en un bosque del Chaco Semiárido. Quebracho. Vol. 21(1,2):103-114.

Díaz Zirpolo, J. A. (2014). Madera Muerta en los Bosques del Chaco Semiárido, Argentina; Cuantificación, Caracterización y Evaluación. En. A. M. Giménez y G. Bolzón (Eds.), Educación e Investigación Forestal para un Equilibrio Vital. Parte 3. Cap. 6. (pp. 359-364). ISBN: 978-987-192-5-261.

Díaz Zirpolo, J. A. 2017. Madera muerta como factor para la gestión de los recursos forestales en bosques del Chaco Semiárido, Argentina. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. 141 p.

FAO. 2005. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales.

Franceschi, E.; I. Cascone and D. Nole. 2008. Study of artificially degraded woods simulating natural ageing of archaeological findings. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 92(1): 319-322.

González, M. A. s.f. El Uso del MEB en la Identificación de las Maderas Argentinas. [Disponible en: http://www.revistacyt.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-057.pdf; consultado 14 de marzo de 2018].

Grønli, M. G. 1996. A theoretical and experimental study of the thermal degradation of biomass. Ph.D. thesis, NTNU, Trondheim, Norway.

Grønli, M.; M. J. Antal and G. Varhegyi. 1999. A round-Robin study of cellulose pyrolysis kinetics by thermogravimetry. Industrial & Engineering Chemistry Research 38: 2238-2244.

Harmon, M. E.; Franklin, J. F.; Swanson, F. J.; Sollins, P.; Gregory, S. V.; Lattin, J. D.; Aanderson, N. H.; Cline, S. P.; Aumen, N. G.; Sedell. J. R.; Lienkaemper, G. W.; Cromack, K. JR.; Cummins, K. W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Adv. Ecol. Res. 15, 133-302.

Hernández, P. del C. 2014. Diversidad estructural y composición de un bosque serrano de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. 166 p.

Honorato, S; Jaspe, A; Hernández, P. 1998. Determinación de los components químicos de la Madera de cinco especies de encinos del estado de Puebla. Madera y Bosque 4 (2): 79-83.

Hou, A., Wang, X., and Wu, L. 2008. Effect of microwave irradiation on the physical properties and morphological structures of cotton cellulose. Carbohydrate Polymers, 74, 934–937.

Minetti, J. y L. Acuña. 1994. Régimen de variabilidad interanual de las precipitaciones anuales en el centro-este de la Provincia de Santiago del Estero. INTA. Centro Regional Tucumán, Santiago del Estero.

Oliveira, A; Silva, T. y Caballera, A. 1986. Agentes detruidores da madeira. Manual de presevacao de madeiras. Sao Paulo.

Pérez, J., Munoz-Dorado, J., de la Rubia, T., and Martinez, J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicelluloses and lignin: An overview. International Microbiology, 5, 53–63.

Pyle, D. L., and Zaror, C. A. (1984). Heat transfer and kinetics in the low temperature pyrolysis of solids. Chemical engineering science, 39(1), 147-158.

Pyle, C. and Brown, M. M. (1998). A rapid system of decay classification of hardwood logs of the eastern deciduous forest floor. J. Torrey Bot. Soc. 125: 237-245.

Severian, D. (2008). Polysaccharides: structural diversity and functional versatility. Marcel Dekker, New York.

Swift, M. J.; W. O. Heal and J. M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology. Vol 5. University of California Press. Berkeley, California, USA. 372 p.

Velásquez, D.; Encinas, O. y Mora, N. 2004. Durabilidad natural e inducida de las maderas Guácimo y Leucaena provenientes de plantaciones forestales. IV Congreso Forestal Venezolano. Barinas.

Zabel, R. y Morrell, J. 1992 . Word microbiology. Decay and its prevention. Academic press. San Diego. 476 p.

Yang, H.; R. Yan; H. Chen; D. H. Lee and C. Zheng. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel 86: 1781-1788.

Capítulo 6

Distribución espacial de la salinidad del suelo en un bosque del chaco semiárido

Figueroa, M. E.[1] y G. Lorenz[2]

Introducción

Las comunidades biológicas, como los bosques, se encuentran estructuradas en muchas escalas espaciales y temporales. Los procesos que en ellas ocurren tienen su origen en fuerzas o factores externos, que las condicionan, y también en factores internos, producto de las interacciones bióticas. Comprender los procesos ha sido desde siempre uno de los objetivos más desafiantes de la ecología vegetal. Dado que los procesos son difíciles de representar visualmente, se ha recurrido al estudio de los patrones que éstos generan para poder dilucidarlos. Los patrones son expresiones de procesos subyacentes, que se pueden percibir y representar (Fig. 1).

El uso de técnicas de análisis espacial, como el uso de geoestadística en ecología, pretende en último término entender las interacciones entre las especies y sus recursos en ambientes heterogéneos. La geoestadística ha permitido cuantificar la escala y grado de variación espacial de los recursos disponibles para plantas, y su relación con la distribución de las mismas (Gallardo & Maestre, 2008). Esta variación espacial es clave para explicar procesos ecológicos a diferentes escalas espacio-temporales (Fortin & Dale, 2005).

En este capítulo se expone un caso de estudio donde se ensaya el uso de técnicas geoestadísticas para analizar la distribución espacial de la salinidad del suelo de un bosque xerófito semiárido y su relación con la distribución de plantas leñosas, en pequeña escala ecológica.

[1] Lic. Ecología y Conservación del Ambiente. Dr. Cs. Forestales (Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero). Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: meugeniaf83@yahoo.com.ar.
[2] Ing. Agr. (Univ. Hohenheim Alemania). Dr. Ciencias Agrarias (Univ. Hohenheim Alemania). Profesor Cátedra Edafología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: glorenz@unse.edu.ar.



Figura 1. Representación esquemática de la relación entre factores- procesos- patrones que ocurren en las comunidades biológicas. Los patrones espaciales son originados por procesos, en los cuales actúan diferentes factores, todo lo cual está condicionado por el espacio.

Los resultados obtenidos con la herramienta empleada tienen implicancias directas en la toma de decisiones sobre el manejo del bosque a nivel predial o de parcela. Además, surge como recomendación considerar la estructura espacial de la salinidad del suelo y de las variables bióticas, en los diseños de muestreo, e incluir al espacio como variable explicatoria en los estudios ecológicos, y en las prácticas de manejo y restauración.

Análisis espacial en ecología forestal

El análisis espacial en ecología forestal ha permitido inferir procesos ecológicos que ocurren en los bosques (como por ejemplo: dispersión, establecimiento, crecimiento, mortalidad, competencia, facilitación, depredación, invasión, etc.) mediante la descripción de patrones espaciales (Camarero & Rozas, 2006).

En un bosque, tanto los componentes bióticos como los abióticos presentan generalmente marcados patrones espaciales, producto de las interrelaciones entre los componentes, que se condicionan mutuamente. De este modo, el medio abiótico, como por ejemplo las propiedades físico-químicas del suelo que en sí mismas presentan heterogeneidad espacial, ejerce control sobre las poblaciones de organismos sésiles, como los árboles, y de esta manera filtra la localización espacial de dichos organismos dentro del bosque. Este tipo de proceso, tal como lo explican Legendre & Legendre (1998), puede ser explicado por el modelo de

control ambiental, en el cual factores externos (climáticos, físicos, químicos) controlan a las comunidades biológicas, ejerciendo dependencia espacial inducida sobre ellas. Es decir, si estos factores externos están espacialmente estructurados, sus patrones se verán reflejados sobre las comunidades. Por ejemplo, en los suelos salinos de las regiones áridas y semiáridas, la micro-heterogeneidad espacial de la salinidad del suelo resulta en un mosaico de condiciones que afecta la distribución de las especies en pequeña escala ecológica (Carter, 1975; Bui, 2013).

Por otro lado, también actúan factores internos o inherentes a las comunidades, los cuales son explicados por el modelo de control biótico. Este modelo predice que las interacciones intra e inter específicas que ocurren dentro de las comunidades (facilitación, competencia, grupos funcionales, etc.) pueden resultar en patrones espaciales que causan verdadera autocorrelación espacial (Legendre & Legendre, 1998). Por ejemplo, una estrategia adaptativa de muchas especies que crecen en suelos salinos es evitar la etapa más crítica de su ciclo de vida, la germinación, asegurando su reproducción por medio de la propagación vegetativa (Elmqvist & Cox, 1996; Grigore *et al.*, 2010). Esta forma de propagación genera patrones espaciales agregados o contagiosos (Shimizu *et al.*, 2002).

Otros procesos que generan patrones espaciales producidos por factores internos a las comunidades, muy frecuentes en hábitats adversos, son las interacciones planta-planta, muy estudiadas en ecología vegetal (Yarranton & Morrison, 1974; Castellanos *et al.*, 1994). Por ejemplo, en los procesos de nucleación, las áreas abiertas son colonizadas por "constructores" de montículos, sitios que favorecen el establecimiento de plántulas de diferentes arbustos leñosos que eventualmente compiten y reemplazan a los colonizadores (Castellanos *et al.*, 1994; Bochet *et al.*, 1999; Aguiar & Sala, 1999; Bertiller *et al.*, 2004). Estos sitios son denominados islas fértiles que facilitan la sucesión vegetal en ambientes áridos y semiáridos (Aguiar & Sala 1999; Bochet *et al.*, 1999; Maestre & Cortina, 2002; Escudero *et al.*, 2004; Bertiller *et al.*, 2004; Moffett *et al.*, 2010). En las primeras etapas de la sucesión, la facilitación suele predominar sobre la competencia (Castellanos *et al.*, 1994). La facilitación parece explicar el agrupamiento de individuos y/o especies que muy frecuentemente se encuentran en ambientes estresantes (Tirado & Pugnaire, 2003; Callaway & Pennings, 2000).

Las interacciones de facilitación que ocurren dentro de parches de vegetación mejoran localmente las condiciones microclimáticas y las propiedades físicas y químicas del suelo, e influyen en la morfología y fisiología de las plantas vasculares vecinas (Bertness & Hacker, 1994; Hacker & Bertness 1995; Bertiller *et al.*, 2004). Sin embargo, las especies facilitadas pueden poseer mayor habilidad competitiva y cuando logran establecerse operar mecanismos de inhibición que producen cambios degenerativos en los colonizadores (Castellanos *et al.*, 1994). Las especies altamente tolerantes al estrés generalmente presentan baja capacidad competitiva en suelos no salinos frente a las menos tolerantes o sensibles (Pendleton *et al.*, 2010).

No obstante, generalmente las comunidades responden a una combinación de procesos internos y externos que generan diferentes patrones espaciales. Por este motivo, el estudio de los patrones espaciales pretende en último término entender las interacciones entre las especies y sus recursos en ambientes heterogéneos.

Salinidad y vegetación

La salinización del suelo en ambientes semiáridos ocurre muy frecuentemente. El origen de los suelos salinos puede ser primario, cuando las causas son naturales, o secundario, cuando se originan por causas antrópicas por el manejo inadecuado de la irrigación en la agricultura (Rogers *et al.*, 2005; Lorenz, 2009; Taleisnik & López Launestein, 2011). La salinización es uno de los procesos de degradación del suelo más extendido en todo el planeta y se considera una causa importante de la desertificación. Los suelos salinos ocupan en el mundo 260 millones de hectáreas aproximadamente (IUSS WRB, 2014), y afecta a 100 países (Schofield & Kirkby, 2003; Grigori *et al.*, 2010). La tendencia mundial indica que la degradación del suelo por salinización se verá acentuada por el cambio climático en las próximas décadas (Schofield & Kirkby, 2003).

La salinidad del suelo restringe la productividad de los cultivos y de la vegetación natural de estos hábitats. La elevada salinidad hace que el suelo se comporte como un suelo fisiológicamente seco, generando estrés salino en las plantas. En nivel individual dentro de una planta, el estrés salino afecta los principales procesos como fotosíntesis, síntesis de proteínas, metabolismo de energía y lípidos (Parida & Das, 2005). La germinación es la etapa del ciclo de vida de la planta que generalmente se ve más afectada negativamente, aun en halófitas (Ungar 1978). Las halófitas, plantas tolerantes a la sal, han desarrollado una serie de respuestas a lo largo de la evolución que involucran todo el ciclo de vida de la planta.

En nivel comunitario, en los suelos extremadamente salinos, la vegetación natural, dominada por las halófitas, se caracteriza por una baja diversidad taxonómica y morfológica (Parida & Das, 2005). Cuando la salinidad disminuye, la vegetación se enriquece y su diversidad fisiológica es más amplia, lo cual le permite hacer frente a condiciones salinas y no salinas (Ragonese 1951).

En bosques naturales establecidos en terrenos salinos, los árboles poseen estrategias para extraer agua del suelo con potenciales muy elevados, como las presiones osmóticas observadas en especies arbóreas del Chaco, que varían entre 40 y 75 bares (Mitlöhner, 1990). Los árboles, que generalmente crecen en suelos con excesos de sales, poseen un sistema radical muy extendido, con el cual penetran profundamente en el suelo para captar agua freática. Entre las especies arbóreas con estas características están, *Tabebuia nodosa*, *Geoffroea decorticans* y sobre

todo *Prosopis ruscifolia*, muy abundante en suelos afectados por salinidad en la región del Chaco (Roth & Giménez, 1997; Taleisnik & López Launestein, 2011).

La forestación con especies tolerantes es una práctica de recuperación de suelos degradados por salinidad que permite además, la incorporación productiva de estas superficies (Bui, 2013; Huchzermeyer & Flowers, 2013). Sin embargo, se requiere un manejo integrado, sobre todo en forestaciones a gran escala, dónde se debe controlar que el uso del agua freática salina por parte de los árboles no produzca la salinización de la rizósfera (Taleisnik & López Launestein, 2011). En Argentina, la forestación en suelos afectados por salinidad con especies arbóreas del género *Prosopis*, tiene un alto potencial para promover el desarrollo de nuevos sistemas de producción en dichos ambientes (Taleisnik & López Launestein, 2011).

Una de las características fundamentales de los ambientes salinos es alta la variabilidad de la salinidad del suelo (Larcher, 1977; Rogers *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2011). El contenido de sal del suelo puede variar dramáticamente con la estación, la profundidad y a través de un sitio (Rogers *et al.*, 2005; Bazihizina *et al.*, 2012). Además influyen la textura del suelo, la micro-topografía y los cambios en la cobertura vegetal, que modifican la química e hidrología del suelo (Carter, 1975; Larcher, 1977; Zhang *et al.*, 2014). Esta propiedad se debe fundamentalmente a la gran movilidad de las sales solubles, por lo cual su acumulación en el suelo no es homogénea.

En escalas ecológicas más finas, como por ejemplo, en la relación suelo-planta, las raíces pueden inducir gran heterogeneidad espacial de las propiedades químicas del suelo, como salinidad y pH. Las halófitas, en general, influyen en la dinámica de sales y agua en el perfil del suelo (Chaudhri *et al.*, 1964; Cisneros *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2011). Bajo la cobertura vegetal existe un menor ascenso capilar, mayor infiltración y menor tasa de evaporación, lo cual tiende al lavado de sales en superficie (Cisneros *et al.*, 2008). Sin embargo, también se ha encontrado que la salinidad puede incrementar en las capas superficiales del suelo debajo de arbustos cuyas hojas excretan sales por medio de glándulas, como las especies del género *Atriplex* (Sharma & Tongway, 1973; Rostagno *et al.*, 1991).

En escalas aún más finas, las propiedades químicas y físicas de un suelo salino se ven modificadas por la acción de microorganismos como los que conforman la costra biológica. En una costra biológica, la asociación simbiótica entre algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos en diferente grado de complejidad y evolución, favorece la germinación de las semillas, retiene humedad y contribuye al inicio de la sucesión vegetal (Belnap *et al.*, 2003).

La relación suelo salino–vegetación es muy compleja por lo cual requiere un abordaje que integre aspectos fisiológicos, fisonómicos, genéticos, ecológicos, productivos. El abordaje del análisis espacial permite integrar todos estos aspectos en el sitio donde ocurren los procesos, ya que el espacio condiciona la distribución de las variables y por lo tanto la relación entre ellas.

Salinidad en el suelo de un bosque del Chaco Semiárido

La salinidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de la vegetación. Teniendo en cuenta que una de sus principales características es la alta variabilidad espacial y temporal, el análisis espacial permite cuantificar la escala y grado de variación espacial, y describir su patrón (aleatorio, regular, gradiente, agregado). A continuación, se describe un estudio desarrollado en una parcela de bosque nativo chaqueño bajo influencia salina, para describir la variación espacial de la salinidad del suelo y su relación con la distribución de las leñosas.

El caso concreto de estudio se presenta en una parcela de bosque xerófito de *Aspidosperma Quebracho-blanco* y *Shinopsis lorentzii*, perteneciente a la ecorregión forestal Chaco Semiárido, en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Este bosque se desarrolla en un sector de interfluvio entre los ríos Dulce y Salado. Se ubica en el entorno de la llanura aluvial antigua del río Mailín (antiguo curso unido al río Dulce) (Fig. 2).

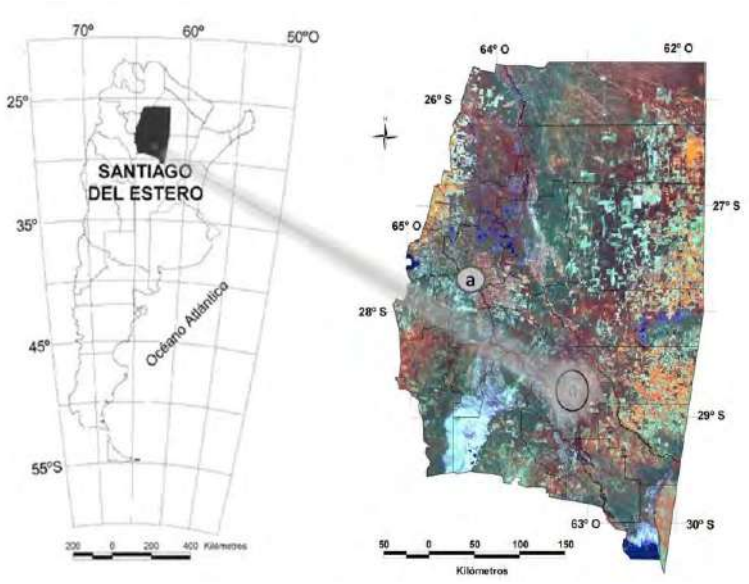


Figura 2. Ubicación del área estudiada.

En esta porción del territorio, la combinación de factores externos adversos, climáticos y edáficos, sumado al uso extractivo por parte de las comunidades humanas, dieron como resultado un bosque bajo, abierto con escasa cobertura arbórea (Fig. 3).

El principal condicionante, se debe al clima semiárido, con precipitaciones media anual de 650 mm, y un déficit hídrico medio anual de 800 mm (Angueira *et al.*,

2007). El balance hídrico del suelo muestra déficit de agua en varios meses sobre todo a principios de la primavera (Ledesma & Boletta, 1972).

La segunda restricción es edáfica, ya que debido a la elevada evapotranspiración, las lluvias no son suficientes para lavar las sales solubles en profundidad dentro del perfil del suelo. Por lo tanto, las sales son precipitadas y acumuladas en el espacio de mayor exploración por parte de las raíces de las plantas, o espacio de enraizamiento. En el sitio de estudio este espacio de enraizamiento se ubica aproximadamente en los primeros 50 cm del suelo.

En la llanura aluvial del río Mailín se identificaron los suelos Fluvic Solonchak (Siltic) y Eutric Fluvisol (Loamic). Los suelos *Solonchak* ocupan en el mundo 260 millones de hectáreas aproximadamente; presentan una conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo mayor 15 dS/m (IUSS WRB, 2014).



Figura 3. Imágenes del bosque de la parcela estudiada y de especies tolerantes a la salinidad del suelo propias del bosque xerófilo chaqueño con influencia salina.

En la parcela se encontró un valor medio de CE de 10.22 dS/m (D.E.: 9.6), dentro del primer horizonte considerado (0-20 cm). En el horizonte siguiente, 20-50 cm, la CE aumentó alrededor del doble de la CE del primer horizonte, siendo de 21.49 dS/m (D.E.: 12). El valor medio de la CE, ponderado por la profundidad, fue de 16.98 dS/m (D.E.: 11). Estos valores corresponden a suelos entre fuerte a extremadamente salinos, dónde sólo pueden sobrevivir las plantas adaptadas y altamente tolerantes a las altas concentraciones de sal en la rizósfera (Parida & Das, 2005). Estas especies se denominan halófitas.

En cuanto a la medida de acidez/alcalinidad del suelo, el pH promedio en 0-20 cm, fue de 7.57 (D.E.: 1.19) y el pH promedio de 20-50 cm fue de 7.84 (D.E.: 0.88). En general el valor del pH rondó la neutralidad con tendencia a la alcalinidad, lo cual es esperable para un bosque típico de la región (Lorenz, 1995; Chaco Red Agroforestal, 1999; Lorenz, 2009; Coirini *et al.*, 2012).

Los altos valores de pH y CE son esperables para los suelos de la región semiárida chaqueña (Coirini *et al.*, 2012). La mayor alcalinidad indica una regulación del pH por sales de sodio, lo cual es desfavorable para las plantas, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes, y posee efectos deletéreos en las propiedades físicas y químicas del suelo (Shainberg, 1975). Se ha encontrado también que ambos factores (CE y pH elevados) pueden afectar la asociación simbiótica de los arbustos halófitos con los hongos micorrícicos arbusculares (Soteras *et al.*, 2013).

En cuanto a la composición de especies, en la parcela estudiada, fue la que se espera encontrar en la matriz forestal de la región (Giménez *et al.*, 2011). La distribución de la diversidad varió según cambios en las condiciones edáficas y de microrrelieve. En la parcela se relevaron 29 especies leñosas, entre las cuales las más abundantes fueron *Aspidosperma quebracho-blanco, Prosopis ruscifolia, Ziziphus mistol, Prosopis nigra y Schinopsis lorentzii.*

Análisis del patrón espacial de la salinidad

Para analizar el patrón espacial de la salinidad del suelo del bosque, la técnica ensayada fue la geoestadística. Esta herramienta permite caracterizar atributos del patrón espacial de variables continuas, como así también se ha aplicado para realizar interpolaciones en lugares no muestreados (Gallardo & Maestre, 2008; Journel & Huijbregts, 1978). La geoestadística ha permitido cuantificar la escala y grado de variación espacial de propiedades físicas-químicas del suelo, así como su relación con la distribución de los individuos. El objetivo final de aplicar esta técnica en ecología es explicar procesos ecológicos a diferentes escalas espacio-temporales (Gallardo & Maestre, 2008).

La función básica de estructura que describe la variabilidad espacial del fenómeno estudiado es el semivariograma (Gallardo & Maestre, 2008; Journel & Huijbregts, 1978). La representación gráfica del semivariograma descompone la variabilidad espacial de la variable observada (eje y) entre clases de distancias (eje x). Es decir, que para el presente caso de estudio se pretende graficar las diferencias o

semivarianzas de la salinidad del suelo del bosque, en función de distancias dentro de la parcela.

La forma del semivariograma obtenido indica la estructura del patrón. Para cuantificar el grado y la escala de la variación espacial de la salinidad, se debe ajustar una función al semivariograma empírico, y de esta manera estimar el semivariograma teórico o modelado. Los modelos más utilizados son: esférico, exponencial, gaussiano y el modelo lineal (Gallardo & Maestre, 2008). El ajuste a una función permite extraer los parámetros que definen el grado y la escala de la variación. En los análisis se empleó software R 2.15.2 R, `gstat package´ (R Core Team, 2015) bajo el entorno de RStudio.

Para aplicar esta técnica, se diseñó un muestreo basado en unidades discretas (Maestre & Escudero, 2008). Se definió un cuadrado de 50 m x 50 m, subdividido en unidades de muestreo contiguas de 5 m x 5 m (Fig. 4). El muestreo en unidades contiguas permite una descripción más fina del patrón espacial debido a que no se pierde información por los espacios no muestreados. Aunque esto no garantiza que los datos sean representativos de todo el proceso ecológico en estudio, (población de inferencia en términos de las estadísticas paramétricas), lo son más bien de la representación espacial de la extensión del proceso (Fortin & Dale 2005).

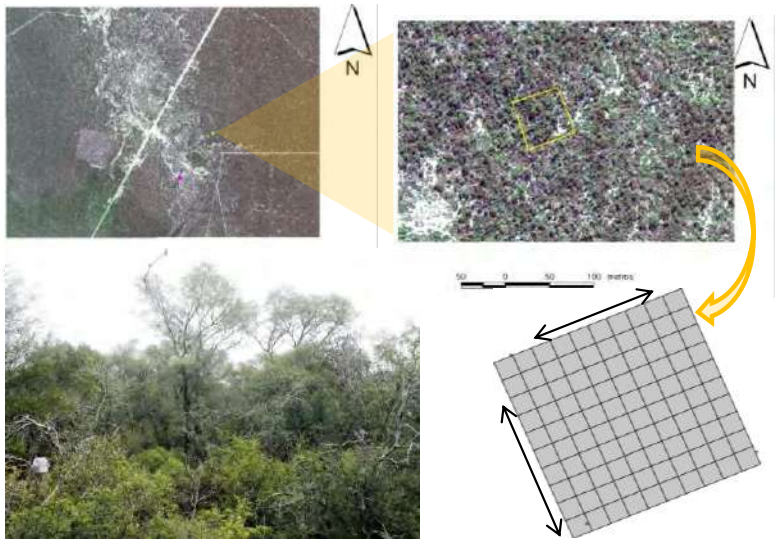


Figura 4. Diseño de la parcela y unidades de muestreo en el bosque adyacente a la llanura aluvial del río Mailín.

En cada unidad se registraron las coordenadas cartesianas (x, y) y se tomaron muestras compuestas de suelo en dos profundidades: 0-20 cm y 20-50 cm. En total se analizaron 220 muestras. Para poder realizar una interpretación ecológica de los valores de CE (dS/m) obtenidos en laboratorio, por el método rápido en suspensión suelo: agua de 1:2.5, se corrigió el valor medido para obtener la CE en

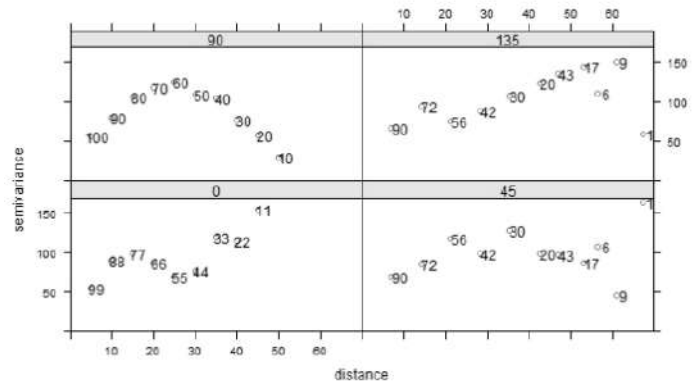
la solución del suelo (Lorenz, 2005; Sonmez *et al.*, 2008). Además se midió el pH en agua para cada muestra.

Los semivariogramas obtenidos brindan información del comportamiento espacial de las variables analizadas. Tanto la CE como el pH presentaron estructura espacial, es decir variabilidad en función del espacio. Dicho comportamiento puede ser el mismo en todas las direcciones del espacio (semivariograma omnidireccional), y ser un comportamiento isotrópico, o bien la variación espacial puede ser diferente en las distintas direcciones del espacio (anisotropía) (Legendre & Fortin, 1989; Gallardo & Maestre, 2008).

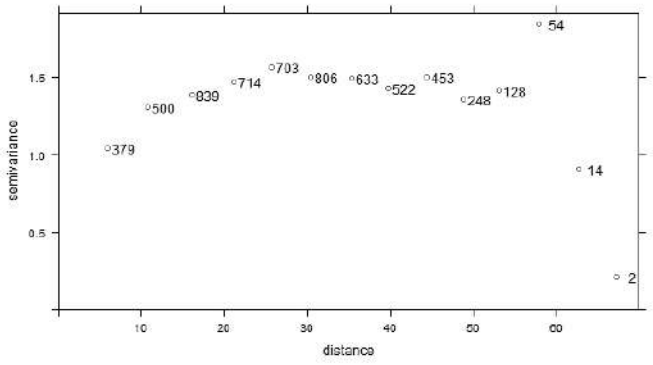
Luego de realizar una inspección visual de los semivariogramas, calculados por separado para cuatro direcciones del espacio (semivariogramas direccionales: N-S, NE-SO, E-O y NO-SE), se observó que la forma de los semivariogramas cambia según las cuatro direcciones (Fig. 5). A pesar de ello, los "nuggets", rangos y "sill" fueron aproximadamente similares, por lo tanto se justifica el empleo de un modelo isotrópico que agrupe todas las direcciones, ya que se considera que siguen el mismo modelo básico de continuidad espacial (Gallardo & Maestre, 2008).

Por esto, se utilizó un modelo isotrópico para CE y pH. En la Figura 5, se ejemplifican, sólo para la CE (0-20 cm), los semivariogramas direccionales y se muestran los semivariogramas medios para el pH.

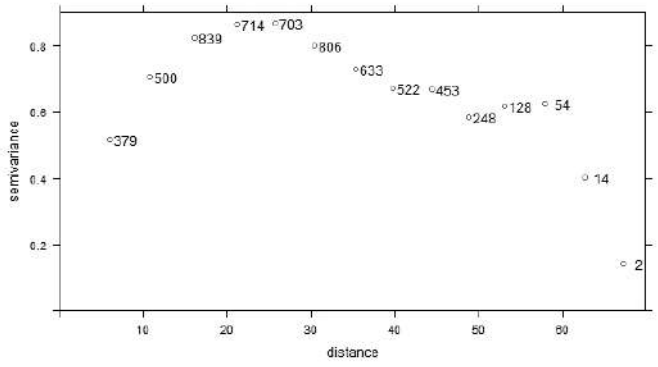
Para cada semivariograma empírico se ajustó una función, a partir de la cual se extrajeron los parámetros que definen el grado y la escala de la variación espacial observada (Gallardo & Maestre, 2008). Estos parámetros son: *rango, "sill", y "nugget o efecto pepita"*. En todos los casos se ajustaron modelos esféricos a los semivariogramas experimentales. A modo de ejemplo se presenta la función ajustada y sus respectivos parámetros, para la salinidad (Fig. 6). A continuación, se describe el significado de los parámetros obtenidos del modelo:



A



B



C

Figura 5. Representación de la semivarianza a intervalos de distancia creciente para la salinidad y el pH. A- Semivariograma direccionado para CE (dS/m) 0-20cm. B- Semivariograma medio para pH 0-20 cm y (C) para pH 20-50cm. Los números graficados corresponden al número de pares empleados para calcular la semivarianza en cada clase de distancia.

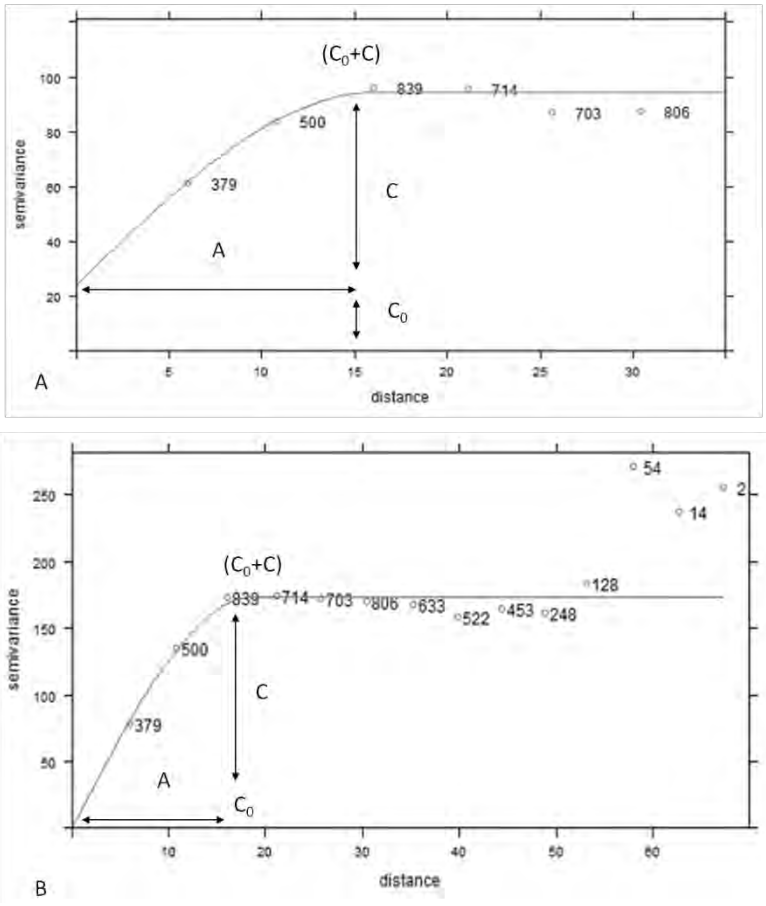


Figura 6. Modelo esférico ajustado (línea) a los semivariogramas medios empíricos (puntos) para la CE 0-20 cm (A) y CE 20-50 cm (B). Distancia en metros. Los números graficados corresponden al número de pares empleados para calcular la semivarianza en cada clase de distancia.

- El *rango* (A) indica el tamaño del área de influencia o mancha de autocorrelación positiva de la variable, es decir la distancia hasta la cual las muestras son espacialmente dependientes unas de otras
- *Meseta o sill* (C_0+C), es el umbral donde se estabiliza la curva. Corresponde a la varianza de las muestras.
- *Nugget o efecto pepita* (C_0), es la discontinuidad en el origen que normalmente indica que la autocorrelación empieza en escalas más finas que las detectadas con el muestreo. Mide el grado de error analítico o de muestreo. Este parámetro es la varianza no explicada por el modelo.

A partir de estos parámetros se puede calcular la *variabilidad estructural relativa (RSV)* o proporción de la varianza explicada por el espacio ($C/(C_0+C)$ x 100 %). La RSV es la relación entre la varianza estructural (C) y la meseta. Indica la parte

de la varianza que se encuentra estructurada espacialmente. Un alto cociente nos indica una variable espacialmente muy predecible. El grado de dependencia en función del RSV entre muestras es clasificado como: ≤ 25 % bajo, entre 25 % y 75 % medio y de ≥ 75 % alto (Gallardo & Maestre, 2008).

Las funciones ajustadas mostraron en general dependencia espacial en un rango menor a 20 metros (Fig. 6). Para la CE de 0-20 cm, el modelo esférico ajustado mostró una variación espacial del 74% (RSV). En tanto que la CE de 20-50 cm presentó una alta variabilidad estructural (RSV 100%) en un rango de 18 metros.

Si bien para el pH, no se muestra el modelo ajustado, visualmente se puede apreciar en el semivariograma experimental (Fig. 5) un rango aproximado de 25 m.

De esta manera, por medio del análisis geoestadístico, la variabilidad espacial de la salinidad del suelo del bosque en la parcela pudo ser cuantificada. La salinidad del suelo del bosque presentó heterogeneidad espacial con un patrón agregado cuya mancha de influencia fue menor a 20 metros. Los factores que explican este patrón agregado pueden ser internos o externos. Es decir la salinidad intrínsecamente se distribuye de manera agregada o bien su patrón se ve modificado por factores externos que en sí mismos están estructurados espacialmente.

El patrón espacial de la salinidad influye en la distribución de las plantas, pero a su vez las plantas introducen modificaciones en dicho patrón. Por lo tanto, el patrón observado en el análisis espacial, es resultado de la interacción suelo-vegetación y de la escala de observación.

La vegetación, como ya se ha explicado anteriormente, puede modificar las propiedades edáficas y su distribución espacial. Para indagar acerca de este planteo se calculó el semivariograma para el índice de diversidad de leñosas del bosque, H´ Shannon, calculado a partir de la abundancia de especies leñosas por unidad de muestreo contigua de 5 m x 5 m (Fig. 7). La variabilidad estructural relativa para el índice de H´Shannon fue de un 44 % en un rango de 20 metros.

El patrón espacial de las leñosas y de la salinidad mostró un rango similar, menor a 20 metros. Es decir, tanto la salinidad como la vegetación del bosque presentaron patrones agregados, ambos con rangos muy semejantes en la escala espacial analizada. La coincidencia entre ambos patrones indica que la relación suelo salino-vegetación tiene un patrón espacial marcado, y que los cambios en la vegetación probablemente modificarán el patrón espacial de la salinidad del suelo.

Otros estudios en escalas más amplias permitirán comprender el comportamiento de la salinidad en relación a otros factores y procesos que operan en escalas ecológicas mayores, como por ejemplo la distancia al cauce de los ríos, la pendiente regional del terreno, etc.

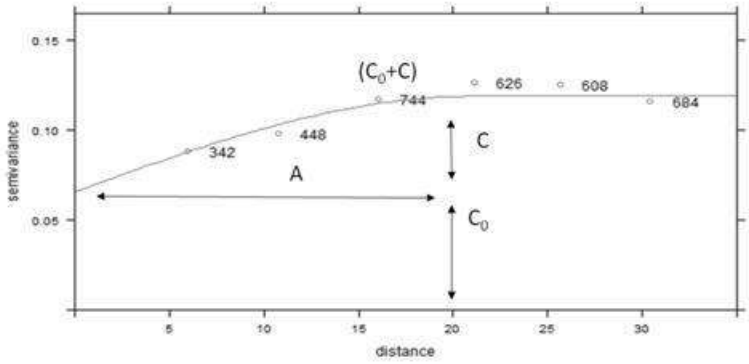


Figura 7. Semivariograma empírico (puntos) y el modelo esférico ajustado (línea) para el índice de diversidad de leñosas H´Shannon. Distancia en metros. Los números graficados corresponden al número de pares empleados para calcular la semivarianza en cada clase de distancia.

Los parámetros calculados pueden ser empleados en nuevos estudios sobre ambientes salinos, los cuales deberían contemplar en el diseño de muestreo, la dependencia espacial de la salinidad y del pH, así como también de variables bióticas, e incluir al espacio como variable explicatoria en los análisis posteriores.

Los resultados obtenidos con este tipo de estudios tienen implicancias prácticas y directas en la toma de decisiones sobre cómo intervenir y manejar los recursos en el nivel de la parcela. En este sentido, se podrían aplicar los modelos de patrones espaciales en programas de restauración y monitoreo de ecosistemas degradados a escala local.

Por otra parte, con fines de investigación en ecología, los resultados pueden ser empleados en estudios temporales, para evaluar la evolución del proceso de sucesión vegetal, los cambios en la salinidad del suelo según las estaciones del año, la relación con otros factores edáficos, como así también en experimentos de trasplante de especies con distinto grado de tolerancia fisiológica, teniendo presente, en todos los casos, la componente espacial de cada fenómeno estudiado.

Consideraciones finales

El uso de herramientas de ecología espacial permitió detectar los patrones espaciales de la salinidad del suelo del bosque. Generalmente se ha encontrado que la salinidad del suelo puede presentar un patrón en gradiente a lo largo de una secuencia, desde la costa al interior, o desde el centro de un salar hacia zonas más elevadas del terreno. La vegetación y sus parámetros (composición, riqueza, estructura), suelen variar, en estos casos, en función de dicho gradiente (regiones

costeras, salares de interior) y son considerados indicadores del tenor salino. Sin embargo, dentro de un bosque, la distribución de las sales puede ser aún más variable y su patrón menos fácilmente percibido. El uso de la geoestadística permite identificar los patrones, modelarlos e interpolarlos en mapas para una mejor interpretación del fenómeno estudiado. En este sentido, el análisis realizado permitió detectar el patrón espacial de la salinidad dentro del bosque, determinando así que se distribuye en manchas o parches y que está correlacionado espacialmente con la distribución de las plantas leñosas. Es decir que, en la escala estudiada, la salinidad no siguió un patrón aleatorio ni en gradiente, sino que más bien estuvo condicionado por la distribución de la vegetación. Esto implica que las modificaciones en la cobertura vegetal incidirán en el patrón de la salinidad del suelo del bosque.

Existe una multiplicidad de técnicas y métodos de análisis de datos multivariantes y estructura espacial, que permiten evaluar conjuntamente la relación entre variables bióticas (ej.: composición de especies halófitas), abióticas (ej.: salinidad del suelo) y el patrón espacial de dicha relación. Existen métodos que se basan en ordenaciones con datos brutos, y otros que trabajan con matrices de similitud/distancia a partir de dichos datos (Olano & Luzuriaga, 2008). Entre los primeros métodos, las técnicas geoestadísticas aplicadas sobre ordenaciones, utilizan directamente los valores de los ejes de una ordenación y su posición en el espacio físico, para construir un semivariograma, a partir de datos multivariados. Aunque esta técnica ha sido empleada con diversos objetivos en ecología, sería oportuno desarrollar y profundizar aún más sus aplicaciones en el campo de la ecología forestal.

Referencias bibliográficas

Aguiar, M. R. & O.E Sala. 1999. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. Trends in Ecology and Evolution 14: 273–277.

Angueira, C: D. Prieto, J. López y G. Barraza. 2007. SIG Santiago del Estero. INTA.

Bazihizina, N., E. G., Barrett-Lennard, & T. D. Colmer, 2012. Plant growth and physiology under heterogeneous salinity. Plant and Soil, 3541-2, 1-19

Belnap, J., B.Büdel, & O. L. Lange, 2003. Biological soil crusts: characteristics and distribution. In Biological soil crusts: structure, function, and management pp. 3-30. Springer Berlin Heidelberg

Bertiller MB; AJ Bisigato; A L Carrera; H. F. Del Valle. 2004. Estructura de la vegetación y funcionamiento de los ecosistemas del monte Chubutense. Bol. Soc. Argent. Bot. 39 3-4: 139-158

Bertness, M. D., & Hacker, S. D. 1994. Physical stress and positive associations among marsh plants. American Naturalist, 363-372.

Bochet, E., Rubio, J. L., & J. Poesen. 1999. Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. Catena, 381, 23-44

Bui E.N. 2013. Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography. Review. Journal of Arid Environments 92: 14-25

Callaway, R. M., & S. C. Pennings. 2000. Facilitation may buffer competitive effects: indirect and diffuse interactions among salt marsh plants. The American Naturalist, 1564, 416-424

Camarero, JJ & V, Rozas. 2006. Técnicas de análisis espacial de patrones de superficies y detección de fronteras aplicadas en ecología forestal. Invest Agrar: Sist Recur For 151: 66-87.

Carter, D. L. 1975. Problems of salinity in agriculture. In Plants in saline environments (pp. 25-35). Springer Berlin Heidelberg.

Castellanos, E. M., M. E. Figueroa, & A. J. Davy. 1994. Nucleation and facilitation in saltmarsh succession: interactions between Spartina maritima and Arthrocnemum perenne. Journal of Ecology, 239-248

CHACO, Red Agroforestal. Estudio integral de la región del parque chaqueño. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Préstamo BIRF, 1999, no 4085-AR.

Chaudhri, I. I., Shah, B. H., Naqvi, N., & Mallick, I. A. 1964. Investigations on the role of *Suaeda fruticosa* Forsk in the reclamation of saline and alkaline soils in West Pakistan plains. Plant and Soil, 21(1), 1-7.

Cisneros, JM; A Degioanni; JJ Cantero& A Cantero. 2008. Caracterización y manejo de suelos salinos en el área pampeana. *In* Taleisnik, E; K Grunberg & G. Santa María (eds.). La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria, pp 17-46. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. ISBN 978-987-626-013-8

Coirini, R., M. Karlin, G. Reati, M.Allier, & C. Ávalos. 2010. Manejo sustentable del ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido. Córdoba: Encuentro Grupo Editor.

Elmqvist, T., & Cox, P. A. 1996. The evolution of vivipary in flowering plants.Oikos, 3-9.

Escudero, A., L. Giménez-Benavides, J. M. Iriondoand, A. Rubio. 2004. Patch Dynamics and Islands of Fertility in a High Mountain Mediterranean Community Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 36, No. 4, 2004, pp. 518–527

Fortin, M.-J., and Dale, M.R.T. 2005. Spatial analysis: a guide for ecologists,Cambridge University Press.

Gallardo, A., Maestre, F. T. 2008. Métodos geoestadísticos para el análisis de datos ecológicos espacialmente explícitos. *In* Maestre F. T., A. Escudero y A. Bonet (eds.). Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones, p. 215-272. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

Giménez, A. M., Hernández, P., Figueroa, M. E., & Barrionuevo, I. 2011. Diversidad del estrato arbóreo en los bosques del Chaco Semiárido. Quebracho (Santiago del Estero), 19(1), 24-37.

Grigore, M.-N., Toma, C., & Boşcaiu, M. 2010. Dealing with halophytes: an old problem, the same continuous exciting challenge. Analele ştiinţifice ale Universităţii "Al. I. Cuza" Iaşi, Biologie vegetală, Tomul LVI, fasc. 1, s.II a

Hacker, S. D., & Bertness, M. D. 1995. Morphological and physiological consequences of a positive plant interaction. Ecology, 2165-2175

Huchzermeyer, B., & Flowers, T. 2013. Putting halophytes to work–genetics, biochemistry and physiology. Functional Plant Biology, 40(9), v-viii.

IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Journel, A. G., & Huijbregts, C. J. 1978. Mining geostatistics. Academic press

Larcher, W. 1977. Ecofisiología Vegetal. Ediciones Omega.

Ledesma, N. R., & Boletta, P. E. 1972. Clima de las regiones forestales argentinas. [Climate of the argentine forest regions]. *In* 7. Congreso Forestal Mundial., Buenos Aires (Argentina). 4 Oct 1972.

Legendre, P., & Fortin, M. J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. Vegetatio, 80 (2), 107-138.

Legendre, P.; & L. Legendre. 1998. Numerical ecology. 2nd English edition. Elsevier, Amsterdam

Li, C., Li, Y., & J. Ma. 2011. Spatial heterogeneity of soil chemical properties at fine scales induced by Haloxylon ammodendron Chenopodiaceae plants in a sandy desert. Ecological research 262, 385-394.

Lorenz, G. 1995. Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina. Quebracho, 3, 13-23

Lorenz, G. 2005. Métodos de análisis de suelos. Serie Didáctica Nº 12. Cátedra De Edafología Forestal. Facultad De Ciencias Forestales. Unse, Santiago Del Estero, Argentina

Lorenz, G. 2009. Ambientes salinos: las dos caras de un fenómeno regional. *In* Giannuzzo, NA & ME Ludueña (eds.). Cambios y problemas ambientales: perspectivas para la acción pp 255-273. 1a Ed.- Univ. Nacional de Santiago del Estero.

Maestre, F. T. & Escudero, A. 2008. Capítulo I: Introducción. *In* Maestre F. T, A. Escudero y A. Bonet (eds.). Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones, pp 1-32. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid.

Maestre, F. T. & J Cortina. 2002. Spatial pattern of soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe. Plant and Soil 241: 279-291

Mitlöhner, R. 1990. Die konkurrenz der Holzagwächse im regengrünen Trockenwald des Chaco Boreal, Paraguay. Universität Göttinger, Göttinger Beitr. Zur Land-und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. N° 54, 177 p.

Moffett, Kb; Da, Robinson & Sm, Gorelick. 2010. Relationship of salt marsh vegetation zonation to spatial patterns in soil moisture, salinity, and topography. Ecosystems 13: 1287–1302

Olano, J. M., & Luzuriaga, A. L. 2008. Métodos para incorporar la estructura espacial en el análisis de datos multivariantes. *In* Maestre F. T., A. Escudero y A. Bonet (eds.). Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones, pp. 303-344. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

Parida, A. K., & Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and environmental safety, 60(3), 324-349.

Pendleton, R. L., S. D. Nelson, & R. L. Rodriguez. 2010. Do soil factors determine the distribution of spineless hopsage (*Grayia brandegei*)? [http://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr338/int_gtr338_205_209.pdf; Consultado: 28/02/2012].

R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: http://www.R-project.org/.

Ragonese, A. 1951. La vegetación de la República Argentina. II.- Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. Rev. Inv. Agr. 51-2:1-233.

Rogers, M. E., A. D. Craig, R. E. Munns, T. D. Colmer, P. G. H. Nichols, C. V. Malcolm, E.G. Barrett-Lennard, A. J. Brown, W. S. Semple, P. M. Evans, K. Cowley, S. J. Hughes, R. Snowball, S. J. Bennett, G. C. Sweeney, B.S. Dear and M. A. Ewing. 2005. The potential for developing fodder plants for the salt-affected areas of southern and eastern Australia: an overview. Australian Journal of Experimental Agriculture, 45, 301–329.

Rostagno, C. M., H. F Del Valle, & L. Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. Journal of Arid Environments 202: 179-188.

Roth, I., & A. M. Giménez, 2006. Argentine Chaco forests: dendrology, tree structure, and economic use. 1. The semi-arid Chaco. Encyclopedia of Plant Anatomy. 180 pp. Gebrüder Borntraeger. Berlín

Schofield, R. V., & M. J. Kirkby, Application of salinization indicators and initial development of potential global soil salinization scenario under climatic change,Global Biogeochem. Cycles, 173, 1078, doi:10.1029/2002GB001935, 2003.

Shainberg, I. 1975. Salinity of soils - Effects of salinity on the physics and chemistry of soils. *In* Poljakoff-Mayber A. & J. Gale (eds). Plants in saline environments pp. 39-55. Springer Berlin Heidelberg.

Sharma, M. L., & D. J Tongway. 1973. Plant induced soil salinity patterns in two saltbush Atriplex spp. communities. Journal of range management, 121-125

Shimizu, Y., Ando, M., & Sakai, F. 2002. Clonal structure of natural populations of *Cryptomeria japonica* growing at different positions on slopes, detected using RAPD markers. Biochemical Systematics and Ecology, 30(8), 733-748

Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F., & Citak, S. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1: 1, 1: 2.5, 1: 5) in soil salinity studies.Geoderma, 144(1), 361-369

Soteras, F., Cofré, N., Bartoloni, J., Cabello, M., & Becerra, A. 2013. Hongos arbusculares (Glomeromycota) en la rizósfera de *Atriplex lampa* en dos ambientes salinos de córdoba: influencia de la profundidad en la colonización radical y presencia de morfoespecies. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 48(2), 0-0.

Taleisnik, E., & D. López Launestein. 2011. Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. Ecología Austral, 21:3-14.

Tirado, R., & Pugnaire, F. I. 2003. Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. Oecologia, 1362: 296-301.

Ungar, I. A. 1978. Halophyte seed germination. The Botanical Review, 44(2), 233-264.

Yang, F., Zhang, G., Yin, X., & Liu, Z. 2011. Field-scale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in western Songnen plain of China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 82, 374-387.

Yarranton, G. A., & Morrison, R. G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. The Journal of Ecology, 417-428.

Zhang, Z., H. Hu, F.Tian, H. Hu, X.Yao, & R. Zhong, 2014. Soil salt distribution under mulched drip irrigation in an arid area of northwestern China.Journal of Arid Environments, 104: 23-33.

Capítulo 7

Fisiología de especies forestales bajo estrés salino: conocimientos y desafíos

Meloni, D. A.[1]; D. Moura Silva[2] y G. I. Bolzón de Muñiz[3]

Salinización de los suelos: causas y magnitud del fenómeno

El estrés es definido como un factor externo abiótico (salinidad, temperaturas extremas, déficit hídrico, etc.) o biótico (insectos, patógenos, etc.) que reduce la capacidad de la planta para convertir energía en biomasa (Grime, 1977).

La agricultura mundial se enfrenta a grandes desafíos, entre ellos incrementar en 70% la producción de alimentos, para una población mundial que crece a una tasa superior a la productividad de los cultivos (Shanker y Venkateswarlu, 2011). La baja productividad se atribuye en la mayoría de los casos a factores abióticos, entre ellos estrés salino.

Un suelo es considerado salino cuando posee una conductividad eléctrica superior a 4 dS. m^{-1} en el extracto de saturación, lo que equivale a aproximadamente 36 mmol l^{-1} de NaCl (Bui, 2013). Si además posee altas concentraciones de sodio, se lo considera salino sódico.

Los suelos salinos pueden tener dos orígenes:

- Salinidad primaria o natural.

Es el resultado de la acumulación de sales durante períodos de tiempo extensos, a través de procesos naturales que tienen lugar en el suelo, o en las napas freáticas. Puede ser generada por el desgaste de la roca madre, y la liberación de sales solubles de varios tipos, principalmente cloruros de sodio, calcio, magnesio, así como también sulfatos y carbonatos (por lo tanto depende de la composición

[1] Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. E-mail: dmeloni@unse.edu.ar.
[2] Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. E-mail: diu@zaz.com.br
[3] Universidad Federal de Paraná (UFPR-Br), Curitiva, Brasil. E-mail: gbmunize@ufpr.br

química de la roca madre). En zonas costeras, la salinización primaria es el resultado de la deposición de sales llevadas por el viento y la lluvia.

- Salinidad secundaria o de origen antrópico.

Es el resultado de actividades humanas que cambian el balance hídrico del suelo, o sea la diferencia entre el agua que ingresa (riego o precipitaciones), y la que es utilizada por las plantas (Garg y Manchanda, 2008).

Actualmente, aproximadamente la quinta parte de las 2.800 millones de hectáreas cultivables del planeta, están afectadas por la salinidad, situación que tiende a agravarse (Ben Dkhil y Denden, 2010). Anualmente, 1,5 millones de hectáreas se tornan improductivas como resultado de los altos niveles de salinidad en los suelos (Munns y Tester, 2008). En la Tabla 1 se detallan las superficies de suelos irrigados que presentan procesos de salinización en diferentes países.

Tabla 1. Estimación de salinización secundaria a nivel global en suelos irrigados (Según Parihar *et al.*, 2015).

País	Áreas irrigadas		Áreas irrigadas afectadas por salinización	
	Millones de ha	%	Millones de ha	%
China	45	46	6,7	15
India	42	25	7,0	17
Rusia	21	9	3,7	18
USA	18	10	4,2	23
Pakistán	16	78	4,2	26
Irán	6	39	1,7	30
Tailandia	4	20	0,4	10
Egipto	3	100	0,9	33
Australia	2	4	0,2	9
Argentina	2	5	0,5	30
Sudáfrica	1	9	0,1	9

El riego adiciona a los suelos cantidades apreciables de sales, incluso cuando se utiliza agua de buena calidad (200 a 500 mg de sales soluble/kg de agua). De este modo el agua de riego que contiene 500 mg/kg, posee 0,5 toneladas de sales por 1.000 m^3. Si se considera que la mayoría de las plantas requieren entre 6.000 y 10.000 m^3 por hectárea y año, se concluye que una hectárea de suelo recibe entre 3 y 5 toneladas de sales. Debido a que la cantidad de sales absorbidas por las plantas es mínima, éstas se acumularán en la superficie del suelo, y deberán ser lixiviadas mediante el aporte de un volumen de agua superior al requerido por los cultivos. Si el drenaje no es adecuado, se produce el ascenso del agua por capilaridad, desde las napas freáticas hasta la superficie del suelo. Este proceso ha sido el principal responsable de la salinización de los suelos de la zona de riego del río Dulce, en Santiago del Estero.

Respuestas de las plantas a la salinidad

Las sales presentes en la solución del suelo pueden inhibir el crecimiento vegetal mediante dos efectos. En primer lugar, la presencia de las sales disminuye el potencial hídrico del suelo, lo que dificulta la absorción de agua, y por ende la tasa de crecimiento (efecto osmótico). En segundo lugar, si un exceso de sales ingresa a la corriente transpiratoria, éstas pueden llegar a las hojas y producir alteraciones en el metabolismo. En este caso se hace referencia a un efecto de toxicidad, específico de los iones (Greenway y Munns, 1980).

Como consecuencia del estrés salino, se manifiestan alteraciones en los principales procesos metabólicos: germinación, crecimiento, nutrición mineral, relaciones hídricas, fotosíntesis; produciéndose indirectamente estrés oxidativo. Algunos de estos aspectos serán abordados en los siguientes ítems.

Germinación

La germinación es un proceso clave dentro del ciclo ontogénico de la planta, y suele limitar la capacidad de una especie para colonizar los ambientes salinos. Su respuesta a la salinidad depende de la especie en cuestión, y una alta tolerancia al estrés salino durante esta etapa, no garantiza el mismo comportamiento en una planta adulta.

La salinidad afecta la germinación a través de varios mecanismos. La primera etapa de la germinación es la imbibición de la semilla, y esta disminuye debido al bajo potencial hídrico del medio (Khan y Weber, 2008). En algunas especies puede alterar la actividad de enzimas que intervienen en el metabolismo de ácidos nucleicos (Gomes-Filho *et al.*, 2008), el metabolismo de las proteínas (Dantas *et al.*, 2007), el balance hormonal (Khan y Rizvi, 1994), e inhibir la utilización de reservas de la semilla (Othman *et al.*, 2006).

Tanto el porcentaje de germinación, como la velocidad del proceso, varían entre especies y procedencias.

Schinopsis lorentzii es una especie nativa del Chaco Occidental sensible al estrés salino, posee umbral para la germinación de 200 mmol l^{-1} (Figura 1A). En esta especie la velocidad del proceso es más sensible a la salinidad que el porcentaje de germinación, ya que el tiempo medio de germinación se incrementa a partir de 100 mmo l^{-1} de NaCl (Figura 1B).

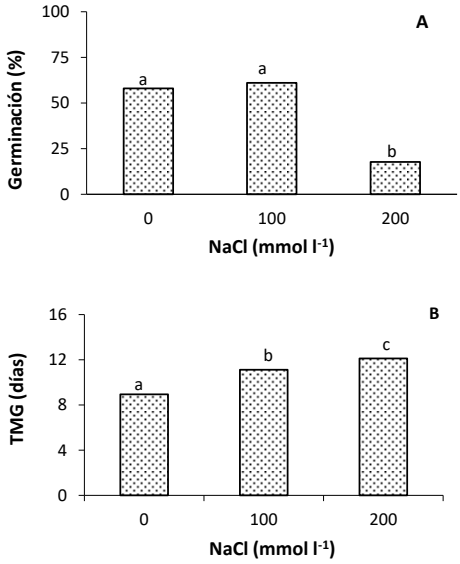


Figura 1. Porcentaje de germinación **(A)** y tiempo medio de germinación, TMG **(B)** en semillas de *Schinopsis lorentzii* incubadas en soluciones de NaCl. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Kruskal- Wallis.

En contraste con *Schinopsis lorentzii*, las especies del género Prosopis poseen alta tolerancia a la salinidad. En *P. alba* el umbral para la germinación es de 600 mmol l^{-1} de NaCl (Figura 2A), y proceso comienza a ser inhibido a partir de 500 mmol l^{-1} de NaCl (equivalente a la concentración de sales presente en el agua de mar). Sin embargo los bajos potenciales hídricos de las soluciones salinas hacen que la imbibición sea más lenta a medida que se incrementa la concentración de NaCl. Por lo tanto la velocidad de la germinación es menor que el porcentaje de semillas germinadas, y el tiempo medio de germinación se incrementa a partir de 400 mmol l^{-1} de NaCl (Figura 2B).

En ensayos realizados en cultivos hidropónicos de *P. alba*, con semillas procedentes de las inmediaciones de la localidad de Maco (Santiago del Estero), el umbral para el crecimiento de plántulas fue de 500 mmol l^{-1} de NaCl (Meloni *et al.*, 2013a).

Velarde *et al.* (2003) compararon el crecimiento y la supervivencia de familias (semillas de un único árbol madre) de especies del Género *Prosopis*, en función de la salinidad. Realizaron ensayos en invernáculo, con cultivos hidropónicos y concentraciones salinas de 10 a 45 dS m^{-1} de NaCl (aproximadamente 100 y 500 mmol l^{-1}). En dichos ensayos emplearon 9 familias de *P. alba* de la Provincia de Santiago del Estero, y 14 de *P. pallida*, de 6 provincias del Perú. Las familias de *P. pallida* tuvieron menor supervivencia media que *P. alba* (6,1 vs 41,7) en el mayor nivel de salinidad. Por otra parte en *P. alba* observaron una menor correlación

entre el crecimiento medio de las familias, y el crecimiento máximo individual, lo que hace a esta especie susceptible de mejoramiento genético con la finalidad de incrementar su tolerancia a la salinidad.

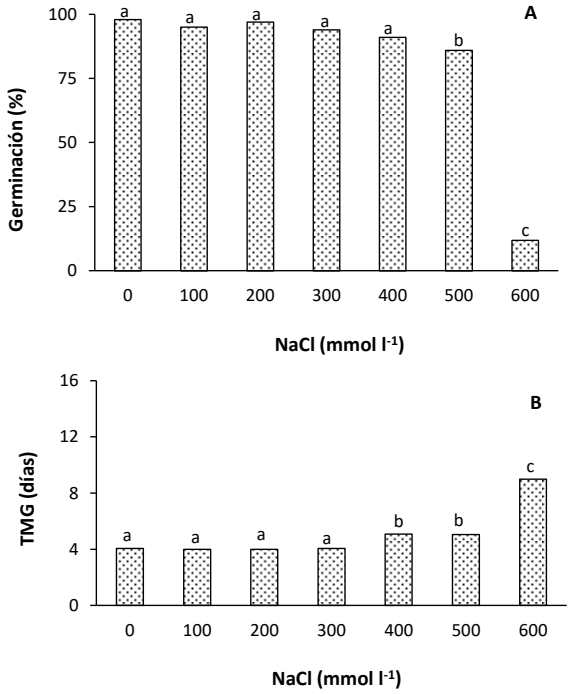


Figura 2. Porcentaje de germinación (A) y tiempo medio de germinación, TMG (B) en semillas de *Prosopis alba* incubadas en soluciones de NaCl. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Kruskal- Wallis.

Estos niveles de tolerancia a la salinidad, tanto en la germinación como en el crecimiento de especies forestales, contrastan con los reportados en especies de interés agronómico. Por ejemplo la soja es una especie muy sensible a la salinidad, y su crecimiento es inhibido por soluciones salinas de 20 mmol l^{-1} de NaCl. La alfalfa, considerada tolerante a la salinidad, disminuye su rendimiento en 50% cuando se la cultiva en suelos con conductividad eléctrica de 9,6 dS m^{-1} (Ayers y Westcott, 1985).

Ajuste osmótico

Como se mencionó anteriormente, una de las causas de la inhibición del crecimiento generada por el estrés salino, es la componente osmótica. En efecto, el bajo potencial hídrico de las soluciones salinas, dificulta la absorción de agua. Esto se debe a que el agua se mueve en el sistema suelo-planta-atmósfera a favor de un gradiente de potenciales hídricos.

Algunas especies han desarrollado un mecanismo para compensar este efecto, denominado ajuste osmótico. El ajuste osmótico consiste en la acumulación de solutos orgánicos, llamados solutos osmocompatibles, que permiten disminuir el potencial hídrico de los tejidos, restableciendo de esta manera el gradiente entre el suelo y las células. Se denominan osmocompatibles, ya que disminuyen el potencial osmótico (una de las componentes del potencial hídrico), y son compatibles con el metabolismo celular (Meloni *et al.*, 2013b). Las especies tolerantes al estrés salino suelen almacenar en vacuolas iones tóxicos como sodio y cloruro; estos iones también contribuyen al ajuste osmótico. Entre los solutos osmocompatibles reportados en especies leñosas se destacan: prolina, glicinabetaina, glicerol, manitol, sorbitol, trehalosa, y azúcares solubles. En la Tabla 2, se detallan las especies leñosas en las que se detectaron solutos osmocompatibles, luego de ser sometidas a estrés salino.

Tabla 2. Solutos osmocompatibles detectados en algunas especies leñosas bajo condiciones de estrés salino.

Especie	Soluto	Referencia
Prosopis strombulifera	Prolina	Llanes *et al.*, 2010
Prosopis strombulifera	Manitol, sorbitol	Reginato *et al.*, 2012
Prosopis alba	Betaína, azúcares solubles	Meloni *et al.*, 2004
Prosopis ruscifolia	Prolina	Meloni, 2012

Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso metabólico clave, que determina la producción de biomasa en las plantas. Consta de dos etapas: fotoquímica y bioquímica. La primera tiene lugar en los discos tilacoides de los cloroplastos, y consiste en la transformación de la energía luminosa en energía química, bajo la forma de ATP y NADPH. La segunda etapa se produce en el estroma de los cloroplastos, y utiliza los productos de la etapa fotoquímica para fijar CO_2, produciendo como primer producto estable el ácido 3- fosfoglicérico, precursor de los hidratos de carbono (Figura 3A).

El estrés salino puede inhibir ambas etapas del proceso fotosintético, generando una disminución en la producción de biomasa (Carillo *et al.*, 2011).

En las últimas décadas se han desarrollado instrumentos que permiten estudiar el impacto de distintos factores ambientales sobre la fotosíntesis. De este modo los fluorímetros portátiles suministran algunas variables que indican el funcionamiento de los diferentes pasos que tienen lugar durante la etapa fotoquímica (Figura 3B). Por otra parte los analizadores de gases infrarrojo (IRGA), miden variables ecofisiológicas asociadas a la etapa bioquímica, tales como conductancia estomática, transpiración, concentración intercelular de CO_2, eficiencia en el uso del agua, eficiencia de la carboxilación, etc. (Figura 3C).

Numerosos estudios han sugerido que las características fotosintéticas son las más adecuadas, para ser utilizadas como marcadores indirectos en programas de mejoramiento genético, ya que responden rápidamente a los estreses ambientales (Stefanov *et al.*, 2011; Gama *et al.*, 2013; Duarte *et al.*, 2013).

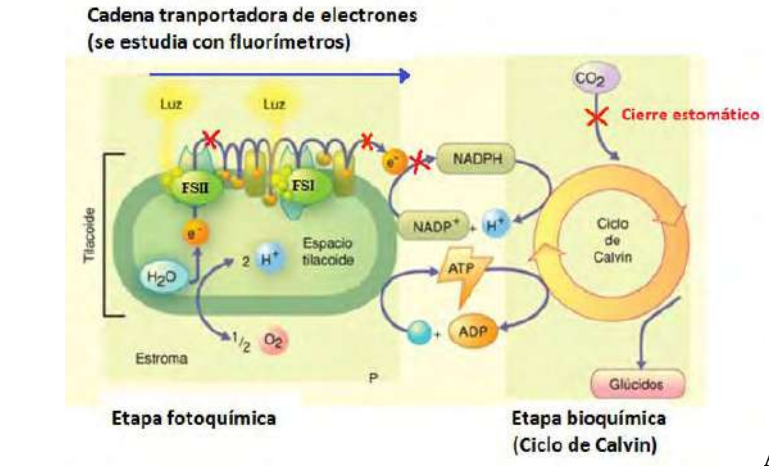


Figura 3. Etapas fotoquímica y bioquímica de la fotosíntesis. Los pasos resaltados con cruces rojas pueden ser alterados por el estrés salino **(A)**. La etapa fotoquímica puede estudiarse mediante el uso de fluorímetros portátiles **(B)**, y algunas variables asociadas a la etapa bioquímica pueden medirse a través del uso de analizadores de gases en infrarrojo **(C).** La Figura 3A fue modificada de Curtis *et al.* (2008).

Meloni *et al.* (2014) estudiaron la respuesta de la fotosíntesis al estrés salino en *Prosopis alba*. Observaron que estrés salino disminuyó la fotosíntesis neta, luego de 7 días de tratamiento, y pese a la conductancia estomática siguió una tendencia similar, la concentración intercelular de CO_2 se mantuvo constante. Esta observación demuestra que el CO_2 no fue un factor limitante para la fotosíntesis en plántulas estresadas. Una respuesta interesante fue la reducción en la eficiencia de la carboxilación, que siguió la misma tendencia que la fotosíntesis neta; lo que sugiere que ésta fue el factor que determinó la inhibición del proceso fotosintético. En concordancia con esos resultados reportaron una inhibición en la etapa fotoquímica de la fotosíntesis, reflejada en una disminución en el índice de desempeño total, calculado mediante variables de fluorescencia (dicho índice refleja el potencial para la conservación de la energía desde el excitón, hasta los aceptores de electrones del fotosistema I). Estos autores sugieren que la disminución en la eficiencia de la carboxilación puede deberse al daño producido por el estrés sobre la maquinaria fotosintética de la planta, y como consecuencia de ello una menor producción de NADPH. De este modo la tasa fotosintética estuvo limitada por la baja concentración de los productos obtenidos en la etapa fotoquímica.

Estrés oxidativo y ruta resistente al cianuro

La salinidad puede producir una rápida acumulación de especies reactivas de oxígeno (EROs), tales como los radicales superóxido ($O_2^{\bullet -}$), hidroxilo ($OH^{\bullet}$) y oxígeno singlete ($^1O_2$), en cloroplastos y mitocondrias (Meloni *et al.*, 2003). Estrés oxidativo, es un término comúnmente utilizado para describir los efectos adversos de las EROs sobre las plantas. Éstos pueden consistir en la degradación de pigmentos fotosintéticos, peroxidación de lípidos, alteraciones en la permeabilidad selectiva de las membranas celulares, desnaturalización de proteínas, y mutaciones en el ADN (Mittler, 2002). Para reparar y mitigar el daño producido por las EROs, algunos vegetales han desarrollado mecanismos de protección como la síntesis de dos tipos de antioxidantes: a) sustancias no enzimáticas de bajo peso molecular, como los fenoles, y b) enzimas como la superóxido dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1) y la peroxidasa (POD, EC 1.11.1.7) [Gossett *et al.*, 1994].La SOD participa en la detoxificación del radical superóxido, y su acción produce H_2O_2 y O_2. La POD, por su parte, descompone el H_2O_2, por la oxidación de cosustratos, como fenoles y antioxidantes (Mittler, 2002).

En *Prosopis ruscifolia* el estrés salino no modificó las concentraciones de malondialdehído en las hojas, lo que demuestra que la especie posee un eficiente sistema de detoxificación de EROs (Meloni *et al.*, 2008 b). Coincidiendo con este resultado, el estrés salino incrementó la actividad de la enzima SOD, a partir de concentraciones de 200 mmol l^{-1} de NaCl. Esta tendencia se mantuvo con el

incremento de la concentración salina en la solución nutritiva. De este modo, la actividad de la SOD en plantas crecidas en soluciones conteniendo 400 mmol l^{-1} de NaCl fue 147 % superior que en el testigo. El aumento en la actividad de esta enzima permite detoxificar el radical superóxido, producido por el estrés, y constituye una importante estrategia para disminuir los efectos nocivos del estrés oxidativo. El estrés también produjo un incremento en la actividad de la enzima POD, a partir de concentraciones de NaCl de 200 mmol l^{-1}. En las plantas que crecieron en soluciones suplementadas con 400 mmol l^{-1} de NaCl, la actividad POD se duplicó con respecto al testigo. La POD descompone al H_2O_2 mediante la oxidación de diversos sustratos, por lo que su actividad se complementa con la de la SOD, eliminando el producto tóxico producido por ésta (Meloni *et al.*, 2008).

Meloni y Martínez (2009), investigaron en laboratorio el efecto de la adición de 8 mmol l-1 de glicinabetaína (GB) sobre la tolerancia de plántulas vinal al estrés salino, inducido por el NaCl. La adición de GB a las plantas tratadas con NaCl produjo una disminución de 40 % en la concentración foliar de Na^+, y concentraciones de K^+ similares a las del testigo. Las plantas sometidas a estrés salino mostraron un incremento del 95 % en la concentración foliar de malondialdehido, el producto de la peroxidación de lípidos, generado por las EROs. Dicha respuesta fue mitigada por la adición de GB, apreciándose un incremento en la actividad SOD. Los autores concluyeron que la GB incrementa la tolerancia del vinal al estrés salino, a través de un mecanismo que involucra la homeostasis de iones (manteniendo la relación K^+/Na^+), y protección de las membranas celulares contra el ataque de radicales libre, aumentando la actividad SOD.

La respiración celular produce grandes cantidades de energía bajo la forma de ATP. El ATP es utilizado en diversos procesos metabólicos y en el transporte activo de iones. Consta de varias etapas, una de ellas es la cadena transportadora de electrones, que tiene lugar en la membrana interna mitocondrial, donde se ubican distintos complejos proteicos. La citocromo c oxidasa (Complejo IV) es la última enzima de dicha cadena, y transfiere los electrones hacia la molécula de oxígeno, reduciéndola a dos moléculas de agua.

Además de la citocromo c oxidasa, las mitocondrias vegetales poseen una oxidasa alternativa (AOX), que acepta electrones directamente del ubiquinol, disipando el potencial redox como calor (es la llamada ruta resistente al cianuro). La actividad AOX puede ser inducida por diversos estreses (Umbach *et al.*, 2005).

El incremento de la actividad AOX en plantas sometidas a estrés, puede ser considerada una respuesta adaptativa a dichas condiciones, ya que permite obtener energía adicional sin utilización de los citocromos, o sea sin intervención del oxígeno. De este modo disminuye la producción de EROs. Esta respuesta ha sido reportada en algunas especies herbáceas, tales como trigo (Jacoby *et al.*, 2010).

En plántulas de *Prosopis alba* crecidas hidropónicamente en presencia de 400 mmol l^{-1} de NaCl se detectó un aumento significativo en la concentración de la AOX, tal como puede observarse en la Figura 4. En dicha figura se aprecian las

bandas correspondientes a las AOXs de mitocondrias aisladas de hojas de plántulas crecidas en ausencia o presencia de 400 mmol l^{-1} de NaCl. Se distingue una banda con mayor intensidad en el tratamiento salino, con respecto al testigo.

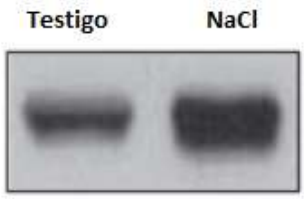


Figura 4. Inmunoblot de oxidasa alternativa (AOX) en mitocondrias aisladas de hojas de plántulas de *P. alba* crecidas en solución nutritiva de Hoagland al 25%, sin NaCl (Testigo), y con la adición de 400 mmol l^{-1} de NaCl (NaCl). La AOX fue detectada usando un anticuerpo monoclonal, combinado con un sistema de quimio-luminescencia.

Se ha propuesto el uso de la AOX como marcador de una eficiente reprogramación celular en plantas sometidas a estrés (Arnholdt- Schmitt *et al.*, 2006; Clifton *et al.* 2006). Por lo tanto esta variable podría ser utilizada en programas de mejoramiento genético de *P. alba*.

Futuros desafíos

La productividad vegetal es significativamente reducida por el estrés salino. Esto se debe al impacto directo sobre la germinación, fotosíntesis, respiración, asimilación de nutrientes, desbalance hormonal, etc. Además el estrés salino incrementa la producción de EROs, que a su vez produce daños sobre macromoléculas, tales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

En especies de importancia agronómica, los mecanismos de tolerancia a la salinidad han sido estudiados en profundidad, y las bases fisiológicas se emplearon como marcadores en programas de mejoramiento genético.

El gran desafío en el sector forestal, es dilucidar los mecanismos de tolerancia en especies leñosas. En este sentido especies nativas de regiones áridas y semiáridas, como aquellas pertenecientes al género Prosopis pueden ser utilizadas como modelos.

Recientemente en especies herbáceas se han realizado estudios de genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica, que han aportado información básica para el mejoramiento genético tradicional, y la obtención de cultivos transgénicos. En especies leñosas se han reportado resultados sobre aspectos ecofisiológicos y bioquímicos, faltando un enfoque molecular.

Sobre la base de las investigaciones realizadas dos variables son promisorias para tales fines: el índice de desempeño de la etapa fotoquímica de la fotosíntesis e

inmunoblots de oxidasa alternativa. De ambos, el primero es el más interesante, ya que se determina mediante un método simple y no destructivo.

Referencias Bibliográficas

Arnholdt-Schmitt, B.; H.J. Costa; D.F. Melo (2006) "AOX– a functional marker for efficient cell reprogramming under stress?" Trends Plant Sci. 11: 281–287.

Ayers, R.S.; D.W. Westcott (1985) "Water quality for irrigation". FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 29. FAO, Rome.

Ben Dkhil, B.; M. Denden. (2010). "Biochemical and mineral responses of okra seeds (*Abelmoschus esculentus* L. variety Marsaouia) to salt and thermal stresses". *Journal of Agronomy* 9: 29-37.

Bui, E.N. (2013). "Soil salinity: a neglected factor in plant Ecology and biogeography". *Journal of Arid Environments* 92:14-25.

Carillo, P.; M.G. Annunziata; G. Pontecorvo. (2011). "Salinity stress and salt tolerance". *In*: Shanker, A and Venkateswarlu. Abiotic stress in plants. Mechanisms and adaptations, p. 21-38. Editorial InTech, USA.

Clifton R; A.H. Millar; J. Whelan (2006) "Alternative oxidases in Arabidopsis: a comparative analysis of differential expression in the gene family provides new insights into function of non-phosphorylating bypasses". Biochim Biophys Acta 1757: 730–741.

Curtis, H.; N. Barnes; A. Schnek; A. Nassarini (2008) Biología, 7ma. edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.

Dantas B.F.; R.L. De Sa; C.A. Aragao (2007) Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. Rev Bras de Sementes 29:106–110.

Gama, V.N.; J.T. Cunha; I.L. Lima; M.A. Bacarin; D.M. Silva (2013). "Photosynthetic characteristics and quality of five passion fruit varieties under field conditions". Acta Physiologiae Plantarum 35:941-948.

Duarte, B.; D. Santos; J.C. Marques; I. Caçador (2013) "Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: photosynthesis, PSII photochemistry and anti-oxidant feedback- Implications for resilience in climate change". Plant Physiology and Biochemistry 76:178-188.

Garg N, Manchanda G (2008) Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiol Plant 30:595–618.

Gomes-Filho, E.; C.R.F. Machado Lima; J.H. Costa; A.C. da Silva; M. Lima; C,F. de Lacerda; J.T. Prisco (2008) "Cowpea ribonuclease: properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment". Plant Cell Rep 27:147–157.

Gossett, D.R.; E.P. Millhollon; M.C. Lucas (1994) "Changes in antioxidant levels in response to NaCl treatment in salt tolerant and sensitive cultivars of cotton, *Gossypium hirsutum* L.". Crop Science 34:706-714

Greenway H; R. Munns (1980) "Mechanisms of salt tolerance in

Nonhalophytes". Annu Rev. Plant Physiol. 31:149–190.

Grime J.P. (1977) "Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory". Am. Nat. 111:1169–1194.

Jacoby, R.P.; A.H. ,Millar; N.L. Taylor (2010) "Wheat mitochondrial proteomes provide new links between antioxidant defense and plant salinity tolerance". J. Proteome Res. 9:6595–6604.

Khan M.A.; Y. Rizvi (1994) "Effect of salinity, temperature and growth regulators on the germination and early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. Stocksii". Can. J. Bot. 72:475-479.

Khan M.A.; D.J. Weber (2008) "Ecophysiology of high salinity tolerant plants". Springer, Amsterdam.

Llanes, A.; M. Reginato; G. Palacio; V. Luna. 2010. "Biochemical indicators of salinity tolerance in the halophyte *Prosopis strombulifera* are differentially affected by NaCl and Na_2SO_4". *In*: Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment. p 344-355. Edited by M. Öztürk, A. Mermut, A. Celik. Daya Publishing House, Delhi.

Meloni, D.A.; M.A. Oliva; C.A. Martínez; J. Cambraia (2003) "Photosynthesis and activity of stress-related enzymes in cotton under salt stress". Environmental and Experimental Botany 49: 69-76.

Meloni, D.A.; M.R. Gulotta; C.A. Martínez; M.A Oliva (2004) "The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*". Brazilian Journal of Plant Physiology 16:39-46.

Meloni; D.A.; M.R. Gulotta; M.A. Oliva. 2008. "El estrés salino incrementa la actividad de enzimas antioxidantes y la concentración de polifenoles en vinal (*Prosopis ruscifolia* G.)". Quebracho 15:27-31.

Meloni, D.A.; C.A. Matínez. (2009). "Glycinebetaine improves salt tolerante in vinal (*Prosopis ruscifolia* Griesbach) seedlings". Brazilian Journal of Plant Physiology 21:233-241.

Meloni, D.A. (2012) "Respuestas fisiológicas a la suplementación con calcio de plántulas de vinal (*Prosopis ruscifolia* G.) estresadas con NaCl". Revista de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo 44: 79-88.

Meloni, D.A.; D.M. Silva; G.I. Bolzón. (2013a) "Composición mineral y concentración de solutos orgánicos en algarrobo blanco (*Prosopis alba* G.) sometido a estrés salino con NaCl" Actas XXX Jornadas Científicas, Asociación de Biología de Tucumán. Horco Molle, Tucumán, 8 al 11 de Octubre de 2013.

Meloni, D.A.; D.M. Silva; G.I. Bolzón (2013b) "Ajuste osmótico en algarrobo blanco (*Prosopis alba* G.) bajo condiciones de estrés salino". Actas XXX Jornadas Científicas, Asociación de Biología de Tucumán. Horco Molle, Tucumán, 8 al 11 de Octubre de 2013.

Meloni, D.A.; R.Ledesma; D.M. Silva; G. Bolzón. (2014) "Índices de desempeño fotosintético y concentración de carotenoides en *Prosopis alba* G. bajo estrés salino". Actas VI Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. San Fernando del Valle de Catamarca, 19 al 21 de Noviembre de 2014.

Mittler, R. 2002. "Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance". Trends Plant Science 7:405-410.

Munns, R.; M. Tester. (2008). "Mechanisms of salinity tolerance". *Annual Review of Plant Biololgy* 58:651-681.

Othman Y; G. Al-Karaki; A.R. Al-Tawaha; A. Al-Horani (2006). "Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions". World J Agric. Sci. 2:11-15.

Parihar, P; S. Singh; R. Singh; S.M. Prasad. (2015) "Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review". Environ. Sci. Pollut. Res., 22:4050-4075.

Reginato, M.; M. Sgroy; A. Llanes; F. Cassán; V. Luna. 2012. "The american halophyte *Prosopis strombulifera*, a new potential tool to confer salt tolerance to crops". *In*: Crop production for agricultural improvement. p 36-167. Springer, Berlin.

Shanker A.K.; B. Venkateswarlu (2011) "Abiotic stress in plants—mechanisms and adaptations. Editoral Rijeka, Croacia.

Stefanov, D.; V. Petkova; I.D. Denev (2011) "Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using JIP-test". Scientia Horticulturae 128:1-6.

Umbach A.L.; F. Fiorani; J.N. Siedow (2005) "Characterization of transformed Arabidopsis with altered alternative oxidase levels and analysis of effects on reactive oxygen species in tissue". Plant Physiol 139: 1806-1820.

Velarde, M.; P. Felker; C. Degano. (2003) "Evaluation of argentine and peruvian *Prosopis* germplasm for growth at seawater salinities". Journal of Arid Environments 55:515-531.

Capítulo 8

Productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* derivada de NDVI MODIS y su respuesta ante sequías

Tiedemann, J. L.[1]

Introducción

Los recursos forrajeros de Argentina, renovables y multifuncionales, como los pastizales naturales y las pasturas implantadas anuales y perennes, son el componente principal de la alimentación en los sistemas ganaderos predominantes en el país (INTA, 2011). El forraje es la integración temporal del incremento positivo de biomasa de la vegetación terrestre por unidad de superficie y tiempo o productividad primaria neta (PPN) (Field *et al.*, 1995; Fensholt *et al.*, 2006). La PPN terrestre es sensible a numerosos aspectos, como climáticos, topográficos, suelo, características microbiológicas de las plantas, y perturbaciones e impacto antropogénico (Field *et al.*, 1995). La PPN terrestre está directamente relacionada con la precipitación media anual (Lauenroth, 1979) en especial en ecosistemas áridos y semiáridos (Nicholson *et al.*, 1990; Karnieli *et al.*, 2002), por cuanto la valoración de la PPNA a diversas escalas posibilita detectar eventos climáticos que producen efectos adversos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas como la *sequía* (Tucker *et al.*, 1981).

Las sequías constituyen, por su recurrencia y severidad, una de las principales adversidades climáticas en las regiones agrícolas de mayor importancia económica de Argentina (Ravelo & Pascale, 1997). Tucker & Choudhury (1987) la definen como un período en que se reduce el crecimiento de la vegetación por déficit de

[1] Dr. Ing. Zoot. Prof. Adj. Forrajes. Facultad de Ciencias Naturales (Sede Sur), Universidad Nacional de Salta (UNSa). Becario Post Doctoral. MINCyT. (Proyecto CICyT UNSE 23B151). Instituto de Proteccion Vegetal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina. E-mail: mann@unse.edu.ar

precipitaciones e induce a un decrecimiento en la capacidad fotosintética que puede ser detectada y cuantificada con datos derivados de satélites.

La variación en los patrones de precipitaciones regional está fuertemente asociada a la influencia del ENSO, o su fase inversa La Niña. Estos fenómenos están asociados a dramáticos cambios en los patrones de precipitaciones a diversas escalas, resultando en precipitaciones por encima de lo normal en algunas regiones y por debajo de lo normal en otras (Anyamba *et al.*, 2002; Barbosa *et al*, 2006).

A escala continental el sur de Sudamérica, presentó la peor sequía de los últimos setenta años, afectando los cultivos agrícolas y el forraje para ganadería en el norte de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (FAS, 2010). La Argentina sufre en general un periodo con anomalías negativas en la precipitación media mensual desde 2006 hasta 2015 (SMN, 2016). A nivel regional Minetti (2016) mediante índices de sequía regional determino que el noroeste Argentino, región donde se encuentra la Provincia de Santiago del Estero, sufrió sequías severas entre los años 2003 y 2013, y sequia menos severas en los años 2014 y 2015.

En el área de estudio o Dpto. Moreno, la sequía fue evidenciada por Tiedemann (2015a; 2015b) mediante series temporales de Índices de Vegetación. El autor determinó que la PPNA o biomasa forrajera de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* (SP) fueron severamente afectados por anomalías negativas extremas de la precipitación media en las estaciones de crecimiento correspondientes al período 2008-2015. La sequía afecta severamente la productividad estacional de biomasa forrajera y por ende el balance forrajero a nivel predial.

Los SP de *Panicum maximum* predominantes en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, cumplen funciones como secuestro de carbono atmosférico, retención de agua de los suelos, control de la erosión y fuga de minerales, protector de cuencas hídricas, hábitat para fauna silvestre, conservación del suelo y fauna, banco de germoplasma in situ, fuente de combustible y madera, recurso recreativo del ser humano, entre otras (INTA, 2011) y como sumidero de carbono con manejo adecuado y fundamentalmente con disponibilidad de precipitaciones (Rigge *et al.*, 2013).

La disponibilidad de series temporales de NDVI derivadas del sensor MODIS, espacial y temporalmente adecuadas, obtenidas, procesadas e integradas mediante sistemas de información geográfica, posibilitan el monitoreo de los SP de *Panicum maximum*. La importancia de conocer y entender la respuesta de la productividad de forraje de los SP ante sequías, de manera simultánea para el Dpto. Moreno, se basa en que los resultados obtenidos pueden ser extrapolados hacia toda la región Chaqueña semiárida. Desde el punto de vista ganadero, la información facilita la toma de decisión sobre pautas de manejo ante adversidades como la confección de reservas forrajeras estratégicas o realizar los ajustes de la carga necesarios para evitar el sobre pastoreo. Los SP de *Panicum maximum* son importantes porque predominan en la gran mayoría de los sistemas ganaderos extensivos del Dpto. Moreno y sustentan una carga de ~268.000 cabezas de bovinos.

El Dpto. Moreno, Santiago del Estero

Ganadería

La provincia de Santiago del Estero (Figura 1) es líder regional en cuanto a número de animales, esta cuenta con el 47% de las 3.37 millones de cabezas de existencia en el Noroeste Argentino, siendo su stock de hacienda de 1,3 millones de bovinos (PCBSE, 2013). El Noreste y Este de Santiago del Estero son las principales zonas ganaderas, contando con el 37,87% del stock provincial equivalente a 550.000 bovinos. El Dpto. Moreno (Figura 1, Der), es el que sustenta la mayor carga animal con ~268.000 cabezas de bovinos (SENASA, 2015). La actividad ganadera principal es la cría extensiva y el bosque Chaqueño y sabanas edáficas o inducidas por incendios y deforestación la base forrajera de su alimentación (Pérez, 1992). Es importante destacar que la región Sudeste de la Provincia le siguen en importancia con el 28.5% del stock o 416.500 bovinos (PCBSE, 2013).

Clima

El clima en el Dpto. Moreno se caracteriza por ser cálido, con registros de TMM del mes más caliente (enero) de 28ºC y del mes más frio (julio) de 16.3ºC. Las temperaturas extremas superior supera los 47ºC y la mínima absoluta -10ºC (Boletta *et al.*, 2006). La estación lluviosa comienza en Diciembre y se extiende hasta Marzo la precipitación media anual oscila entre los 500 mm y 750 mm. La temperatura media mensual en Enero es 26.9°C (verano) y 12,4°C en Julio (invierno); el balance hídrico es deficitario en la mayoría de los meses del año (Boletta *et al.*, 2006).

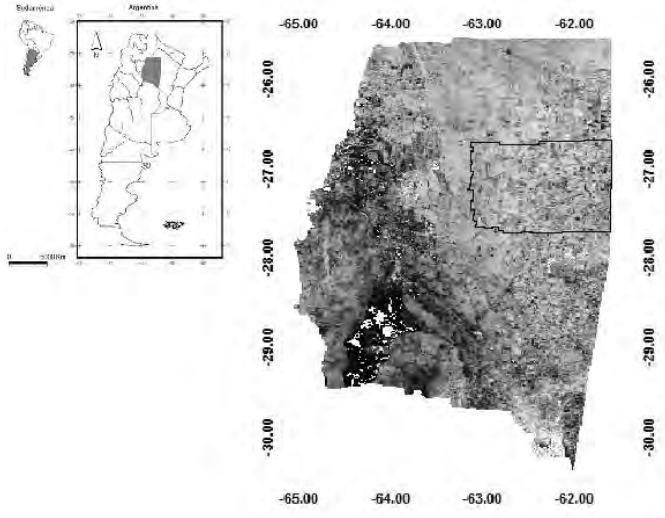


Figura 1. (Izq.) Argentina en Sudamérica y Santiago del Estero en Argentina; (Der.) Santiago del Estero y el Dpto. Moreno (polígono negro)

Vegetación

La vegetación en el Dpto. Moreno es el bosque Chaqueño semiárido, xerófito y abierto (Figura 2, arriba), el estrato superior es el bosque de *Schinopsis quebracho colorado* y *Aspidosperma quebracho blanco* (SAyDS, 2004). Presenta un estrato medio, conformado por especies de los géneros *Zizyphus, Cercidium, Celtis y Prosopis*, entre otras (SAyDS, 2004). El estrato arbustivo está conformado por especies pertenecientes a los géneros *Acacia, Mimosa, Geoffroea, Prosopis, Atamisquea*, entre otras (SAyDS, 2004). Finalmente el estrato herbáceo está formado por gramíneas de los géneros S*etaria, Gouinia, Digitaria, Trichloris, Chloris*, y dicotiledóneas como R*uellia, Justicia, Holocheilus, Trixis, Hyptis*, entre otras (SAyDS, 2007).

Las sabanas (Figura 2, Abajo) poseen un estrato herbáceo dominante, con predominio de gramíneas que son las que le dan el nombre de pastizal (Renolfi, 1992). En pastizales natural es de origen edáfico, la gramínea típica dominante es el Aibe (Elionorus muticus) y géneros asociados como *Bothriochloa, Aristidas, Pappophorum, Eragrostis, Chloris, Paspalum*. En los pastizales de origen pirógeno o de deforestación, los géneros dominantes son *Trichloris, Setaria, Digitaria, Papophorum, Chloris*. Las leguminosas presentes en el pastizal natural corresponden a los géneros, *Calactia, Rhynchosia, Adesmia, Stylosanthes, Desmodium, Cassia, Desmanthus, Indigofera, Macroptilum*, entre otras, (Renolfi, 1988 y 1992).



Figura 2. (Arriba) Perfil típico del Bosque Chaqueño semiárido.
(Abajo) Perfil típico del pastizal natural con predominio de *Elionorus* sp. (Aibe).
Fuente: Zerda H. R. SIGL@b LECA, INPROVE, FCF, UNSE

Usos de la Tierra

La deforestación con fines agrícolas y ganaderos produjo severos cambios en las coberturas vegetales nativas, predominando en el este y oeste de la Provincia paisajes de fragmentos de bosque y pastizales con monocultivos agrícolas (Zerda & Moreira, 2006; Zak *et al.*, 2004). La tala excesiva del bosque, el sobrepastoreo y los cambios en el régimen de fuegos, degradaron al bosque y lo transformaron en superficies de arbustos densos y espinosos, o en bosque secundario con alta densidad de individuos (Zak *et al.*, 2004; Kunst *et al.*, 2012). Este tipo de cobertura y estructura redujo significativamente la oferta de forraje herbáceo limitando severamente la receptividad y por ende la actividad ganadera (Kunst *et al.*, 2006; Kunst *et al.*, 2012).

Con el fin de revertir la situación detallada anteriormente, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria promueve un proceso intensificación basado, en parte, en la aplicación de tecnologías de procesos como el incremento de la producción de forraje por unidad de superficie, mediante el uso de material genético de mayor rendimiento y con adaptación ambiental y en la confección de reservas forrajeras de calidad (INTA, 2011). Como consecuencia de estas actividades, en las últimas décadas la cría extensiva fue reconvirtiéndose a sistemas de recría y terminación en *feedlot* (PCBSE, 2013).

El incremento de la productividad forrajera del bosque Chaqueño degradado se realizó mediante la eliminación del estrato arbustivo y arbóreo menor a 3 m de altura mediante rolados (*roller chopping*) y la implantación de *Panicum maximun* (Anriquez *et al.*, 2005; Ledesma, 2006; Kunst *et al.*, 2012), dando como resultado un parque compuesto por leñosas y pasto (Kunst *et al.*, 2003) en donde la productividad de materia seca de las gramíneas es superior al 100% (Kunst *et al.*, 2003; Kunst *et al.*, 2012) (Figura 3).



Figura 3. Perfil típico de Sistema Pastoril de *Panicum maximum*
Fuente: Kunst *et al.*, 2008

PPNA derivada de $NDVI_{MODIS}$ de los sistemas pastoriles y sequía

La sequía es un período en que se reduce el crecimiento de la vegetación por déficit de precipitaciones e induce a un decrecimiento en la capacidad fotosintética que puede ser detectado y cuantificado mediante NDVI (Tucker & Choudhury, 1987); a partir de este concepto el NDVI fue ampliamente utilizado para el monitoreo de sequías a diferentes escalas espaciales y temporales.

El NDVI, desarrollado por Rouse *et al.* (1973) fue ampliamente utilizado en la región para el monitoreo de la dinámica espacial y temporal de las coberturas vegetales y su relación con parámetros climáticos en la región. De acuerdo con Zerda & Tiedemann (2010) el modelo estacional de las precipitaciones incide en la dinámica de las coberturas bosque y pastizal de Santiago del Estero tomando valores elevados de NDVI, durante la estación húmeda estival (octubre-mayo) y valores bajos de NDVI durante la estación seca invernal (junio-septiembre). Tiedemann (2011) y Tiedemann *et al.* (2012) determinaron mediante la serie temporal NDVI VEGETATION que la productividad de la vegetación estacionalmente activa del bosque y del pastizal natural en el Noreste de Santiago del Estero no fue afectada por variaciones en la precipitación media de un período húmedo (1998-2003) y seco (2004-2009). Esta respuesta estaría fuertemente relacionada con la elevada biodiversidad, estratificación y a la presencia de especies leñosas de porte con raíces profundas que los conforman.

Los parámetros fenológicos y la productividad primaria neta aérea (PPNA) de cuatro sistemas pastoriles de *Panicum maximum* del Dpto. Moreno, fueron determinados por Tiedemann (2015a) mediante la serie temporal NDVI MODIS para el periodo 2008-2014. Con el fin de actualizar la información, el objetivo de este trabajo fue determinar la PPNA de los sistemas pastoriles de Panicum maximum del Dpto. Moreno en las estaciones de crecimientos comprendidas en el período 2008-2016. Las superficies, mapas y coordenadas centrales de los sistemas pastoriles analizados están disponibles en Tiedemann (2015a).

El NDVI fue confeccionado a partir de datos de reflectancia superficial MOD09GQ (TERRA AM) y MYD09GQ (AQUA PM) derivados del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Todos los datos de reflectancia superficial utilizados en este trabajo pertenecen al proyecto *Earth Observing Systems* – NASA. La serie temporal NDVI para el periodo 2008-2016 fue suavizada mediante media móvil para reducir el ruido residual (Reed & Brown, 2005; Balzarini *et al.*, 2008).

La longitud de la estación de crecimiento (LE) se relaciona directamente con la productividad de la vegetación estacionalmente activa (Field *et al.*, 1995; White *et al.*, 1997; Reed & Brown, 2005; Chandola *et al.*, 2010), y contribuye a la correcta cuantificación de la PPN (Bradley *et al.*, 2007). La LE fue determinada mediante el modelo de regresión cuadrática (de Beurs & Henebry, 2010; Brown *et al.*, 2012), $LE = \alpha\ NDVI2 + \beta\ NDVI + \gamma$ en donde la variable independiente es la serie temporal del NDVI (tiempo), α el parámetro cuadrático, β la pendiente de la curva y, γ la ordenada al origen que corresponde al NDVI en el inicio de la estación de

crecimiento. La LE se determinó mediante el mejor ajuste del modelo cuadrático con el coeficiente de determinación (R^2) (de Beurs & Henebry, 2010). A partir de la LE, se determinó la productividad de la vegetación estacionalmente activa de cada una de ellas (Field *et al.*, 1995) mediante la estacionalidad integrada del NDVI; la SINDVI = Σ NDVIij en donde i es el NDVI diario de la estación de crecimiento j (Reed & Brown, 2005),

La PPNA de los cuatro sistemas pastoriles se determinó mediante el modelo de Monteith (1977). Siendo la PPNA = ε * Σ (α * SINDVI + β) * RFA (Mj/m2. t) donde ε corresponde a la eficiencia en el uso de la radiación solar (gMs/MJ) y RFA es la radiación fotosintéticamente activa. Los datos de ε en el área en estudio son escasos, sin embargo puede suponerse un ε constante en función de la escala del trabajo (Ruimy *et al.*, 1994). Por cuanto para los SP en este trabajo se tomó de bibliografía el valor de ε de Ruimy *et al.* (1994), siendo el promedio anual de pasturas perennes igual a 0.23 g Ms/MJ (Field *et al.*, 1995). Los valores considerados de α = 1.1 y β = 0.055, fueron determinados por Paruelo *et al.* (2004) para Sudamérica en base a la metodología propuesta por Ruimy *et al.* (1994). SINDVI es la estacionalidad integrada del NDVI (Reed & Brown, 2005). La PPNA de los SP se expresó en Kg Ms^{-1} ha^{-1}.

El efecto estacional sobre la PPNA de los SP fue determinado mediante un análisis de varianza en diseño completamente aleatorizado (Balzarini *et al.*, 2008). Las variables clasificatorias fueron las estaciones de crecimiento, los predios de los sistemas pastoriles las repeticiones y la variable dependiente la PPNA. Se verificó normalidad con Shapiro-Wilks modificado y homogeneidad de varianza con Levene (Balzarini *et al.*, 2008), no encontrándose evidencias para rechazar las hipótesis de normalidad y homogeneidad de varianzas. La comparación de medias se realizó mediante Tukey (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Los datos de precipitación pertenecen a la estación meteorológica de la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño. Siendo la Anomalías = xi - Xh, donde xi es la precipitación media de un mes y Xh la precipitación media histórica (1918-2016) de ese mes (SMN, 2016) (Figura 4).

En la Figura 4, se presenta las anomalías positivas y negativas de la precipitación media estacional ocurridas en el Dpto. Moreno en el periodo 2008-2016.

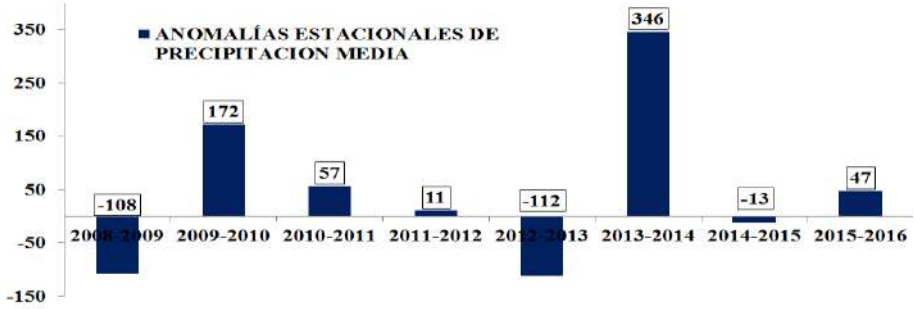


Figura 4. Anomalías estacionales acumuladas (Noviembre a Mayo) de la precipitación media mensual correspondientes al período 2008-2016, en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina. Fuente: Sociedad Rural del Noreste Santiagueño

Fueron encontradas diferencias significativas ($p< 0.01$; R^2 0.68; R^2 Aj 0.60) en la PPNA de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* de las estaciones de crecimiento comprendidas en el período 2008-2016 (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de medias de la PPNA (Kg MS/ha) de los SP de Panicum por estaciones de crecimiento

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6136.00951 Error: 6865058.6865 gl: 24

EC	Medias	n	E.E.		
EC 08-09	1790.20	4	1310.06	A	
EC 12-13	3085.22	4	1310.06	A	
EC 15-16	5860.00	4	1310.06	A	B
EC 14-15	6440.25	4	1310.06	A	B
EC 09-10	9245.23	4	1310.06		B
EC 13-14	9528.51	4	1310.06		B
EC 11-12	10514.00	4	1310.06		B
EC 10-11	11562.31	4	1310.06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La productividad de biomasa forrajera de las estaciones 2008-2009 y 2012-2013 (Tabla 1) fue severamente afectada por las anomalías negativas extremas de la precipitación de media (Figura 4 y 5). Los SP produjeron en estas estaciones el 8.4% del total de forraje producido por hectárea en el periodo 2008-2016. La PPNA de los SP en las estaciones de crecimiento 2009-2010, 2013-2014, 2011-2012 y 2010-2011 todas con anomalías positivas de la precipitación media (Figura 4 y 5) no tuvieron diferencias significativas en productividad forrajera (Tabla 1). Los SP produjeron en estas estaciones el 70.4% del total de forraje por hectárea producido en el periodo 2008-2016. La productividad de forraje de las estaciones de crecimiento 2014-2015 (6440.25 Kg Ha) y 2015-2016 (5860.00 Kg Ha) tuvieron un comportamiento diferenciado (Figura 4 y 5). Los SP produjeron en estas estaciones el 21.2% de la producción total de forraje por hectárea en el periodo 2008-2016. Ambas estaciones tuvieron anomalías positivas de

precipitación media (Figura 4 y 5), sin embargo la PPNA toma valores intermedios con respecto al resto de las estaciones. Esta respuesta se relaciona con la menor precipitación estacional, la estación de crecimiento 2013-2014 tuvo 964 mm acumulados, mientras que las estaciones de crecimiento 2014-2015 y 2015-2016 tuvieron, respectivamente, 713 mm y 659 mm. Esta fase de transición o salida de un periodo de sequía fue detectada por Minetti (2016) para los años 2014 y 2015 y por Tiedemann (2015b) para la estación de crecimiento 2014-2015.

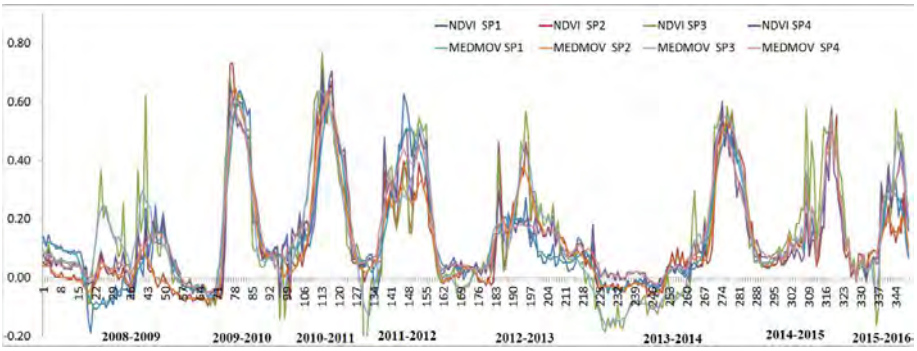


Figura 5. Serie temporal NDVI MODIS y Media móvil NDVI del periodo 2008-2016, de los cuatro SP de *Panicum maximum* del Dpto. Moreno (SP1, SP2, SP3 y SP4).

Conclusiones

La serie temporal NDVI MODIS, posibilito determinar las estaciones de crecimiento y cuantificar la PPNA estacional de los cuatro sistemas pastoriles del Dpto. Moreno, en el período analizado. Esta oscila en el rango de valores determinados por las redes de ensayos locales a escala uno a uno en el Dpto. Moreno.

La serie temporal NDVI MODIS de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* evidencia una gran sensibilidad ante anomalías negativas extremas producidas en el Dpto. Moreno, durante en el período 2008-2016.

La PPNA estacional de estos sistemas pastoriles de *Panicum maximum*, responde ante anomalías positivas de la precipitación media y es severamente afectada por las anomalías negativas estacionales.

La determinación de la PPNA de los sistemas pastoriles mediante series temporales NDVI MODIS, se transforma en una invalorable herramienta que dispone la comunidad agropecuaria posibilitando, entre otras cosas: determinar a bajo costo, en espacio y tiempo, la receptividad de los potreros, evitando el sub o

sobre pastoreo y mitigar sequias mediante la confección de reservas estratégicas de forraje

La exponencial acumulación de forraje de los sistemas pastoriles *Panicum maximum* en un lapso muy corto de tiempo favorece el sub pastoreo. Por cuanto surge la importancia de diversificar potreros con diferentes especies megatérmicas tolerantes a sequía, con PPNA similar al *Panicum maximum*, pero distribuida de manera más homogénea a lo largo de la estación de crecimiento, posibilitaría un mejor ajuste en la presión de pastoreo.

La consistencia de estos resultados, dada fundamentalmente por la serie temporal NDVI MODIS, posibilita que los mismos puedan ser extrapolados hacia toda la región Chaqueña semiárida.

Agradecimientos

A la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño y en especial al Sr. Carlos Valeira por su gran predisposición para el aporte de datos meteorológicos utilizados en este trabajo.

Al Dr. Ing. Ftal. Hugo R. Zerda, INPROVE - FCF - UNSE

Referencias Bibliográficas

Anyamba A., Tucker J.C., & Mahoney R. 2002. From El Niño to La Niña: Vegetation Response Patterns over East and Southern Africa during the 1997-2000 Period. Journal of climate 15:3096-3103.

Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

Barbosa H.A; Huete A.R & Baethgen W.E. 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. Journal of Arid Environments 67:288-307.

Boletta P., Ravelo C.A., Planchuelo A.M. & Grilli M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. Forest Ecology and Management 228:108–114.

Bradley B.A., Jacob R.W., Hermance J.F. & Mustard J.F. 2007. A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data. Remote Sensing of Environment 106:137-145.

Brown M.E., de Beurs K.M. & Marshall M. 2012. Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years. Remote Sensing of Environment 126:174-183.

Chandola V., Dafeng Hui., Lianhong Gu., Bhaduri B. & Vatsavai R.R. 2010. Using Time Series Segmentation for Deriving Vegetation Phenology Indices from MODIS NDVI Data. Data Mining Workshops (ICDMW), IEEE International Conference. DOI 10.1109/ICDMW.2010.143

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. & Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

de Beurs K. M & Henebry G. M. 2010. Spatio-Temporal Statistical Methods for Modelling Land Surface Phenology En: Phenological Research, I.L. Hudson, M.R. Keatley (eds.).

Fensholt R., Sandholt I., Schultz Rasmussen M., Stisen S. & Diouf A.2006. Evaluation of satellite based primary production modelling in the semi-arid Sahel. Remote Sensing of Environment 105:173-188.

Field C.B., Randerson J.T. & Malmstriik C.M. 1995. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing. Remote Sensing Environment 51: 74-88.

FAS. 2010. Foreign Agricultural Service Disponible en: http://earthobservatory.nasa.gov/ Drought in Southern South America_ARG - MODIS NDVI Anomaly.mht. Activo Marzo de 2010.

INTA. 2011. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Documento Base de Área Estratégica: Forrajes y Pasturas. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/documento-base-del-area-estrategica-forrajes-y-pasturas.

Karnieli A., Gabai A., Ichoku C., Zaady E. & Shachak M. 2002. Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment. International J. of Remote Sensing, 19:4073-4087.

Kunst C., Monti E; Perez H. & Godoy J. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. Journal of Environmental Management 80:248-265.

Kunst C., Ledesma R; Bravo S; Albanesi A. & Godiy J. 2012. Disrupting woody states in the Chaco region (Argentina): responses to combined disturbance treatments. Ecological Engineering 42:42-53.

Lauenroth W. 1979. "Grassland primary production: North American grasslands in perspective". In Perspectives in grassland ecology, Ed N French. pp 3-24. Springer-Verlag, New York.

Minetti L. J. 2016. Tendencia regional de sequías del Noroeste Argentino, Disponible en: http://www.labclisud.com.ar/servicios-laboratorio/indice-de-sequia/. Activo Junio de 2016.

Monteith J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 281:277-294.

Nicholson S.E., Davenport L.M., & Malo A.R. 1990. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Shael and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR, Climatic Change 17:209- 241.

Paruelo J. M., Golluscio R.A., Guerschman J.P., Cesa A., Jouvé V. & Garbulsky M.F. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning. The case of the Patagonian steppes. Global Ecology and Biogeography 13: 385- 395.

PCBSE. 2013. Programa de Competitividad Conglomerado Bovino de Santiago del Estero. Secretaría de Política Económica del Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la Nación, 42p. Disponible en: www.mecon.gov.ar/programanortegrande /docs/bovino_santiago.pdf

Pérez H.E. 1992. Las pasturas cultivadas en la EEA INTA Santiago del Estero. En: Jornadas de actualización técnica en producción bovina en áreas de secano de Santiago del Estero, INTA, 162 p, 23, 24 y 25 de abril, Santiago del Estero, Argentina.

Ravelo, A.C., y A. J. Pascale, 1997. Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. Rev. Fac. Agronomía de Buenos Aires. Vol 17(1):101-105.

Reed B.C., & Brown J.F. 2005. Trend Analysis of Time-series Phenology Derived from Satellite Data, IEEE Xplore Librery digital; Disponible en: http://ieeexplore.ieee.org /stamp/stamp.jsp?arnumber=01469863

Renolfi R.F. 1988. Producción y manejo de forrajeras introducidas y nativas en el Chaco Semiárido. En: Curso taller Internacional, Forrajeras y cultivos adecuados para la Región Chaqueña Semiárida. Editor: Red de cooperación técnica en uso de recursos naturales en la región chaqueña semiárida (Argentina, Bolivia, Paraguay), La Rioja, Argentina, 59-69 pp.

Renolfi R.F. 1992. Los pastizales de la Región Chaqueña. En: Jornadas de actualización técnica en producción bovina en áreas de secano de Santiago del Estero. Editor: INTA EEA Santiago del Estero, Argentina, 17-26 pp.

Rigge R., Wylieb B., Zhangc L. & Boyted S.P. 2013. Influence of management and precipitation on carbon fluxes in great plains grasslands. Ecological Indicators 34:590-599.

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. & Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS, Third RTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

Ruimy A., Saugier B. & Dedieu D. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. Journal of Geophysical Research 99: 5263-5283.

SAyDS. 2004. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Parque Chaqueño. En: Atlas de los Bosques Nativos Argentinos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas protegidas, Argentina, 244 pp.

SAyDS. 2007. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Parque Chaqueño. Informe Regional Parque Chaqueño. En: Primer inventario nacional de bosques nativos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas protegidas, Argentina, 114p

SENASA. 2015. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/bovinos-y-bubalinos/información/informes-y-estadísticas

SMN. 2016. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: http://www.smn.gov.ar /serviciosclimaticos/index.php. Activo Junio de 2016

Tiedemann J. L., Zerda H. R., Grilli M., & Ravelo A. 2010. Distribución espacial de anomalías del NDVI derivado del sensor VEGETATION SPOT 4/5 y su relación con las coberturas vegetales, usos de la tierra y características geomorfológicas en la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. Ambiencia, 6:379-391.

Tiedemann J. L. 2011. Dinámica espacial y temporal del Índice de Vegetacion de Diferencia Normalizada en Santiago del Estero. Tesis Doctoral, Escuela de Graduados Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 157p.

Tiedemann J. L. 2015a. Fenología y productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de Panicum maximum en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina, derivada del NDVI MODIS. Ecol. apl. 14: 27-39.

Tiedemann J.L. 2015b. NDVI MODIS de sistemas pastoriles de Panicum maximum y su variación ante anomalías de precipitación media en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina. En: Hugo R. Zerda (Ed. Responsable) Día del SIG. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales Argentina. CD ISSN: 2469-0856.

Tucker C. J., Holben N. B., Elgin H. J & McMurtey III E. J. 1981. Remote sensing of total Dry-Matter acumulation in Winter Wheat. Remote Sensing ofEnvironment 11:171-189.

Tucker, J. C. & Choudhury, J. B. S1987. Satellite remote sensing of drought conditions. Remote Sensing of Environment 23:243-251.

White A.M., Thornton E.P. & Running W.S. 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. Global Biogeochemical Cycles, 2:217-234.

Zak M. R., Cabido M., & Hodgson J. G. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future?. Biological Conservation 120:589- 598.

Zerda H. R. & Moreira M. L. 2006. Monitoreo del avance de la frontera agropecuaria en el Chaco Argentino. En: Anais do VII Seminario de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Aplicados à Engenharia Florestal. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. oct. 2006. CD ISBN 978-60020-01-0.

Zerda H. R & Tiedemann J. L. 2010. Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina, Ambiencia, 6:13-24.

Capítulo 9

Intoxicación de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh sometidos a la deriva simulada de glifosfato

Meloni, D. A.[1]; M. C. Silva[1]; M. G. Targa[1]; D. Moura Silva[2]; G. I. Bolzón de Muñiz[3] y A. Catán[1]

El uso de herbicidas en plantaciones de *E. camaldulensis*

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, la República Argentina cuenta actualmente con aproximadamente 1.200.000 hectáreas de bosques cultivados, de las cuales 292.200 son de Eucalyptus, distribuidas en las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Buenos Aires y el noroeste argentino. Las plantaciones *E. grandis* y *E. saligna* ocupan una mayor superficie, seguidos por *E. camaldulensis, E. tereticornis, E. viminalis* y *E. globulus* (Beale y Ortiz 2013).

En el noroeste argentino, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ("eucalipto rojo") puede desarrollar rodales con características silviculturales adecuadas para su uso industrial. Esta especie posee una gran plasticidad y resiste condiciones de extrema sequía (Moglia *et al.*, 2008).

La eliminación de la competencia de malezas en el cultivo de *Eucalyptus* es fundamental en las etapas iniciales de crecimiento hasta el cierre de copa (Villalba *et al.* 2010; García *et al* 2015). Según Aparicio *et al* (2005) en estudios realizados sobre el establecimiento de *Eucalyptus grandis* el efecto negativo de las malezas en el crecimiento se debe a que las raíces de la nueva plantación y de las malezas se concentran en la superficie del suelo donde la disponibilidad de nutrientes es más alta (en particular nitrógeno y fósforo). Así mismo, Garau *et al.* (2009) detectaron diferencias significativas en el crecimiento en diámetro y en altura de plantines de *Eucalyptus globulus spp maidenii* durante los primeros meses de implantación en

[1] Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. E-mail: dmeloni@unse.edu.ar.
[2] Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. E-mail: diu@zaz.com.br
[3] Universidade Federal do Paraná, Brasil. E-mail: gbmunize@ufpr.br

suelos enmalezados. También demostraron que la presencia de malezas disminuye área foliar y el volumen del fuste.

El manejo de malezas es una de las prácticas silvícolas más importantes en viveros y plantaciones forestales. Se realiza mediante métodos mecánicos, químicos, o la combinación de ambos. El uso de agroquímicos es una práctica común, siendo el glifosato el herbicida postemergente más utilizado en viveros y plantaciones de Eucalyptus (Tuffi Santos *et al*, 2009). Sin embargo el uso recurrente de glifosato a lo largo del ciclo de desarrollo del Eucalyptus puede ser perjudicial para el propio cultivo, debido a las derivas accidentales que se producen durante las aplicaciones manuales o mecanizadas (Velini *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2012). Algunos estudios reportan que el contacto de herbicidas con las hojas de especies forestales puede causar considerables pérdidas en la producción de madera, como consecuencia de la disminución del crecimiento y muerte de las plantas menos desarrolladas dentro del rodal (Minogue y Osiecka, 2015; Santos Junior *et al.*, 2015). La magnitud del daño es proporcional a la dosis recomendada para el control de malezas (Cruz Hipólito *et al.*, 2013).

Respuestas de vegetales a la aplicación de glifosato

Entre los herbicidas más utilizados se encuentra el glifosato (N-fosfonometil glicina) (Duke y Powles, 2008), ya que controla un amplio espectro de malezas. Es sistémico, no selectivo y fácilmente transportado desde las hojas hasta los tejidos meristemáticos. Actúa inhibiendo la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), responsable de la síntesis del corismato (Figura 1), un intermediario en la ruta del ácido shikímico, que conduce a la síntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano) (Alcántara de la Cruz *et al.*, 2016).

Se han identificado especies resistentes al glifosato, que manifiestan una disminución en la absorción y/o traslocación del herbicida, secuestro en vacuolas, metabolismo del principio activo (Cruz Hipólito *et al.,* 2013), de este modo menos herbicida llega al sitio de acción. El glifosato puede ser metabolizado enzimáticamente a otros compuestos no tóxicos, tales como glioxilato, sarcosina y aminometil fosfonato. También se ha detectado la degradación del glifosato a compuestos no tóxicos (Sammons y Gaines, 2014). Otro mecanismo de tolerancia está dado por la pérdida de afinidad entre la proteína (EPSPS) y el herbicida, sobreexpresión de esta proteína, y mutaciones espontáneas que ocurren aleatoriamente (Yu *et al.*, 2015).

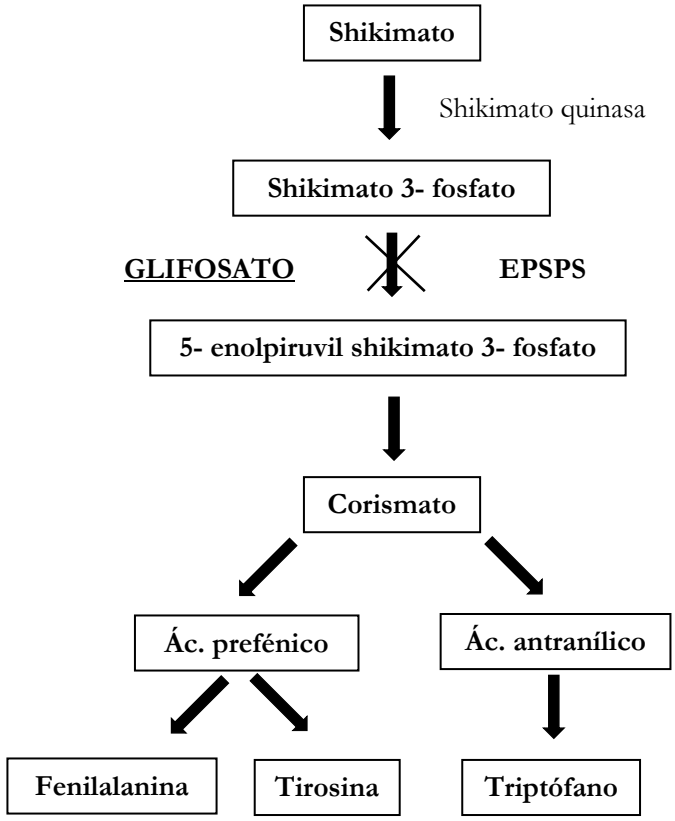


Figura 1. Modo de acción del glifosato, inhibiendo la actividad de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), clave en la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano.

Síntomas de intoxicación por glifosato

Se realizaron ensayos en la Universidad Nacional de Santiago del Estero, con plantines de *E. camaldulensis* de un año de edad, crecidos en macetas plásticas en invernáculo. Dosis de 30 y 60 g de glifosato L^{-1} produjeron síntomas visibles de intoxicación a partir del cuarto día de aplicación (Figura 2). Los daños por intoxicación comenzaron a manifestarse en la parte superior de los plantines, avanzando progresivamente hacia la base. Se observó clorosis y necrosis tanto en la porción basal (próxima al pecíolo) como en la parte apical de las hojas. Estos resultados coinciden con los reportados en *E. grandis* (Tuffi Santos *et al.* 2008)

La clorosis observada puede ser consecuencia de la degeneración de los cloroplastos o degradación de clorofilas, tal como se ha observado en otras especies expuestas al glifosato.



Figura 2. Síntomas de intoxicación por glifosato en hojas de *E. camaldulensis*.

La emisión de fluorescencia como herramienta para detectar estrés en plantas: fundamentos teóricos

La fotosíntesis se inicia cuando la luz es absorbida por los pigmentos que se encuentran en la membrana tilacoidal del cloroplasto. Parte de la energía absorbida es transferida como energía de excitación y atrapada por el centro de reacción, ingresando a la cadena transportadora de electrones (se obtienen como productos finales ATP y NADPH). Otra parte es disipada como calor o fluorescencia (energía luminosa de menor longitud de onda). Esta distribución de la energía ocurre simultáneamente, de tal forma que el incremento en la eficiencia de un componente producirá una disminución en el otro. Por lo tanto, a través de la medición del rendimiento de la fluorescencia de la clorofila se puede obtener información de la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida.

El análisis de la fluorescencia de la clorofila *a*, constituye un método sensible y no destructivo para la detección y cuantificación de los cambios inducidos en la etapa fotoquímica de la fotosíntesis. Recientemente ha sido utilizado para evaluar el grado de daño del aparato fotosintético, bajo diferentes condiciones de estreses ambientales, tales como temperaturas extremas (Zushi *et al.*, 2012), sequía (Gomes *et al.*, 2012), salinidad (Duarte *et al.*, 2013) y herbicidas (Souza *et al.*, 2013).

En los últimos años se han desarrollado y perfeccionado fluorómetros portátiles que permitieron su aplicación en trabajos de campo.

Tanto la técnica como el cálculo de las variables de fluorescencia se basan en fundamentos fisicoquímicos complejos, cuyo desarrollo queda fuera del ámbito de este capítulo. Para profundizar aspectos teóricos pueden consultarse los trabajos de Strasser *et al.* (2000, 2005).

En la actualidad se utilizan principalmente dos técnicas fluorométricas: transiente y modulada. En el primer caso, la hoja se adapta previamente a la oscuridad durante aproximadamente 30 minutos; posteriormente se expone a luz de 650 nm con una intensidad de 3000 μmol fotones m^{-2} s^{-1} durante 1-10 segundos, y se registra la emisión de fluorescencia desde los 10 μs hasta los segundos programados. Así se obtiene una cinética de emisión de fluorescencia (Figura 3), a partir de la cual pueden calcularse algunas variables que representan la eficiencia de los principales pasos de la etapa fotoquímica. También pueden calcularse índices de desempeño, que representan la eficiencia de la etapa fotoquímica de la fotosíntesis y tienen aplicaciones prácticas en las áreas de ecofisiología y mejoramiento genético.

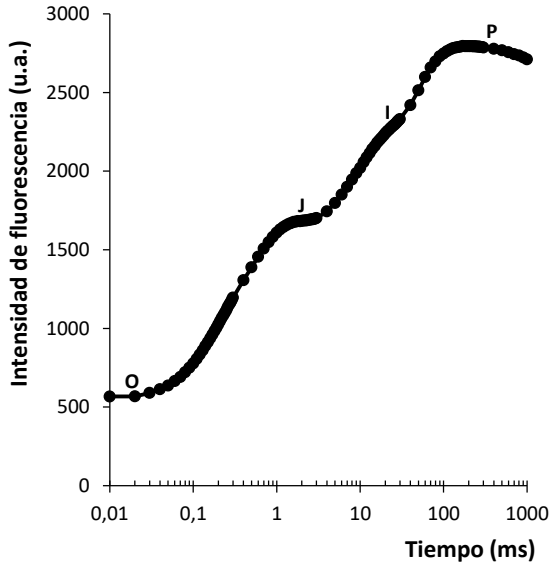


Figura 3. Cinética de emisión de fluorescencia transiente de la clorofila *a* de hojas de *Prosopis alba*, adaptadas a la oscuridad. Las letras O, J, I, P representan cuatro etapas que se encuentran presentes en todos los organismos fotosintéticos que liberan oxígeno (Adaptado de Meloni, 2014).

Para medir la fluorescencia modulada se utiliza un equipo que funciona siguiendo los fundamentos del "método del pulso saturante". Este fluorómetro consta básicamente de cuatro fuentes de luz cualitativa y cuantitativamente diferentes: a) luz roja modulada de baja intensidad (2 μmol fotones m^{-2} s^{-1}, 583 nm), b) pulsos de luz actínica de alta intensidad (5 - 20.000 μmol fotones m^{-2} s^{-1}), c) luz actínica blanca continua de 300 – 600 μmol fotones m^{-2} s^{-1}, d) luz rojo lejano (735 nm), y un detector que registra solamente la fluorescencia emitida en la frecuencia y la fase de luz modulada.

Las etapas del método del pulso saturante y las variables obtenidas se esquematizan en la Figura 4. En resumen:

1. Cuando una hoja previamente aclimatada a la oscuridad es iluminada con luz de muy baja irradiancia, lo suficientemente débil para que no se produzca disipación de la energía lumínica a través de vías fotoquímicas, emite una señal baja de fluorescencia denominada fluorescencia mínima en condiciones de aclimatación a la oscuridad (F_0). Esta señal procede principalmente de los pigmentos del complejo antena del fotosistema II.

2. A continuación, se aplica un pulso breve de luz saturante (normalmente varios miles de μmol fotones m^{-2} s^{-1}), alcanzándose un valor de fluorescencia máxima (F_m) que resulta de la saturación de la etapa fotoquímica. En estas condiciones, en la cadena transportadora de electrones, la Quinona A está completamente reducida. La diferencia entre F_m y F_0 se denomina fluorescencia variable (F_v):

$$\mathbf{F_v = F_m - F_0.}$$

3. Posteriormente se ilumina la hoja con luz actínica (es decir fotosintéticamente activa). En estas condiciones la hoja emite una señal de fluorescencia mínima denominada F_s'.

4. Seguidamente se aplica otro pulso saturante, registrándose un nuevo pico de emisión de fluorescencia, llamado F'_m. De esta manera puede calcularse $\Delta F'$ ($=F_q'$), que es el cambio de fluorescencia provocado por el cierre del fotosistema II:

$$\mathbf{\Delta F' \ (=F_q') = F'_m - F_s}$$

5. Posteriormente la luz actínica es removida y se ilumina con luz débil del tipo rojo lejano (λ = 730 nm), obteniéndose una nueva señal de fluorescencia mínima, llamada F_0', que suele ser menor que F_0 (medida en oscuridad). Con este parámetro se calcula F_v' (fluorescencia variable en hojas iluminadas):

$$\mathbf{F_v' = F_m' - F_0'}$$

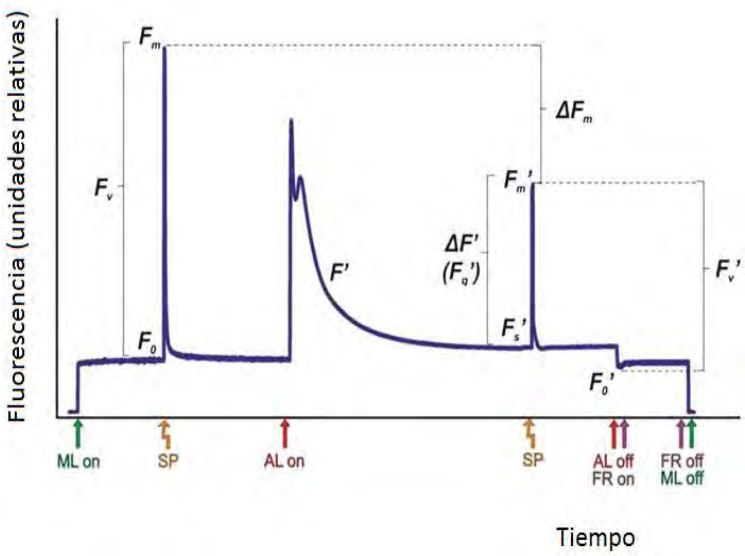


Figura 4. Curva de inducción de fluorescencia modulada de la clorofila en el método de pulso saturante. ML: luz de medición (no actínica), SP: pulso saturante de luz, AL: luz actínica FR: luz roja lejana (Adaptado de Brestic y Zivak, 2013).

A partir de los parámetros obtenidos de la emisión de fluorescencia modulada de la clorofila *a*, se pueden calcular algunas variables muy utilizadas en ecofisiología:

- Atenuación fotoquímica o "quenching fotoquímico" (qP). Indica la capacidad fotoquímica actual del fotosistema II, en hojas adaptadas a la luz, que está relacionada con la conversión de energía fotoquímica a través de la separación de cargas en los centros de reacción del fotosistema II (Rohacek *et al.* 2008). Cuantifica la fracción actual de centros de reacción del fotosistema II que se encuentran "abiertos". También se considera una medida del estado de oxidación de la quinona A. Sus valores extremos son 0 (a altas irradiancias) y 1 (en la oscuridad). Este parámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{qP = (F'_m - F_s)/(F'_m - F'_0)}$$

- Atenuación no fotoquímica o "quenching no fotoquímico" (NPQ). Indica la disipación como calor del exceso de energía radiante, en el complejo antena del fotosistema II. Correlaciona linealmente con la desepoxidación de las xantofilas en el ciclo de las xantofilas. También refleja una disminución en el tamaño del complejo antena e inactivación del fotosistema II (Rohacek *et al.* 2008). Se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{NPQ = (F_m - F'_m)/F'_m}$$

- Rendimiento cuántico máximo del fotosistema II. Se obtiene a partir de la relación F_v/F_m, también denominado φ_{P0}. Es una de las variables más utilizadas para detectar fotoinhibición, o sea un daño irreversible en el fotosistema II. Para la mayoría de las especies en condiciones no estresantes presenta valores de aproximadamente 0,832. En el caso de plantas sometidas a estrés severo dicho valor se reduce significativamente (Brestic y Zivcak, 2013).

Uso de variables de fluorescencia en la cuantificación del daño producido por la deriva de glifosato

La evaluación de la fluorescencia de la clorofila *a* permite medir la fracción de luz fotosintéticamente activa, que es absorbida y no utilizada en la etapa fotoquímica. A través de esta técnica también se pueden detectar daños en la maquinaria fotosintética de la planta (Buonasera *et al.,* 2011).

En la Universidad Nacional de Santiago del Estero se realizaron ensayos de aplicación de glifosato sobre plantines de *E. camaldulensis* de un año de edad. Se simuló la deriva del herbicida aplicando 129,6 g de glifosato/ha mediante un pulverizador, con una presión de 250 KPa. Diariamente se hicieron mediciones de emisión de fluorescencia modulada mediante el uso de un fluorómetro portátil (Walz GmbH Eichenring, 691090 Effeltrich). Las mediciones se efectuaron durante el horario comprendido entre las 8:30 y 10:30, y se calcularon los valores de quenching fotoquímico, quenching no fotoquímico y relación F_v/F_m.

A partir del cuarto día posterior a la aplicación del glifosato se verificó una disminución en el quenching fotoquímico, y un aumento en quenching no fotoquímico, respectivamente (Figura 5). La respuesta al glifosato fue más acentuada en el quenching no fotoquímico que en el quenching fotoquímico, coincidiendo con lo observado en otras especies sometidas a estreses ambientales. Frankart *et al.* (2003) sugieren que el quenching no fotoquímico es el marcador biológico más apropiado para detectar daños por herbicidas tanto a campo como en laboratorio.

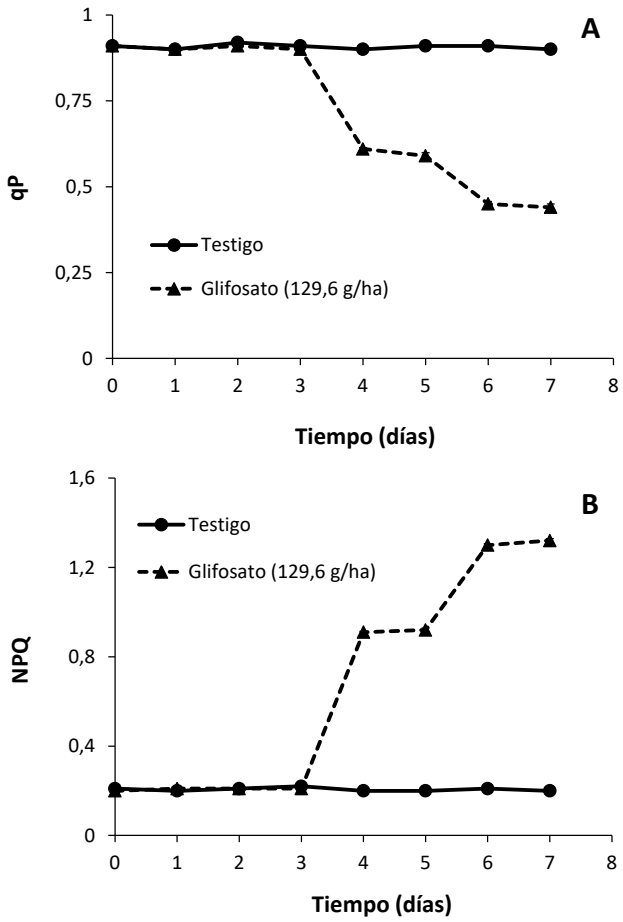


Figura 5. Quenching fotoquímico, qP (A) y quenching no fotoquímico, NPQ (B) en hojas de plantines de *E. camaldulensis* tratados con 0 (testigo) o 129,6 g/ha de glifosato (Meloni, datos inéditos).

Estos resultados indican que el glifosato disminuyó la proporción de centros de reacción activos en el fotosistema II, e incrementó la pérdida de energía absorbida a través de su disipación como calor.

A partir del sexto día se detectó una disminución en la relación F_v/F_m (Figura 6), lo que demuestra que a largo plazo el glifosato produce fotoinhibición (daños en las proteínas D_1 y D_2 del fotosistema II).

La relación F_v/F_m solo manifiesta alteraciones en casos de estrés severo, y su disminución en los de plantines de *E. camaldulensis* coincidió con la aparición de necrosis pronunciada en la mayoría de las hojas. En este sentido el estrés generado por el glifosato en *E. camaldulensis* fue más severo que el producido por Bentazona en soja, donde no se detectaron cambios en la relación F_v/F_m pese a que se registró una inhibición en la etapa fotoquímica de la fotosíntesis (Souza *et al.*, 2014).

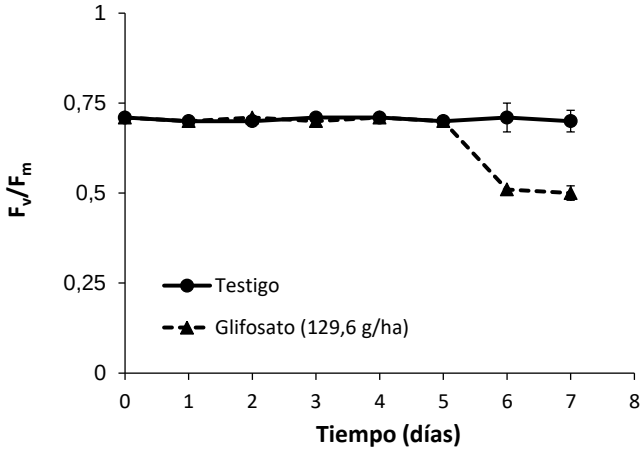


Figura 6. Relación F_v/F_m en hojas de plantines de *E. camaldulensis* tratados con 0 (testigo) o 129,6 g/ha de glifosato (Meloni, datos inéditos).

Consideraciones finales

Pese a que *E. camaldulensis* posee un gran potencial para el desarrollo forestal del noroeste argentino, su tolerancia a herbicidas debe ser estudiada en profundidad. Esto se debe a que dichos productos son aplicados frecuentemente para el control de malezas, tanto en viveros como en plantaciones. Por otra parte la aplicación de herbicidas a través de avionetas en cultivos extensivos como soja, puede facilitar su deriva hacia plantaciones forestales.

En la Universidad Nacional de Santiago del Estero se realizaron ensayos de simulación de deriva de glifosato sobre plantines de *E. camaldulensis*; demostrando que la especie es sensible a dicho herbicida.

Como indicadores ecofisiológicos del daño producido en hojas se sugiere el uso de variables de fluorescencia, ya que es un método no destructivo que puede aplicarse en condiciones de campo. La variable más sensible en caso estudiado fue el quenching no fotoquímico, seguida por el quenching fotoquímico y la relación F_v/F_m.

Debido a la gran variabilidad genética que caracteriza a las especies forestales, en futuros ensayos deberán compararse las respuestas de diferentes familias de *E. camaldulensis*. Como apoyo a las variables ecofisiológicas se caracterizará la presencia de barreras foliares a la penetración de herbicidas, mediante estudios de epidermis. También se evaluará el daño producido por el glifosato a nivel anatómico, para realizar una correlación estructura-función.

En la Figura 7 se resumen las respuestas fisiológicas de plántulas de *E. camaldulensis* a la aplicación de glifosato.

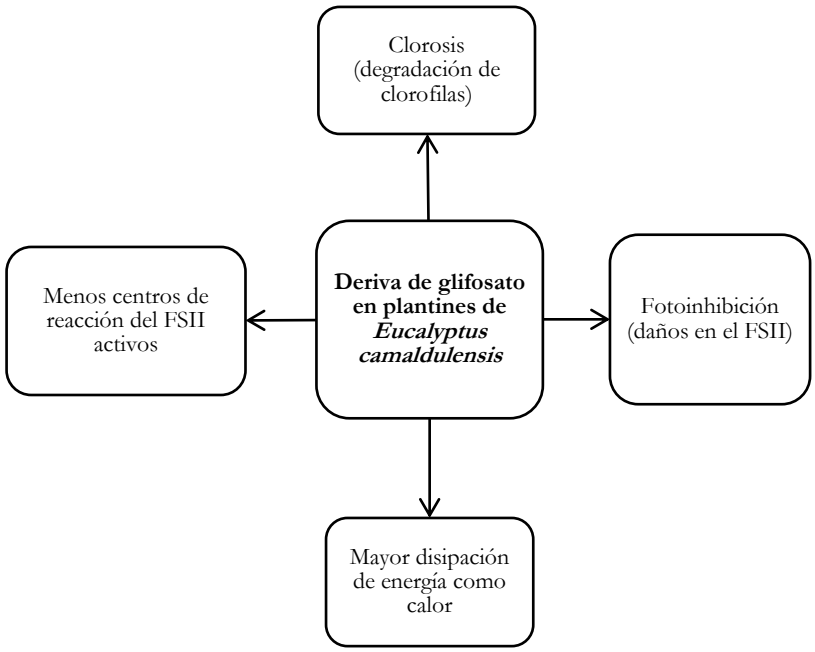


Figura 7. Respuestas fisiológicas de plantines de *E. camaldulensis* a la aplicación de glifosato.

Referencias Bibliográficas

Alcántara de la Cruz, R.; F. Barro; J.A. Domínguez Valenzuela (2016) "Physiological, morphological and biochemical studies of glyphosate tolerance in Mexican Cologania (*Cologania broussonetii* (Balb.) DC.)". *Plant Physiol. Biochem*. 98: 72-80.

Aparicio, J.L.; F. Larocca; F. Dalla Tea (2005) "Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis"*. *Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario.* 5: 66-69.

Beale, I.; E. Clodovero Ortiz (2013). "El Sector Forestal Argentino: eucaliptos". *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial*. 53: 1-10.

Buonasera, K.; M. Lambreva; G. Rea; E. Touloupakis; M.T. Giardi (2011) "Technological applications of chlorophyll a fluorescence for the assessment of environmental pollutants". Anal Bioanal Chem. 401: 1139–1151.

Brestic, M; M. Zivak (2013) "PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications". *En*: Rout, G.R. ; A.B. Das. *Molecular stress physiology of plants*. Pp. 81-131.

Costa, P.R.; A.C. Costa; N. Vilanova; R.M.R. Pereira; D. Martins (2012) "Efeito da deriva simulada de glyphosate em diferentes partes da planta de *Eucalyptus grandis". Ci. Agr.*33: 1663-1672.

Cruz Hipólito, H.E; A. Rojano Delgado; J. Domínguez Valenzuela; A. Heredia; M.D. Luque de Castro; R. De Prado (2013) "Glyphosate tolerance by *Clytoria ternatea* and *Neunothonia wightii* plants involves differential absorption and translocation of the herbicide". Plant Soil 347: 221-230.

Duarte, B.; D. Santos; J.C. Marques; I. Caçador (2013) "Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: photosynthesis, PSII photochemistry and anti-oxidant feedback- Implications for resilience in climate change". *Plant Physiology and Biochemistry* 76: 178-188.

Duke, S.O.; S.B. Powles (2008). "Glyphosate: a once in a century herbicide". *Pest. Manag. Sci.* 64: 319-325.

Frankart, C.; P. Eullaffroy; G. Vernet (2003) "Comparative effects of four herbicides on non-photochemical fluorescence quenching in *Lemna minor*". Environ Experim Bot 49: 159–168.

Garau A.M.; C.M. Ghersa; J.H. Lencoff; J.J. Barañao (2009) "Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. Maidenii (F. Muell) establishment: effects of competition on sapling growth and survivorship". *New Forest* 37:251-264

Garcia M.A.; S. Ramos (2015). "*Guía Fitosanitaria para Viveros Forestales. Prevención, identificación y control de enfermedades y plagas más comunes en viveros de eucaliptos"*. INTA Concordia. 22 p.

Gomes, M.T.G.; AC. Luz; M.R. Dos Santos; M.C.P. Batitucci; D.M. Silva; A.R. Falqueto (1012) "Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP cholophyll *a* fluorescence transient". *Scientia Horticulturae* 142: 49-56.

Meloni, D.A. (2014) "*Respuestas fisiológicas de plántulas de Prosopis alba G. sometidas a estrés salino*". Tesis para optar por el Título de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 96 p.

Minogue, P.J.; A. Osieka (2015). "Selective herbicides for cultivation of *Eucalyptus urograndis* clones". *Int. J. For. Res.* 5:1-12.

Moglia, J.G.; S. Bravo; R. Gerez (2008). "Anatomía comparada del leño de *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) de dos orígenes, ensayados en Santiago del Estero". Bol. Soc. Argen. Bot. 43: 239-246.

Rohacek K.; J. Soukupova; M. Bartak (2008) "Chlorophyll fluorescence: a wonderful tool to study plant physiology and plant stress". *En*: Schoefs B (ed) *Plant cell compartments – selected topics*. Research Signpost, Trivandrum.

Sammons, R.D.; T.A. Gaines (2014) "Glyphosate resistance: state of knowledge". *Pest. Manag. Sci.* 70: 1367-1377.

Santos Junior, A.; L.D. Tuffi Santos; F.A. Ferreira; L.R. Ferreira; R.C. Felix; G.C. Amaral; L.R. Cruz (2015) "Glyphosate drift in Eucalyptus plants". *Planta Daninha* 33: 615-621.

Souza, C.P.; J.J.O. Pinto; E.G. Martinazo; A.T. Peboni; M.E Farías; M. Bacarín (2014) "Chloroplyll a fluorescence in rice plants exposed of herbicides of group imidazoline". *Planta Daninha* 32: 141-150.

Strasser, R.J.; A. Srivastava; M. Tsimilli-Michael (2000). "The fluorescence transient as a tool to characterize an screen photosynthetic samples" *In*: Yunas, M., Pathre, U., Mohanty, P. (Eds.), *Probing photosynthesis: mechanism, regulation and adaptation,* pp. 443-480. Taylor and Francis, London, U.K.

Strasser, R.J.; M. Tsimilli-Michael; A. Srivastava. (2005) "Analysis of the fluorescence transient". *In*: Papageorgiou, G.C. (Ed.), *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*, p. 321-362. Springer, Germany.

Tuffi Santos, L.D.; B.F. Sant`anna-Santos; R.M.S.A. Meira; R.A.S Tiburcio; F.A. Ferreira; C.A.D. Melono; E.F.S. Silva (2008) "Danos visuais e anatômicos causados pelo Glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis"*. *Planta Daninha* 26: 9-16.

Tuffi Santos, L.D.; B.F. Sant`anna-Santos; R.M.S.A Meira; F.A. Ferreira, R.A.S. Tiburcio; A.F.L. Machado (2009) "Leaf anatomy and morphometry in three eucalyt clones treated with glyphosate". *Braz. J. Biol.* 69: 129-136.

Velini, E.D.; L.B. Trindade; L.R.M. Barberis; F. Duke (2010) "Growth regulation and other secondary effects of herbicides". *Weed Sci.* 58: 351-354.

Villalba, J.; C. Montouto; J. Cazaban; P. Caraballo; O. Bentancur (2010) "Efecto del laboreo sobre la eficacia de herbicidas y el crecimiento de Eucalyptus spp." *Agrociencia Uruguay* 14: 45-54.

Yu, Q.; A. Jalaludin; H. Han; M. Chen; R.D. Sammons; S.B. Powles (2015) "Evolution of a double amino acid substitution in the 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase in *Eleusine indica* conferring high-level glyphosate resistance". *Plant Physiol*., 167:1440-1447.

Zushi, K.; S. Kajiwara; M. Naotaka (2012) "Chlorophyll *a* fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit". *Scientia Horticulturae* 148: 39-46.

Capitulo 10

Regeneración en especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina y su respuesta a disturbios

Bravo, S.[1]; R. Abdala[1]; F. del Corro[2]; V. Ibáñez-Moro[2]; A. C. Santacruz-García[2]; D. Loto[2] y F. Ojeda[2]

En el campo de la ecología de comunidades vegetales, la regeneración de bosques nativos es una de las líneas de investigación más prolíficas en las dos últimas décadas, sobre todo en ambientes con bosques tropicales secos, donde se han tornado más evidentes los cambios en el clima a escala global. La capacidad de regeneración natural de los bosques nativos depende de su composición de especies, de los factores bióticos (como agentes dispersores, niveles de herbivoría y/o predación) y abióticos (cambios en la disponibilidad de recursos como espacio, agua, luz, entre otros) (Tálamo *et al.* 2003; 2009). Las estrategias que usan individualmente las especies para su regeneración dependen de rasgos funcionales como la tasa de crecimiento, la periodicidad foliar, la distribución de fotoasimilados, la localización y tamaño de su banco de yemas, y la capacidad de formar bancos de semillas persistentes (Lloret, 2004; Barchuck *et al.* 2006).

Más allá de los procesos naturales, el Hombre y sus actividades productivas constituyen la principal fuente de transformación de las comunidades vegetales (Bistinas *et al.* 2013). La creciente demanda mundial de alimentos y materiales para la industria, el cambio climático y los cambios de usos de la tierra, han generado un incremento en la degradación de los bosques y en la recurrencia de disturbios (Mostacedo y Frederiksen, 2001; Aráoz *et al.* 2010; Bravo *et al.* 2010). El conocimiento sobre las estrategias de regeneración de las especies que componen los bosques constituye, por lo tanto, la línea de base para establecer planes de aprovechamiento y manejo forestal sustentables (Mostacedo y Frederiksen, 2001). Tanto la conservación de bosques como muchas otras unidades de vegetación, son por lo tanto un objetivo global con múltiples

[1] Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. (4200) Santiago del Estero, Argentina
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CITSE-CONICET), El Zanjón, Ruta 9. CP: 4200, Santiago del Estero, Argentina.

implicancias desde el plano ecológico y productivo, ya que compromete la provisión de bienes y servicios ecosistémicos indispensables para la supervivencia y bienestar del Hombre.

Los bosques del Chaco semiárido de Argentina

El paisaje de esta región está determinado fundamentalmente por tierras altas con suelos bien drenados, ocupados por bosques y pastizales pirógenos, y depresiones donde se desarrollan pastizales edáficos y sabanas de palmeras, de árboles y arbustos (Bucher 1982). Hay una gran heterogeneidad fisonómica entre las comunidades vegetales y dentro de cada una de ellas, dada las condiciones de semiaridez reinantes (Bucher 1980) y el régimen de disturbios. Los bosques del Chaco semiárido argentino han estado sujetos a explotación forestal selectiva desde fines del siglo XIX y los pastizales y sabanas han experimentado los cambios en la recurrencia y severidad de disturbios (pastoreos y fuegos) debido a un sostenido incremento de la actividad ganadera, desde el inicio mismo de establecimiento de los primeros "puestos" (Adámoli *et al.* 1990). Una mayor disponibilidad de agua a escala regional aumentó la frecuencia de incendios desde 1970 en sabanas chaqueñas (Bravo *et al.* 2001a; 2010) aunque faltan datos sobre frecuencias de fuegos en tiempos más recientes.

En las últimas décadas, los bosques semiáridos del Chaco argentino se han visto afectados por cambios en el uso de la tierra con un claro avance de la frontera agropecuaria (Brassiolo, 2005; Grau *et al.*, 2005; Boletta *et al.*, 2006, Britos y Barchuck, 2008). La ocupación de áreas ganaderas para cultivos de soja, y pasturas tropicales, entre otros, han desplazado la actividad pecuaria a las áreas de bosques (Grau *et al.* 2005; Boletta *et al.* 2006). Hace poco más de una década ha comenzado un uso creciente de sistemas silvopastoriles (del Valle *et al.*, 2005, Carranza y Ledesma 2005) en los que se promueven el empleo de rolados o encadenados y quemas prescriptas para controlar el estrato arbustivo, y la siembra de pasturas tropicales para mejorar la oferta de forraje (Anriquez *et al.*, 2005; Camardelli *et al.*, 2009; Kunst et. al. 2012). Las cargas de ganado pueden superar ampliamente aquellas propias de una ganadería extensiva bajo monte, como se caracterizaba inicialmente este sistema (Adámoli *et al.* 1990). Por otro lado, muchas áreas sometidas a agricultura intensiva han sido abandonadas debido manejo productivo no sustentable y a una disminución de la rentabilidad. La determinación de un manejo forestal sustentable, con un criterio ecológico que asegure, y aún mejore la provisión de servicios ecosistémicos actuales, representa un desafío importante para los administradores ambientales de bosques chaqueños semiáridos (Costanza y Neuman 1997; Morello *et al.* 2007).

La capacidad de resiliencia de la vegetación nativa, frente al sinergismo entre disturbios plantea la necesidad de un enfoque funcional para fortalecer los planes de manejo forestal, la restauración o rehabilitación de áreas degradas, así como las

actividades para mitigación frente al cambio climático. Actualmente, en el marco del Proyecto de Cooperación Binacional SPU-CAPES, entre la Universidad Nacional de Santiago del Estero de Argentina y la Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, se realizan estudios para cubrir en parte, estos aspectos relevantes en la ecología de la regeneración de especies leñosas del Chaco semiárido argentino. Se han establecido dos líneas básicas de investigación: regeneración vegetativa con foco en la estrategia rebrotadora de especies de leñosas nativas, y regeneración por vía sexual, enfocada en el estudio de bancos de semillas, ambas en relación a los disturbios antes mencionados (fuegos, rolados, aprovechamiento forestal y ganadero).

Regeneración vegetativa y disturbios en leñosas nativas del Chaco argentino

Los estudios que se describen en el presente capítulo se están desarrollando en bosques típicos del Chaco Occidental argentino, dentro de la provincia de Santiago del Estero, donde se ubica el polo de calor de Sudamérica (Morello y Adámoli, 1968). Se trata de bosques abiertos secos estacionales, semicaducifolios. El dosel de estos bosques puede alcanzar un poco más de 20 m, en los sitios de mejor estado de conservación y en él están representados *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado santiagueño) y *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco). De esto surge la denominación de *quebrachales chaqueños o bosques de dos quebrachos*. El piso intermedio puede alcanzar de entre 5 a 13 m de altura, compuesto por *Parkinsonia praecox (Cercidium praecox)*, *Sarcomphalus mistol*, *Prosopis nigra*, *Prosopis ruscifolia*, entre otros. El estrato arbustivo puede ser muy denso, de acuerdo a la intensidad de disturbios, con *Vachellia aroma (Ex. Acacia aroma), Senegalia gilliessi (Ex. Acacia furcatispina), Capparis atamisquea*, *Maytenus spinosa*, *Condalia microphylla*, *Porlieria microphylla,* entre otras especies de *Celtis* (Araujo *et al.* 2008, Hernández y Giménez, 2017).

Los antecedentes en relación a biodiversidad de bosques chaqueños y la respuesta a disturbios, indican que la matriz florística se mantiene, pero con cambios significativos en la estructura (Giménez *et al.* 2007), en el área basal, así como en la arquitectura de especies arbóreas (Tálamo y Caziani, 2003, Tálamo *et al.* 2009; 2012). La capacidad de regeneración natural post disturbios ha sido también evaluada en ensayos con quemas experimentales (Bravo *et al.* 2014a) y con la combinación de rolados y pastoreos postfuego (Kunst *et al.* 2000; 2009 y 2012). Estos trabajos sugieren una gran capacidad de regeneración frente a los disturbios comunes en la región, como los fuegos, el aprovechamiento forestal y la herbivoría. Sin embargo, la capacidad de resiliencia de las comunidades puede agotarse frente a una elevada recurrencia e intensidad de disturbios y puede variar a lo largo de gradientes ambientales (Lloret 2004; Lloret *et al.* 2005).

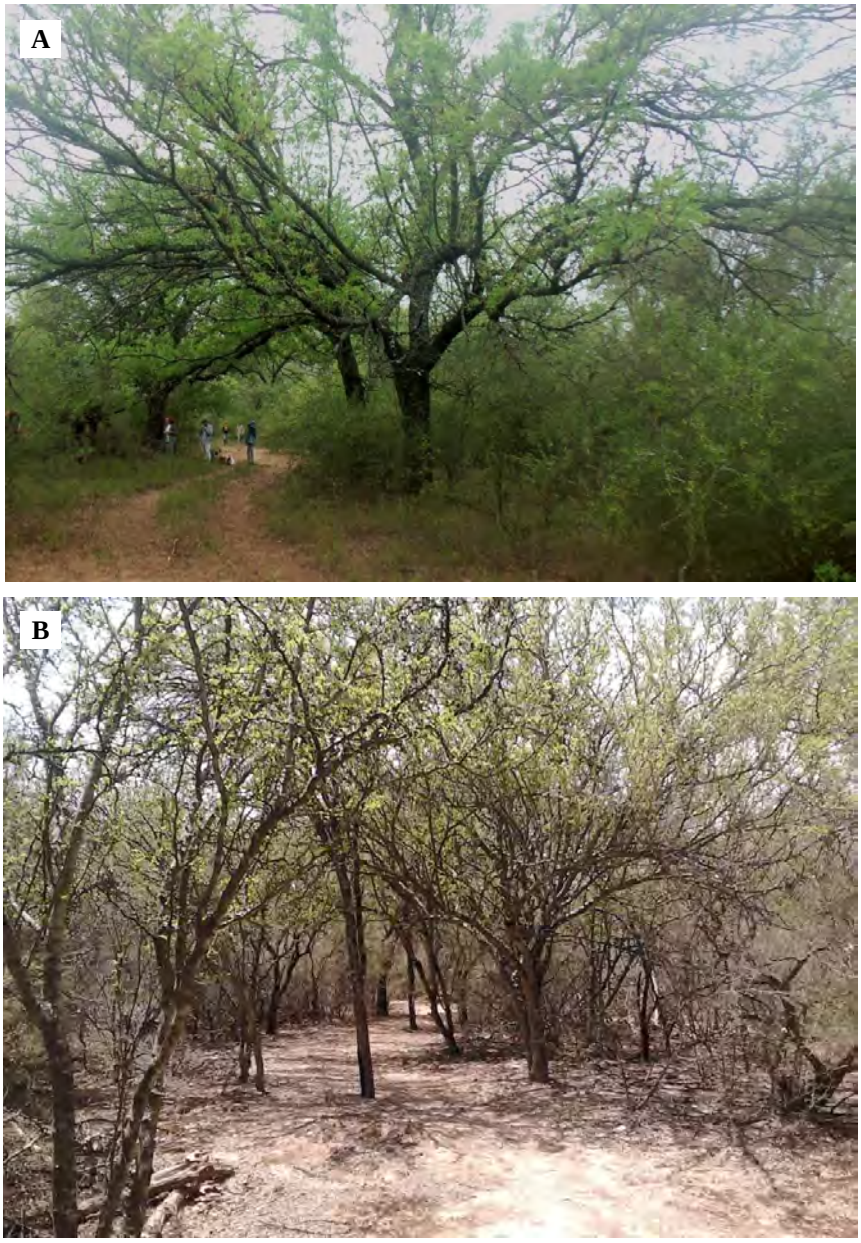


Figura 1. Bosques del Chaco Occidental de Argentina, ubicados en el Campo Experimental Francisco Cantos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, Santiago del Estero, Argentina. **A**. Bajo clausura los últimos 35 años. **B**. Con ganadería y fuegos.

Según Brassiolo (1993) las especies dominantes del dosel de bosques nativos del Chaco Occidental presentan una gran mortalidad inicial, con lo cual usualmente se encuentra un número reducido de ejemplares en inventarios de regeneración natural. Este autor considera ejemplares juveniles establecidos a aquellos con altura superior a los 2 m ya que pueden superar la influencia del ganado y el canopeo del estrato arbustivo. La edad a la que las plantas alcanzan esta altura dependerá de la tasa de crecimiento y el régimen de disturbios del área donde vegetan. Brassiolo (1993) indica que los ejemplares juveniles de *S. lorentzii* requieren una edad promedio de 7 años hasta alcanzar los 2 m de altura, en áreas del Chaco semiárido, sin control de pastoreo y que la misma podría disminuir a 4 años, con 5 años de clausura. En estudios del efecto de disturbios sobre regeneración de especies leñosas, resulta de gran interés determinar si se trata del reclutamiento de nuevas plantas o rebrote de las ya establecidas, ya que las tasas de crecimiento y dinámica temporal pueden variar sensiblemente (Ky-Dembely *et al.* 2007). Tálamo *et al.* (2013) analizaron la regeneración de especies de leñosas nativas, en el sector norte del Chaco argentino, en sitios con diferente historia de disturbios, indicando una baja regeneración de *S. lorentzii* y *A. quebracho-blanco*, independiente del tipo de disturbio y los cambios en el medio físico que ellos mismos generan.

Estudios preliminares sobre composición de especies, rasgos funcionales de las leñosas y su respuesta a disturbios, sugieren cambios en la dominancia y en los atributos de rasgos funcionales como el hábito de crecimiento, espinescencia e intensidad de rebrotes (Bravo *et al.* 2014b). La capacidad de rebrotar ha sido observada en las 23 especies de leñosas, identificadas en los censos de vegetación de bosques con diferentes historias de disturbios (bosques en clausura, con ganadería y fuegos, con rolados y fuegos y con rolados y aprovechamiento forestal). Sin embargo, la intensidad del rebrote y los cambios de hábitos de crecimiento responden a características específicas como el tamaño del banco de yemas, (Bravo *et al.* 2011), su localización y el grado de protección de las cortezas (Bravo *et al.* 2008, 2014). La regeneración vegetativa post fuego de ejemplares juveniles (< 15 cm de diámetro) de las tres especies de leñosas más representativas de los bosques chaqueños (*S. lorentzii*, *A. quebracho-blanco* y *S. mistol*), se establece a través de rebrotes basales o epicórmicos, luego de quemas experimentales. El tipo de rebrotes resulta influenciado por las características del disturbio como intensidad y época, así como también por el tamaño de las plantas. Las especies con mayor banco aéreos de yemas generaron un elevado porcentaje de rebrotes epicórmicos en las quemas tempranas (al comienzo de la estación de fuego), consideradas de baja severidad (Fig. 2 A; Bravo *et al.* 2014). Las quemas tardías (al final de la estación de fuego) fueron de mayor severidad, eliminaron gran parte de las yemas aéreas, obligando a un rebrote basal. Sin embargo, la mortalidad al cabo de 4 meses fue relativamente baja (Fig. 2B). La mortalidad completa de la parte aérea (*top-kill*) es común en los ejemplares de menor diámetro y genera a un rebrote de la zona del cuello o a partir de órganos subterráneos (Fig. 3c). Este tipo de rebrote demanda un mayor tiempo que los rebrotes epicórmicos para regenerar la estructura aérea (Lloret 2004).

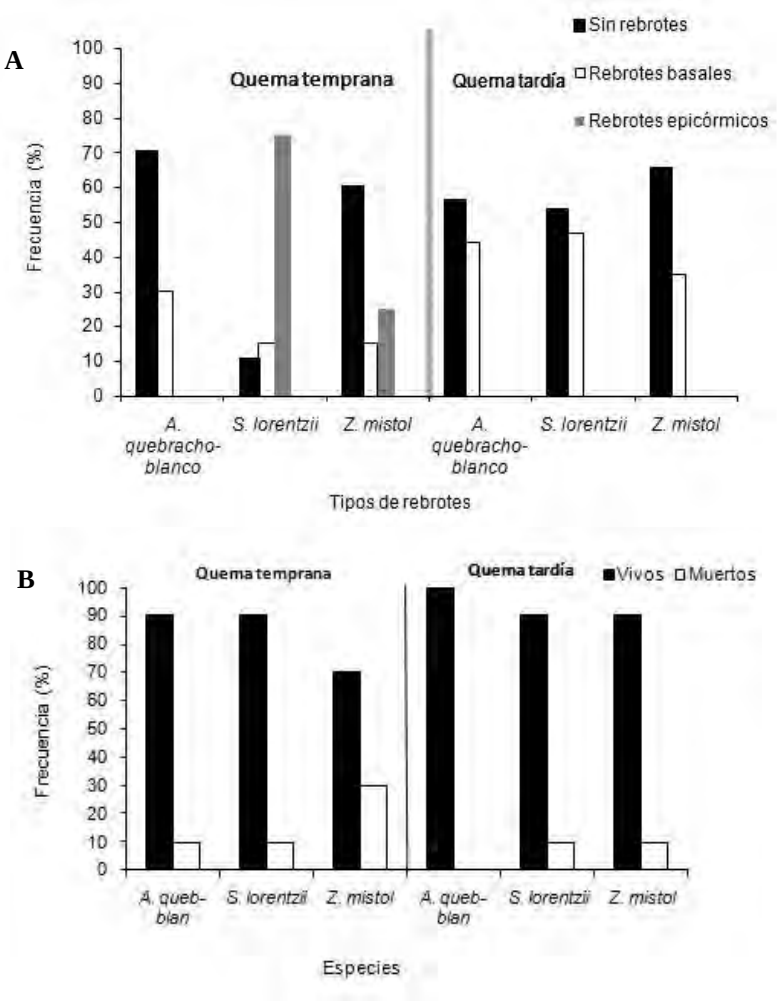


Figura 2. Frecuencia de rebrotes. (**A).** y mortalidad postfuego (**B**) de 3 especies de leñosas arbóreas del Chaco Occidental, en quemas experimentales a diferentes épocas de la temporada de fuego. Quemas tempranas: julio, quemas tardías: octubre.

El rebrote basal, ha sido descripto también como el principal mecanismo de regeneración postfuego en especies de leñosas del Chaco Serrano de Argentina (Herrero *et al.* 2015), y es el tipo de rebrote predominante en especies de leñosas del estrato arbustivo del Chaco Occidental. Actualmente se evalúa el efecto de quemas experimentales en el patrón de rebrotes (número, longitud y diámetro) en ejemplares juveniles de 10 especies de leñosas nativas de bosques chaqueños, con el fin de establecer el efecto de comportamiento de fuego y severidad sobre la eficiencia de la estrategia rebrotadora (Fig. 3).



Figura 3. Evaluación de rebrotes basales a 9 meses de quema experimental en leñosas nativas del Chaco. **A**. *Capparis atamisquea* **B**. *Sarcomphalus mistol* **C**. *Schinopsis lorentzii* **D**. *Aspidosperma quebracho-blanco.*

El rolado es una práctica de manejo en áreas de bosques sujetas a explotación forestal y ganadera, consiste en el pasaje de un cilindro de hierro, con cuchillas, arrastrado por un tractor, que remueven el suelo y la vegetación que encuentra a su paso (Fig. 4 A, Anriquez *et al.* 2005). El objetivo principal de su aplicación es el control de la vegetación arbustiva para el establecimiento de pasturas en sistemas silvopastoriles (Kunst *et al.* 2012). La aplicación de rolados produce el tumbado, arrastre y eventualmente el descalce de las plantas juveniles (<5 cm de diámetro) de arbóreas y arbustivas. El descalzado de la planta completa es menor en ejemplares de menos de 2 m de altura y ante baja severidad del disturbio (una sola pasada de rolo). La regeneración vegetativa post-rolado es por rebrotes

basales, lo que modifica marcadamente el porte arbóreo, tornando necesarias prácticas como recepe, podas o conducción post disturbio, para asegurar el número mínimo de individuos que aseguren su incorporación a las clases de mayor diámetro y la cobertura forestal a largo plazo (Fig. 4 B; Gómez *et al.* 2009).

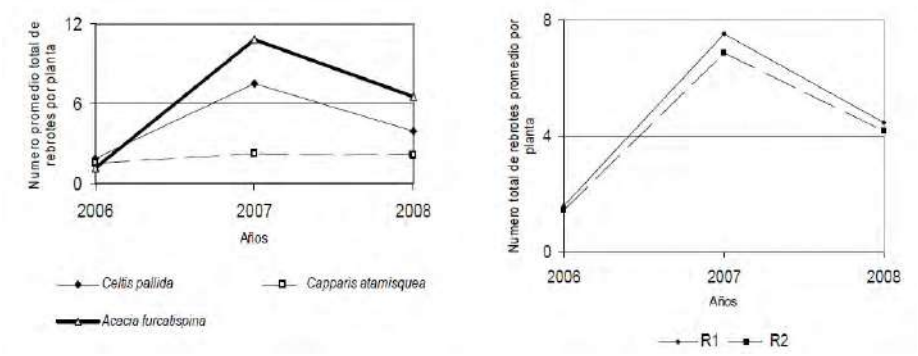


Figura 4. Manejo de bosques chaqueños con rolados **A**. Detalle de rolo adosado a tractor de pequeño porte **B**. Ejemplar de *Schinopsis lorentzii* bifurcado desde la base.

Las heridas que produce el rolo en los ejemplares de mayor diámetro, son similares a las cicatrices de fuego. Debido a la altura que se producen suelen afectar la base de las trozas de mayor valor comercial, pudiendo representar la vía de entrada a patógenos, con el consecuente deterioro de la madera (Gómez *et al.* 2009).

Se han observado diferencias significativas en el número promedio de rebrotes por planta entre especies arbustivas después de la aplicación de rolados, sin que existan efectos significativos de la intensidad del disturbio (alta intensidad=2 pasadas de rolo; baja intensidad=1 pasada de rolo (Fig.5 A). Kunst *et al.* (2009) encontraron un incremento en el número promedio de rebrotes por planta durante el año siguiente a la aplicación del rolado en *Acacia gilliessi*, *Capparis atamisquea* y *Celtis pallida*. El objetivo de reducción de volumen del estrato arbustivo para siembra de pasturas parece lograrse al año siguiente de la aplicación del rolado, aunque con una mortalidad significativa de *C. atamisquea (*22 %), a la

mayor intensidad de disturbio. (Fig. 5 A). La disminución del número promedio de rebrotes por planta al segundo año del rolado, sugiere la mortalidad significativa de una parte los rebrotes inicialmente formados, probablemente por competencia de recursos entre ellos, y el efecto combinado de las heladas y sequía (propias de la estación de receso de crecimiento). Los resultados obtenidos hasta el momento, remarcan la necesidad de mediciones de mortalidad secundaria, a mayor lapso de tiempo desde el disturbio para obtener una valoración certera. Aún no se han evaluado los efectos del rolado en el reclutamiento de las especies arbóreas de mayor valor forestal.



A **B**

Figura 5 Efecto de rolados de baja (R1) y elevada (R2) intensidad, en especies arbustivas del Chaco de Argentina. **A**. Número promedio de rebrote por planta en *Celtis pallida*, *Capparis atamisquea* y *Acacia gilliessi* (Ex *A. furcatispina*). **B**. Número promedio de rebrotes por planta con R1 y R2. Tomado de Kunst *et al.* (2009).

El sinergismo entre el pastoreo y el fuego incrementan dominancia de especies secundarias, la frecuencia de ejemplares con espinas, el hábito de crecimiento arbustivo y la intensidad de rebrotes con respecto a bosques sin disturbios a lo largo de las últimas 3 décadas (Bravo *et al.* 2014b; Loto *et al.* 2016). A pesar del establecimiento de regeneración de las especies del dosel, *S. lorentzii* y *A. quebracho-blanco*, la ganadería estimuló el establecimiento por semillas de *P. nigra* o *V. aroma*, mediado por la dispersión endozoócora de sus frutos (Fig. 6).

Los cambios en el hábito de crecimiento de especies arbóreas, el incremento en la intensidad de rebrotes y en el nivel de espinescencia de las especies arbóreas y arbustivas, resultan indeseables en sistemas silvopastoriles porque limitan la accesibilidad al forraje y causan daño a los animales (Kunst *et al.* 2009). Tales cambios han sido observados dentro del área de estudio, en 3 de las especies arbóreas más representativas (*S. lorentzii*, *A. quebracho-blanco, S. mistol*) y en *Schinus sp.,* una de las especies arbustivas de mayor densidad en áreas degradadas por ganadería intensiva y fuegos (Bravo *et al.*, no publicado). Un Análisis de Correspondencia entre los rasgos funcionales mencionados y el tamaño de banco

de yemas en estas cuatro especies, en bosques en clausura por más de 3 décadas y en bosques disturbados por ganadería y fuego (Fig.1 A; 6 A, B), muestra la separación de sitios con diferente historia de disturbio. La clausura se asocia a especies con hábito de crecimiento arbóreo (*S. lorentzii* y *A. quebracho-blanco*) y ejemplares sin rebrotes y sin espinas. El eje 2, con una inercia de 21.53 % indica la separación de las especies por tamaño del banco de yemas, con *A. quebracho-blanco* y *S. mistol*, bajo y medio, respectivamente, y especies con un tamaño de banco de yemas alto (*S. lorentzii* y *Schinus sp.*). Estos resultados sugieren que los disturbios, desencadenan la expresión de las yemas incrementando la intensidad del rebrote y la espinescencia en especies de tamaño de banco de yemas. El análisis de tablas de contingencias indica que la espinescencia es el único rasgo con asociación significativa ($p<0.0025$) entre sitios de estudio.

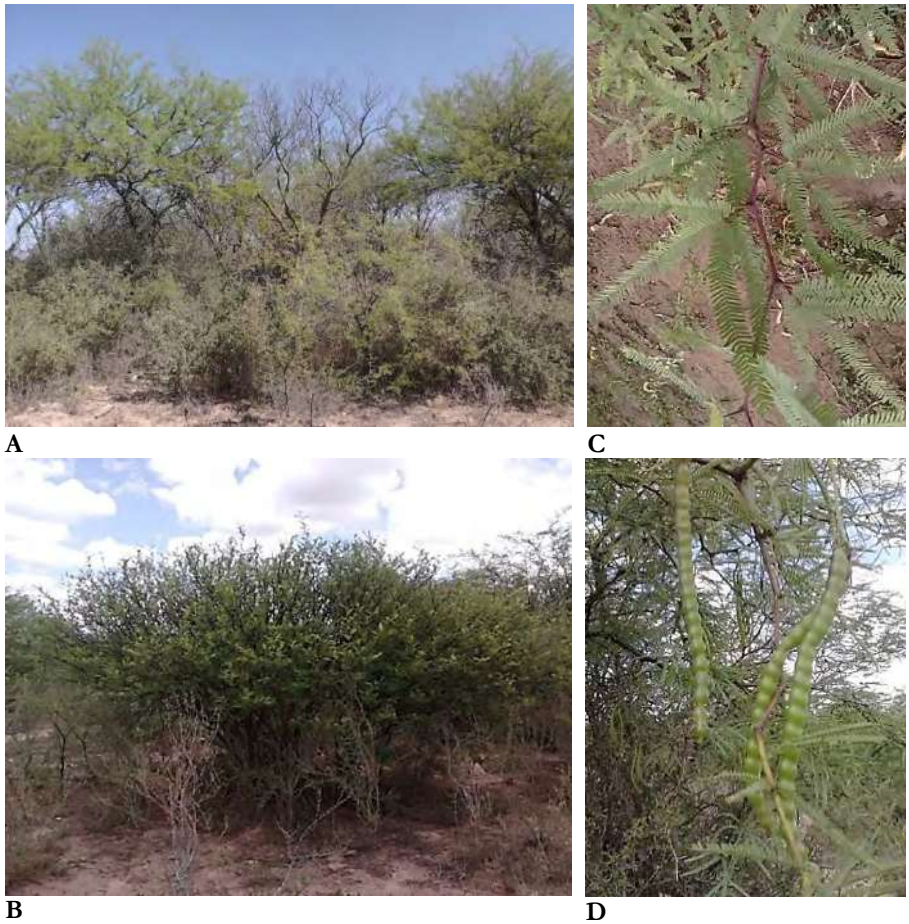


Figura 6. Bosque de dos quebrachos con ganadería y fuego, Chaco Occidental de Argentina **A**. vista general. **B**. Ejemplares de *Acacia aroma*
C y **D**. Ejemplares de *Prosopis nigra.*

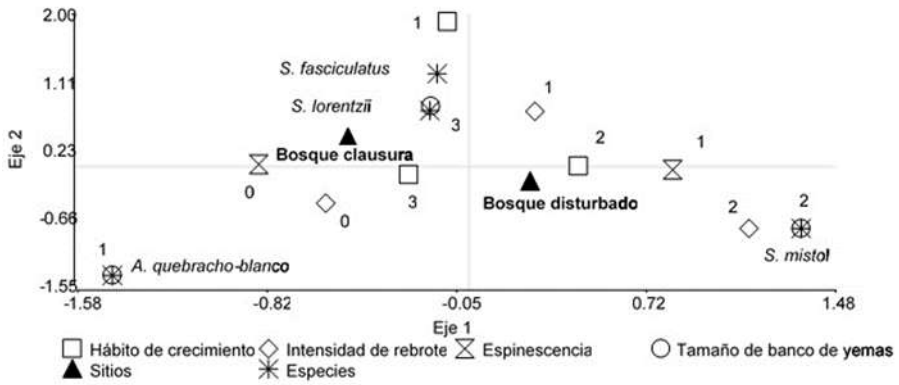


Figura 7. Análisis de correspondencia entre los rasgos funcionales de 4 especies de leñosas nativas del Chaco en bosques con diferente historia de disturbios. Hábito de crecimiento (1. subarbusto, 2. arbusto, 3. árbol), intensidad de rebrote 0: sin rebrotes 1: baja (< 7 rebrotes), 2. Alta (>7 rebrotes); espinescencia (0.sin espinas 1.con espinas), tamaño de banco de yemas (1. bajo, 2. medio, 3. alto) y especies: *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis lorentzii*, *Sarcomphalus mistol* y *Schinus sp.*

Los análisis del patrón de rebrotes y de espinescencia, son esenciales para valorar la respuesta a largo plazo del disturbio, como la producción de biomasa, la capacidad de retención, almacenamiento o pérdida de carbono (Clark *et al.* 2012), así como para estimar las consecuencias funcionales sobre la movilización de reservas hacia crecimiento y/o defensa (Tomlinson *et al.* 2015).

Loto *et al.* (2016) estudiaron la composición de especies y de rasgos funcionales de bosques chaqueños, en ambientes contrastantes en cuanto a la disponibilidad hídrica y al uso productivo (Chaco Occidental: Campo Experimental INTA Santiago del Estero y Chaco de transición con Yungas: Reserva Nacional Pizarro, Salta). Sobre un número total de 33 especies censadas, ambos sitios comparten sólo el 30 % de las mismas, encontrándose representadas entre ellas los principales componentes arbóreas y parte de las arbustivas de los bosques de dos quebrachos de Chaco Occidental (*S. lorentzii*, A. quebracho-blanco, *S. mistol*, *A. gilliessi*, *A. praecox*, *C. atamisquea*, *M. spinosa*, *P. nigra* entre otras). El Análisis de Correspondencia de rasgos funcionales en relación a la historias de disturbios de los sitios señaló a la consistencia foliar, la presencia de rebrotes y la espinescencia como los rasgos que mejor los diferencia (Fig. 8). Se observó asociación de hojas herbáceas, espinas leñosas y rebrote basal para el sitio con menor disponibilidad de agua y con mayor severidad de disturbios (INTA), mientras el área transicional con las Yungas (RN Pizarro), se caracterizó por hojas coriáceas, la ausencia de espinas y menor intensidad de rebrotes. El relevamiento en transectas para rasgos funcionales permitió captar una mayor afinidad florística entre ambos sitios de estudio, ya que permite identificar especies de leñosas de diámetros menores a los 10 cm, usualmente no consideradas en los relevamientos para estructura forestal.

Los estudios sobre el patrón de rebrotes y espinescencia requieren además, de un enfoque cuantitativo, ya que si bien se trata de rasgos de control genético, pueden responder al régimen de disturbios. Así también, se observó una importante variabilidad intraespecífica en la habilidad para rebrotar, que debería ser considerada en relación a la eficiencia de esta estrategia, en ambientes expuestos a disturbios (Moreira y Pausas, 2012). Identificar los grupos funcionales de leñosas en ambientes contrastantes contribuirá a valorar la participación relativa de cada uno de ellos en los principales procesos ecosistémicos, así como la capacidad de resiliencia frente a disturbios recurrentes, como plantean planes de manejo forestal dentro del área de este estudio.

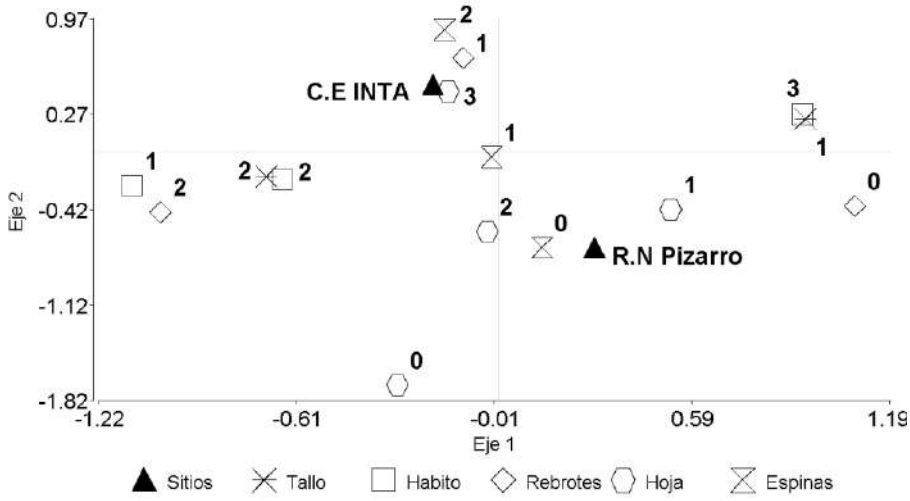


Figura 8. Análisis de correspondencias de rasgos funcionales de leñosas nativas del Chaco argentino, en sitios con diferente historia de disturbios (Campo Experimental Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Provincia de Santiago del Estero, Reserva Nacional Pizarro, Provincia de Salta). Rasgos y categorías: tallo (1: único; 2: múltiple), hábito de crecimiento (1: subarbusto, 2: arbusto, 3: árbol); intensidad de rebrotes (0: sin rebrotes, 1: < de 7 rebrotes, 2: > 7 rebrotes); consistencia foliar (1: coriácea, 2: intermedia, 3: herbácea); espinescencia (0: sin espinas, 1: espinas blandas, 2: espinas leñosas).

Hay indicios de que los incendios y la herbivoría pueden retroalimentar la recurrencia de disturbios, incrementando la inflamabilidad a través de modificaciones en la arquitectura de las plantas (Raffaele *et al.* 2011; Blackhall *et al.* 2012). Santacruz García *et al.* (no publicado) estudiaron en 11 especies de leñosas nativas del Chaco, rasgos funcionales vinculados a la inflamabilidad, en bosques bajo clausura y en bosques disturbados por rolados y fuegos. Los rasgos analizados en la etapa preliminar fueron: contenido de materia seca en hojas, contenido de materia seca en ramas, porcentaje de humedad en hojas, porcentaje de humedad en ramas, tiempo de secado, grado de ramificación, hábito de crecimiento y persistencia foliar. El grado de inflamabilidad fue determinado por el promedio de los valores obtenidos de cada variable, categorizados en 5 clases de inflamabilidad, siguiendo a Pérez Harguindeguy *et al.* (2013). Los rasgos estudiados indicaron que el 80 % de las especies presenta inflamabilidad de media a elevada, que la historia de disturbios de los sitios no produjo diferencias significativas en los atributos de los rasgos considerados, aunque se identificó una variabilidad estacional en la inflamabilidad. El análisis de coordenadas principales señaló al contenido de materia seca en hojas y el grado de ramificación como los rasgos más estrechamente relacionados a la inflamabilidad (Fig.9).

En el análisis de clúster, se identificaron 3 grupos de especies, uno de *inflamabilidad media* correspondiente principalmente a árboles caducifolios, otro de *inflamabilidad elevada*, correspondiente a arbustos, perennes, esclerófilos, espinosos, y el tercero, de inflamabilidad muy elevada compuesto exclusivamente por *S. gilliessi*. Estos últimos resultados, sugieren la importancia del hábito de crecimiento y la persistencia foliar en la inflamabilidad de las especies leñosas. Se han comenzado los ensayos para determinar inflamabilidad en laboratorio empleando un epirradiador (Jaureguiberry *et al.* 2011) y en quemas experimentales a campo, siguiendo Bravo *et al.* (2014) (Fig.10). Se espera conseguir con estas tres fases de estudios (rasgos funcionales, inflamabilidad en laboratorio y a campo) determinaciones más precisas y factores de ajuste para cada metodología, con el fin de generar información que guíe los planes de prevención y las actividades de extinción de incendios forestales en el ambiente chaqueño.



Figura 9. Rasgos foliares de especies de leñosas nativas del Chaco Occidental de Argentina. **A**. *Schinopsis lorentzii* **B**. *Aspidosperma quebracho-blanco* **C**. *Sarcomphalus mistol* **D**. *Schinus spp*. **E**. *Acacia gilliessi* **F**. *Castela coccinea* **G**. *Celtis sp.* **H**. *Capparis atamisquea* **I.** *Moya spinosa.*

La síntesis de compuestos bioquímicos que se almacenan en las plantas en condiciones naturales, como terpenos, fenoles, taninos, entre otros, pueden incrementarse bajo situaciones de estrés como incendios, aumentando la probabilidad de nuevos eventos (Ormeño y Fernández, 2012). En el desarrollo de una tesis doctoral en ejecución, se realizan estudios sobre compuestos bioquímicos inflamables de leñosas nativas del Chaco de Argentina,

particularmente de terpenos, fenoles, taninos, carotenos y clorofilas. Se seleccionaron protocolos internacionales para determinaciones de compuestos aromáticos y los análisis se llevan a cabo en los laboratorios del Departamento de Química, de la Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil y el Laboratorio de Antioxidantes y Procesos Oxidativos, CITSE, CONICET-UNSE.



Figura 10. Evaluación de inflamabilidad. **A**. Vista de epirradiador, según diseño de Jaureguiberry *et al.* (2011) **B**. Ensayo de inflamabilidad en laboratorio **C**. Quema experimental a campo **D**. Evaluación posquema experimental.

Los resultados preliminares en relación a la reproducción vegetativa postdisturbio en leñosas nativas sugieren la elevada resiliencia de las especies de bosques chaqueños a los disturbios tradicionales, propios del manejo productivo (Figura 3 A, B, C, D; Tálamo *et al.* 2013). Sin embargo, plantean la necesidad de estudios a mayor rango temporal que analicen la capacidad de regeneración de las especies, frente a perturbaciones recurrentes, como recomiendan los planes de manejo forestal propuestos a escala regional (INTA). Los cambios producidos en las últimas décadas por el uso no sustentable de los recursos naturales, justifican sobradamente el actual esfuerzo en el análisis y la comprensión de los procesos ecosistémicos, para asegurar la persistencia de los mismos y los servicios que brindan a la comunidad.

Regeneración por semillas en ambientes chaqueños

El banco de semillas en una comunidad vegetal es la reserva de semillas maduras viables en el suelo (banco de semillas del suelo, BSS) o en la planta (banco de semillas aéreo). La densidad y calidad de semillas en el banco es un factor esencial en la dinámica temporal de las comunidades vegetales y por lo tanto, su manejo y conservación son muy importantes para el mantenimiento de su diversidad florística y de la sustentabilidad de estas unidades de vegetación (De Souza *et al.* 2006).

La formación del banco de semillas se inicia con la dispersión y finaliza con la germinación o muerte de las semillas (Jeffrey, 2005). La dispersión es un proceso influenciado por el tipo de unidad de dispersión (semillas aisladas o frutos completos), por la incidencia de animales, vientos y precipitaciones, que suelen contribuir a ubicarlas a gran distancia de la planta madre (Colombo Speroni y de Viana, 2000; Abraham *et al.* 2002; Abraham de Noir y Bravo, 2014). La germinación puede producirse inmediatamente a la dispersión o mediar entre ambas un lapso de tiempo, altamente variable entre las especies y determinante de la densidad de semillas dentro del banco (De Souza *et al.* 2006; Page *et al.* 2006). La dormición es un carácter que determina la germinación sólo bajo determinadas condiciones ambientales, por lo tanto, suele ser considerado un factor clave para el éxito en el establecimiento de nuevas plantas (Baskin y Baskin, 2004).

La viabilidad de las semillas de una especie y el tamaño de su BSS depende de aspectos genéticos, de las condiciones de enterramiento y hábitat y niveles de predación, ya que afectan el flujo de entrada de semillas en el suelo y la potencialidad de generar nuevos individuos (Alexander & Schrag, 2003). Por ello, la viabilidad de las semillas dentro del banco y la profundidad a la que se encuentran en el perfil del suelo son los criterios usados para clasificar los bancos de semillas en transitorios, permanentes a corto plazo y permanentes a largo plazo (De Souza *et al.* 2006). Los disturbios naturales y antrópicos pueden influir en la composición y persistencia de los bancos de semillas y por ende, en la dinámica de la regeneración por vía sexual. Los cambios que los disturbios imponen a la vegetación guardan relación con los cambios en la biomasa, la alteración del medio físico postdisturbio (disponibilidad de agua, perfiles térmicos y lumínicos) y con el volumen y persistencia de los bancos de semillas especies.

Casillo *et al.* (2012) comunicaron un efecto negativo del fuego en el reclutamiento por semillas de especies leñosas nativas del Chaco semiárido, aduciendo como causa directa la mortalidad de semillas y como causa indirecta la pérdida de mantillo que produce una mayor desecación del suelo. Frente a tratamientos de shock térmico de diferente intensidad, Jaureguiberry y Díaz (2015) categorizaron el comportamiento germinativo de 26 especies nativas del Chaco en a) *especies tolerantes*, b) *especies estimuladas* y c) *especies sensibles* al fuego, indicando que el 65 % de ellas corresponden a la primera de las categorías, el 27 % a la segunda y el resto a la tercera. Sin embargo, los ensayos en laboratorio distan ampliamente del

comportamiento a campo, tanto del fuego como de las semillas durante las fases de germinación y establecimiento de plántulas. Por lo tanto, es necesario correlacionar los patrones germinativos y tolerancias observados en laboratorio con lo que ocurre a campo luego de disturbios, para tener una idea más certera sobre sus efectos en la dinámica de la vegetación.

Tálamo *et al.* (2013), comunicaron que el aprovechamiento forestal genera micrositios dentro de bosques del Chaco semiárido, que suelen presentar diferencias notables en relación al ambiente físico circundante (suelo, luz y agua), que pueden conducir a dificultades en el establecimiento de renovales de las especies de leñosas nativas. Barchuck *et al.* (1998) informaron un mayor reclutamiento por semillas de *A. quebracho-blanco* en áreas protegidas respecto a aquellas sometidas a pastoreo extensivo y aprovechamiento forestal, sin plan de manejo. Los relevamientos a campo en ambientes del Chaco semiárido no indican una importante regeneración por semillas de especies de leñosas nativas, sobre todo aquellas zonas sometidas a pastoreo.

Sin embargo, los bancos de semillas de especies de leñosas de bosques del Chaco han sido escasamente estudiados. Abdala (2016) determinó el carácter transitorio del banco de semillas de un bosque del Chaco semiárido en clausura durante las 4 últimas décadas, con la localización de las semillas en los primeros 5 cm del suelo, incluyendo el mantillo subyacente. Estos resultados coinciden con los datos provenientes de bosques mediterráneos, donde las semillas se concentran en los primeros 2 cm del suelo (Piudo y Cavero, 2005). Abdala (2016) indicó que sólo el 43,75 % de las especies de leñosas presentes en la vegetación de un bosque chaqueño, se encontraron representadas en el BSS. Las características de las unidades de dispersión parecen influir en su capacidad de incorporación al suelo (Abraham y Bravo, 2014). Navall (2012) comunicó diferencias significativas en el aporte de hojarasca al suelo en bosques con diferentes historias de disturbios, representando esta fracción un reservorio importante de semillas, que no consiguen incorporarse al suelo por su tamaño o por otros rasgos exomorfológicos.

Ibáñez Moro *et al.* (2015) informaron diferencias significativas en la densidad de semillas en el suelo de bosques chaqueños bajo clausura (BC) y bosques disturbados (BD) por fuegos y rolados (Fig. 11). La densidad promedio de semillas en BC fue 1026 sem/m² mientras en BD fue de 465 sem/m², lo que sugiere un efecto de la remoción de biomasa producida por disturbios, sobre la densidad de semillas del suelo.

Así mismo, Ibáñez Moro *et al.* (2016) comunicaron una mayor densidad de semillas en hojarasca que en el suelo subyacente, tanto en BC como en BD, aunque la cantidad de hojarasca fue significativamente menor en este último. Estos resultados preliminares, de una tesis doctoral actualmente en ejecución, remarcan la importancia de la tolerancia al shock térmico y a la degradación ambiental de semillas de las especies de leñosas nativas del Chaco. El mantillo es la fracción que experimenta la marcada amplitud térmica diaria y estacional y la

extensa temporada de sequía que caracteriza al ambiente del Chaco. Así también, las mayores temperaturas durante incendios se registran a nivel del mantillo, lo que ha sido corroborado en quemas experimentales en las que se evaluaron los perfiles térmicos con termocuplas conectadas a datalogger (Bravo *et al.* 2014; Ledesma *et al* 2018).

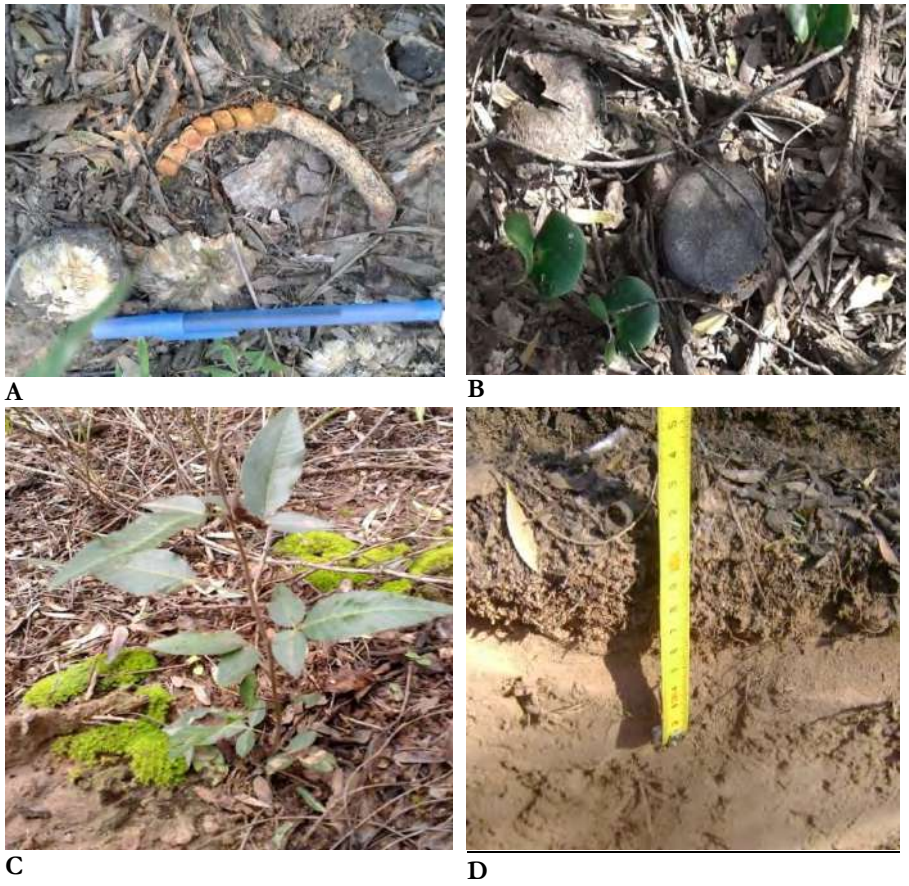


Figura 11. Evaluaciones de banco de semillas en ambiente de bosque chaqueño **A.** Unidades de dispersión en mantillo **B**. Plántulas de *A. quebracho-blanco* **C.** Plántulas de *S. lorentzii* **D**. Perfil del suelo y profundidad del banco de semillas.



Figura 12. Tratamiento de muestras de bancos de semillas **A**. Cámara de germinación **B**. Muestra de banco para recuento de plántulas **C**. Tamizado de muestras para recuento de semillas no germinadas.

Actualmente se realizan los ensayos para pruebas de tetrazolio para determinar viabilidad de las semillas no germinadas (Fig. 13). Esto permitirá determinar mediante combinación de métodos indirectos (recuento de plántulas emergidas) y directos (tamizado, separación de semillas), el tamaño real del banco de semillas de *S. lorentzii*, *A. quebracho-blanco*, *S. mistol*, *P. nigra*, *V. aroma* y *S. gilliessi*.

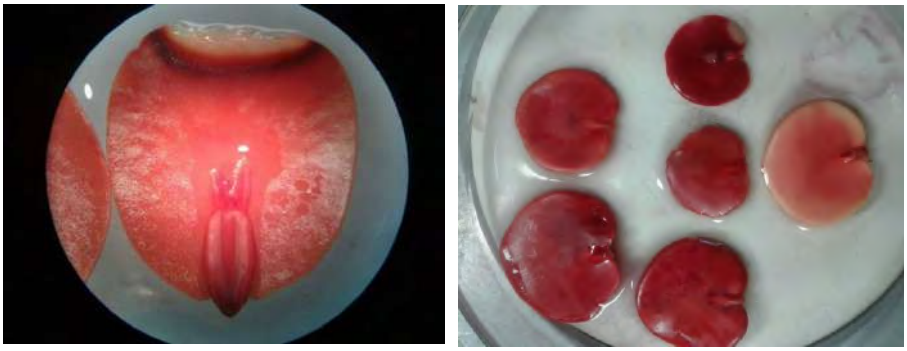


Figura 13. Ensayos de viabilidad con Tetrazolium en semillas de *A. quebracho-blanco*

En el Laboratorio de Termobiología de la Universidad de Brasilia, se evalúan la tolerancia a shock térmico de las semillas de estas especies, con tratamiento en estufa con control de temperaturas (80, 120, 180 y 220ºC) y ensayos de germinación. En el Campo Experimental de INTA, Santiago del Estero se encuentran en desarrollo ensayos de la tolerancia al fuego de las semillas de las 6

especies mencionadas mediante quemas experimentales, con cargas de combustibles controladas (Fig. 10 c). Para ello se dispusieron trampas de semillas en parcelas sometidas a quemas experimentales y parcelas testigo. Las trampas permiten identificar la respuesta al fuego de semillas de calidad conocida, controlar la predación y evaluar el reclutamiento cada 30 días. Se espera, con esta línea de investigación, brindar información necesaria para comprender la dinámica de la regeneración por semillas en ambientes del Chaco argentino.

Bibliografía

Abdala, N. R. 2016. *Banco de semillas en el suelo de especies leñosas en un bosque nativo del Chaco semiárido*. Tesis. Maestría en Desarrollo de Zonas Áridas y Semiáridas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Abella, S.R.; L.P. Chiquoine; C.H. Vanier. 2013. Characterizing soil seed banks and relationships to plant communities. *Plant Ecol.* DOI 10.1007/s11258-013-0200-3.

Abraham de Noir, F.; S. Bravo; R. Abdala. 2002. Mecanismos de dispersión de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental y Serrano. *Revista Quebracho* 9: 140-150

Abraham de Noir, F. y S. Bravo. 2014. *Frutos de leñosas nativas de Argentina*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. E-Book. ISBN 978-987-1676-19-4

Adámoli, J.; Sennhauser, E.; Acebo, J. y Rescia, A. 1990. Stress and disturban ce: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *J. Biogeography* 17: 491-500.

Alexander, H.M. & Schrag, A.M. 2003. Role of soil seed banks and newly dispersed seeds in population dynamics of the annual sunflower, Helianthus annuus. *Journal of Ecology*, 91, 987–998.

Anriquez A.; A. Albanesi; C. Kunst; R. Ledesma; C. López; A. Rodriguez Torresi y J. Godoy. 2005. Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Revista Ciencia del Suelo* 23 (2) 145-157.

Aráoz, E. y H. R. Grau 2010. Fire-Mediated Forest Encroachment in Response to Climatic and Land-Use Change in Subtropical Andean Treelines. *Ecosystems* 13: 992–1005.

Araujo, P.; M. C. Iturre; V. H. Acosta; R. F. Renolfi. 2008. Estructura del bosque de La María EEA. INTA. Santiago del Estero. *Revista Quebracho* N° 16 p5-19.

Barchuk, A. H., M. P. Diaz, F. Casanoves, M. G. Balzarini and U. O. Karlin. 1998. Experimental study on survival rates in two arboreal species from the Argentinian dry Chaco. *Forest Ecology and Management* 103: 203-210

Barchuk, A. H.; E. B. Campos; C. Oviedo; M. del P. Díaz. 2006. Supervivencia y crecimiento de plántulas de especies leñosas del Chaco Árido sometidas a remoción de la biomasa aérea. *Ecología Austral* 16:47-61.

Baskin, J. M. y C. C. Baskin 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14: 1-16.

Bistinas, I; D. Oom; A.C.L. Sá; S.P. Harrison; I.C. Prentice and J.M.C. Pereira 2013. *Relationships between Human Population Density and Burned Area at Continental and Global Scales*. PLoS ONE 8(12): e81188. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081188

Blackhall, M. 2012. *Respuestas de especies leñosas a herbívoros e incendios en bosques y matorrales del noroeste de la Patagonia: estudio de la inflamabilidad vegetal.* Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Argentina.

Boletta, P. E.; A. C. Ravelo; A. M. Planchuelo y M. Grilli. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco *Forest Ecology and Management* 228 108–114.

Brassiolo, M. M.; R.R. Renolfi; A. Gräfe y A. Fumagalli. 1993. Manejo Silvopastoril en el Chaco Semiárido. *Revista Quebracho*, (1) pp 15-28.

Brassiolo, M. 2005. Los Bosques del Chaco Semiárido. *Revista IDIA Forestal XXI* año V N° 8. Pag. 23-28

Bravo, S.; A. Giménez y G. Moglia. 2001. Efectos del fuego en la madera de *Prosopis alba* Griseb. y *P. nigra* (Griseb.) Hieron, Mimosaceae. *Bosque* 22 (1), 51–63.

Bravo, S.; C. Kunst; y H. Grau. 2008. Suitability of the native woody species of the Chaco region, Argentina, for use in dendroecological studies of fire regimes. *Dendrochronologia* 26, 43–52.

Bravo, S.; C. Kunst; R. Grau y E. Aráoz., 2010. Fire-rainfall relationship in Argentine Chaco savannas. *J. Arid Environ.* 74, 1319–1323.

Bravo, S.; C. Kunst; M. Leiva and R. Ledesma. 2014. Response of hardwood tree regeneration to surface fires, western Chaco region, Argentina. *Forest Ecology and Management* 326:36-45.

Britos H. A. y A. H. Barchuk. 2008. Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Agriscientia*, Vol XXV (2):97-110.

Bucher, E. H. 1980. Ecología de la Fauna Chaqueña. Una Revisión. *ECOSUR*. Vol. 7. N°14,111-159.

Bucher, E. H. 1982. Ecology of Tropical Savannas. *Ecological Studies*. Vol. 42. Springer, Berlin-Heidelberg. Nueva York

Carranza, C. y M. Ledesma. 2005. Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido. *IDIA* XXI (8): 230-236

Casillo, J.; C. Kunst & M. Semmartin. 2012. Effects of fire and water availability on the emergence and recruitment of grasses, forbs and woody species in a semiarid Chaco savanna. *Austral Ecology*, 37(4), 452–459. http://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02306.x

Clarke, P. J.; M. J. Lawes; J. J. Midgley; B. B. Lamont; F. Ojeda; G. E. Burrows; N. J. Enright and K. J. E. Knox. 2013. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytol*, 197: 19–35. doi:10.1111/nph.12001

Colombo Speroni, F. y M. de Viana. 2000. Requerimientos de escarificación en semillas autóctonas e invasoras. *Ecología Austral*, 10 (2): 123- 131.

Costanza, V. y C. E. Neuman. 1997. Managing cattle grazing under degraded forests: an optimal control approach. *Ecological Economics* 21:123–139

De Souza Maia, M.; F. C. Maia y M. A. Pérez. 2006. Bancos de semillas en el suelo. *Agriscientia*, VOL. XXIII (1): 33-44.

Delvalle, P. 2005. *Manejo de la regeneración natural de Prosopis sp. (Algarrobo sp.).* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Colonia Benítez

Del Valle, P.; A. D' Agostini; C. Roig y O. Balbuena. 2005. *Tecnología en desarrollo para el manejo silvopastoril en el Chaco húmedo argentino*. www.produccion-animal.com.ar

INTA. 2015 *Guía de prácticas recomendables para sistemas silvopastoriles en Santiago del Estero*. Producir carne y madera conservando el ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Producción de Santiago del Estero.

Giménez, A. M.; P. Hernández; R. Gerez y N. A. Ríos. 2007. Diversidad vegetal en siete unidades demostrativas del Chaco semiárido argentino. *Maderas y Bosques* 13:61-78.

Gómez C. A. y S. M. Kees. 2009. Comportamiento de heliófitas y sombrívoras en el desarrollo sucesional del bosque del Chaco Húmedo, en J. H. Morello & A. F. Rodríguez (eds.). *El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro,* pp. 93-107. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires

Grau, H. R.; N. I. Gasparri, and T. M. Aide. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of northwest Argentina. *Environmental Conservation* **32**:140–148.

Hernández, P. y A. M. Giménez. 2017. *Los bosques del Chaco Serrano Santiagueño. Propuesta metodológica. Los bosques actuales del Chaco semiárido argentino ecoanatomia y biodiversidad una mirada propositiva*. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Herrero, M. L.; R. Torres and D. Renison. 2016. Do wildfires promote woody species invasion in a fire-adapted ecosystem? Post-fire resprouting of native and non-native woody plants in central Argentina. *Environmental Management*:1-10

Ibáñez Moro A. V.; R. Abdala; F. Ojeda y S. Bravo. 2015. *Metodologías para el estudio del banco de semillas de especies leñosas del Chaco*. XXXV Jornadas Argentinas de Botánica. Salta, Argentina.

Ibáñez Moro A. V.; F. Ojeda; S. Bravo y L. Galetto. 2016. *Comparación del banco de semillas de especies leñosas nativas del Chaco en bosques con diferentes historias de disturbio*. Reunión Argentina de Ecología. Puerto Iguazú, Misiones. Argentina.

Jaureguiberry, P.; G. Bertone and S. Diaz. 2011. Device for the standard measurement of shoot flammability in the field. *Austral Ecology* 36: 821-829. doi: 10.1111/j.1442-9993.2010.02222.x

Jaureguiberry, P. & S. Díaz. 2015. Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock. *Oecologia*, 177(3), 689–699. http://doi.org/10.1007/s00442-014-

Jeffrey, L. W; J. M. Baskin; C. C. Baskin and S. N. Hidayati. 2005. Defining transient and persistent seed banks in species with pronounced seasonal dormancy and germination patterns. *Seed Science Research*. Vol. 15. Issue 03. September 2005, pp 189 - 196DOI: 10.1079/SSR2005209, Published online: 22 February 2007

Kunst, C; R. Ledesma; S. Bravo; J. Godoy; V. Navarrete. 2009. *Sistemas silvopastoriles en el Chaco Semiárido III: efecto del rolado sobre la estructura de especies arbustivas nativas*. Actas 1er. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, pp. 1-7.

Kunst, C.; S. Bravo; F. Moscovich; J. Herrera; J. Godoy y S. Vélez. 2000. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill. Ap H. et Arn.) mediante fuego prescripto. *Revista Argentina de Producción Animal* 20 (3-4):199-213.

Kunst, C.; R. Ledesma; S. Bravo; A. Albanesi; A. Anriquez; J. Godoy. 2012. Disrupting woody steady states in the Chaco region (Argentina): responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering* 42: 42-53.

Ky-Dembele C.; M. Tigabu; J. Bayala; S. J. Ouedraogo and P. C. Oden. 2007. The relative importance of different regeneration mechanisms in a selectively cut savanna-woodland in Burkina Faso, West Africa. *For. Ecol. Manage.* 243, 28-38.

Ledesma, R; C. Kunst; S. Bravo; M. Leiva; L. Lorea; J. Godoy; V. Navarrete. 2018. Developing a prescription for brush control in the Chaco region, effects of combined treatments on the canopy of three native shrub species. *Arid Land Research and Management*: DOI 10.1080/15324982.2018.1430072

Lloret, F; J. Peñuelas; M. Estiarte. 2005. Effects of vegetation canopy and climate on seedling establishment in Mediterranean shrubland. *J Veg Sci* 16:67–76.

Lloret, F.; D. Siscart; C. Dalmases. 2004. Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain). *Global Change Biology* 10:2092-2099

Loto, D.; S. Bravo; F. Brosovich Ojeda. 2016. *Composición y rasgos funcionales en dos comunidades de especies leñosas en el Chaco semiárido*. Reunión Argentina de Ecología. Puerto Iguazú, Misiones. Argentina.

Moreira, B; J. G. Pausas. 2012. Tanned or Burned: The Role of Fire in Shaping Physical Seed Dormancy. *PLoS ONE* 7(12): e51523. doi:10.1371/ journal.pone.0051523

Morello, J.; W. Pengue y A. F. Rodríguez. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: el Chaco Argentino. En: S.D. Matteucci (Ed.), *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos*. Ediciones INTA, Buenos Aires.

Morello, J. and J. M. Adámoli. 1968. *Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Primera parte: Objetivos y metodología*. Instituto de Botánica Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina.

Mostacedo, B.; T. S. Fredericksen. 2001. Introduccion, en Mostacedo B., Fredericksen T S. (Editores). *Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia*, Pp: 1-10.

Navall, M. 2012. *Aporte de hojarasca en un quebrachal semiárido santiagueño bajo manejo silvopastoril*. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina.Pp:1-6.

Ormeño, E. y C. Fernandez. 2012. Effect of Soil Nutrient on Production and Diversity of Volatile Terpenoids from Plants. *Current Bioactive Compounds*, 8(1), 71–79. http://doi.org/ 10.2174/157340712799828188

Page, M. J; G. S. Baxter; A.T. Lisle. 2006. Evaluating the adequacy of sampling germinable soil seed banks in semi-arid systems. *Journal of Arid Environments* 64 323–341.

Pérez-Harguindeguy, N.; S. Díaz; S. Lavorel; H. Poorter; P. Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornelissen, J. H. C. (2013). New Handbook for standardized measurment of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, *23*(34), 167–234. http://doi.org/http: //dx.doi.org/10.1071/BT12225

Piudo, M. J. y R. Y. Cavero. 2005. *Banco de semillas: comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo*. Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, Serie Botánica, 16: 71-85.

Raffaele, E; T. T. Veblen; M. Blackhall & N. Tercerobucardo. 2011. Synergistic influences of introduced herbivores and fire on vegetation change in northern Patagonia, Argentina. *J. Veg. Sci.,* 22:59-71.

Tálamo, A.; S. M. Caziani. 2003. Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 184 pp 79–92.

Tálamo, A.; C. Trucco; S. Caziani. 2009. Vegetación leñosa de un camino abandonado del Chaco semiárido en relación a la matriz de vegetación circundante y el pastoreo. *Ecología Austral* 19:157-165.

Tálamo, A.; J. López de Casenave and S. M. Caziani. 2012. Components of woody plant diversity in semi-arid Chaco forests with heterogeneous land use and disturbance histories. *Journal of Arid Environments* 85:79-85.

Tálamo, A; J. López de Casenave; M. Núñez-Regueiro; S. Caziani. 2013 Regeneración de plantas leñosas en el Chaco semiárido argentino: relación con factores bióticos y abióticos en micrositios creados por el aprovechamiento forestal. *Bosque* 34(1): 53-62.

Tomlinson, K. W.; F. J. Sterck; F. Bongers; D. A. Silva; E. R. M. Barbosa; D. Ward; F. T. Bakker; M. Van Kaauwen; H. T. Prins; S. de Bie; F. Van Langevelde. 2012. Biomass partitioning and root morphology of savanna trees across a water gradient. *J Ecol* 100:1113–1121

Capítulo 11

Corredores biológicos y la conservación de la biodiversidad: El caso del corredor norte en Santiago del Estero

Rivas, F.[1]; G. E. Mujica[2] y M. Brassiolo[1]

1. Introducción

El Gran Chaco Argentino tiene una larga historia de colonización, cambios de uso del suelo e interacciones con la vida silvestre comenzando por la caza de subsistencia de los nativos. Sin embargo, en los últimos 200 años, el uso del suelo ha cambiado para incluir prácticas intensificadas, como el cercado de tierras, la ganadería, la tala selectiva y la agricultura intensiva (Eva *et al.* 2004, Morello *et al.* 2006, Hoyos *et al.* 2013). La combinación de estas prácticas ha dado lugar a la sustitución de praderas y bosques con arbustos por áreas de suelo desnudo completamente erosionados (Morello *et al.* 2006, Baldi y Jobbágy 2012). La agricultura se está expandiendo a casi todos los rincones de la región; agronegocios a gran escala, principalmente para la producción de soja se están apoderando de áreas que antes se consideraban no aptas para la agricultura (Gasparri y Grau, 2009).

La diversidad de especies se ha visto afectada de manera significativa por los procesos de intensificación de uso del suelo, que han tenido lugar en la región Chaqueña en las últimas décadas (Ojeda *et al.* 2002). Este fenómeno es más marcado en la parte argentina del Gran Chaco Americano, que ha sufrido una mayor degradación, y donde ya no existen hábitats óptimos para mamíferos nativos grandes y medianos. Las poblaciones pueden comenzar a desaparecer o ser menos abundantes en las zonas marginales al paso que los rangos de dispersión tienden a contraerse, dejando zonas de borde deforestadas con menos individuos (Ojeda *et al.* 2008). Por otra parte, estas poblaciones ya estresadas siguen

[1] Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. (4200) Santiago del Estero, Argentina.
[2] Dirección General de Bosques y Fauna. Ministerio de Producción, Recusos Naturanes, Forestación y Tierras. Av. Independencia 475, G4204 Santiago del Estero, Argentina.

sometidas a la caza furtiva intensiva (Altrichter 2005, 2006). En consecuencia, los mamíferos de la Región Chaqueña enfrentan actualmente tres amenazas principales, siendo todas graves: (1) la expansión de las tierras agrícolas en detrimento de los hábitats originales, (2) la intensa presión de caza, y (3) la competencia con especies invasoras (Ceballos y Simonetti 2002). Según Ojeda (2012), 52% de las especies de mamíferos grandes y medianos nativos de Argentina se consideran en peligro de extinción, vulnerables o casi amenazadas.

La transformación del paisaje es considerada uno de los principales motores detrás de la pérdida de especies, regional y globalmente. Estudios teóricos y empíricos sugieren que la estructura del paisaje influencia la diversidad de especies en muchos hábitats. Estos efectos se pueden manifestar a diferentes escalas espaciales dependiendo de la respuesta de las especies a la heterogeneidad del paisaje. Un similar, pero muchas veces descuidado aspecto de la escala, concierne a la escala temporal de la respuesta de las especies al cambio del paisaje (Lindborg & Eriksson, 2004). La escala de paisaje, la frecuencia y distribución espacial de hábitats críticos y recursos va a determinar el patrón de distribución de especies (Debinski y otros, 2001). La evidencia empírica a la fecha sugiere que los efectos de la fragmentación por sí solos son generalmente más débiles que los efectos de la pérdida de hábitat. A diferencia de los efectos de la pérdida de hábitat, y en contraste con la teoría corriente (Fahrig, 2003).

La Conectividad se ha convertido en una cuestión fundamental y prioritaria en las políticas actuales de conservación de la biodiversidad (por ejemplo Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy – PEBLDS – (1995), Séptima Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2004)) y de iniciativas de investigación a todos los niveles (Marull y Mallarach, 2005; Moilanen y Nieminen, 2002; Nikolakaki, 2004; Pascual-Hortal y Saura, 2006; Schumaker, 1996; Taylor *et al.*, 1993;Tischendorf y Fahrig, 2000a).

La necesidad de mantener los flujos ecológicos en el paisaje y en particular, las rutas de dispersión naturales para los movimientos de la vida silvestre, exigen una gestión más integrada de los ecosistemas en los que las consideraciones de conectividad deben ser necesariamente incorporadas. Un mapeo adecuado de la distribución y configuración espacial del hábitat y el paisaje son requeridos inicialmente con el fin de tratar adecuadamente aspectos dependientes de la estructura-patrón de la conectividad (Tischendorf y Fahrig, 2000b). Por otro lado, una estimación de la conducta de dispersión y las habilidades de movimiento de la especie focal son necesarios para medir la conectividad funcional, ya que el mismo paisaje puede tener diferentes conectividades según la percepción de diferentes especies (Theobald, 2006).

Para resolver los problemas derivados de la fragmentación y devolver a los sistemas naturales la conectividad que los hace sostenibles en el tiempo, científicos, planificadores, gestores y otros profesionales han desarrollado diferentes aproximaciones que van desde el diseño de redes de espacios protegidos hasta sistemas integrales de planificación y gestión del territorio.

Algunos de estos modelos de redes tratan de asegurar la viabilidad de las poblaciones de ciertas especies, hábitats o ecosistemas (European Ecological Network, EECONET, Bischoff y Jongman, 1993). Normalmente este tipo de redes se caracterizan por contar con tres tipos de elementos: áreas núcleo, corredores, áreas restauradas o de amortiguación. Otros modelos de redes territoriales se centran en el mantenimiento de los procesos físicos que se dan sobre los sistemas, y hacen hincapié en el equilibrio ecológico del paisaje a través de las funciones compensativas (Külvik 2002; Sepp y Kaasik 2002). Los principales objetivos de estas aproximaciones son la identificación y localización de los nodos (áreas núcleo) y corredores, los cuales tienen una gran importancia geoecológica y donde las funciones eco-compensativas se dan o deben llevarse a cabo. Ejemplos de estas redes son las desarrolladas en Estonia, Letonia y Lituania (Bennett, 2004).

Los corredores biológicos son comúnmente utilizados para conectar fragmentos de hábitat de vida silvestre, sin embargo, la identificación de los corredores de conservación normalmente descuida los procesos de selección y movimiento entre hábitats de los organismos objetivo. En su lugar, los diseños del corredor a menudo se basan en patrones binarios de la idoneidad del hábitat. Las nuevas tecnologías y herramientas analíticas permiten integrar mejor los patrones del paisaje con los procesos de comportamiento. Las funciones de selección de recursos se pueden utilizar para describir la idoneidad del hábitat con métricas continuas, multivariadas, y métodos de revisión por el cual el movimiento de los animales se puede cuantificar, analizar y modelar. Los procesos de selección y el movimiento entre hábitats pueden ser integrados con las características del paisaje utilizando rutas de menor costo, la teoría de grafos, y las funciones de selección de paso. Estas herramientas ofrecen nuevas formas de diseñar, implementar y estudiar corredores como vínculos del paisaje, de forma más objetiva y de manera integral. (Bennet, 1998).

La zona de influencia del Corredor Norte es el último refugio y hábitat de innumerables poblaciones de especies de fauna silvestre conspicuas e importantes, que se hallan bajo categorías de amenaza o en peligro de extinción, como el chancho quimilero (*Catagonus wagneri*; endémico del Gran Chaco), el tatú carreta (*Priodontes maximus*) y el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), por nombrar algunos.

Por lo expuesto anteriormente resultan prioritarios estudios de línea de base de la biodiversidad para diferentes grupos taxonómicos y a distintas escalas en orden de determinar la contribución del Corredor Norte, conector biológico del Parque Provincial Copo y el Río Salado, al flujo de especies, genes, procesos ecológicos, y en última instancia a la conectividad entre ambos ambientes.

2. Objetivos

Este trabajo persiguió como objetivo central determinar la biodiversidad de fauna presente en el Corredor Norte PPC – Río Salado. Como objetivos específicos podríamos mencionar:

Establecer los índices alfa y beta (Shannon-Wienner y Jaccard) de la estructura de la biodiversidad a lo largo del corredor;

Calcular la abundancia relativa de las especies de mayor relevancia desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad;

Determinar la contribución del Corredor Norte a la conectividad del paisaje.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

Las tareas de campo se localizaron en el norte de la Provincia de Santiago del Estero, en los Departamentos Copo, Alberdi y Figueroa, entre los 25º a 26º de latitud sur y los 62º a 63º de longitud oeste, en una franja de territorio de unos 3000 km², expandiéndose del noreste hacia el sudoeste, desde el límite occidental del Parque Provincial Copo al Área natural protegida denominada Bañados de Figueroa. Se halla inmersa en la región fitogeográfica Parque Chaqueño Seco, presentado su composición florística característica como el Quebracho colorado y blanco, Algarrobo blanco y negro, Guayacán, Mistol, entre otras.

La geomorfología general corresponde a una planicie de sedimentos loéssicos de antiguo modelado fluvial. El clima de la zona se clasifica según el sistema de Köppen y Geiger como clima caliente de estepa, seco en invierno; según el de Thornthwaite como semiárido. La temperatura media anual es de 21 °C con una precipitación media anual de 552 mm, se destacan la amplitud térmica de unos 30 °C entre el promedio de las temperaturas mínimas (6,4 °C) y máximas (36,1 °C) y la alta evapotranspiración potencial que produce un déficit hídrico en todos los meses. (Bruchmann, 1981).

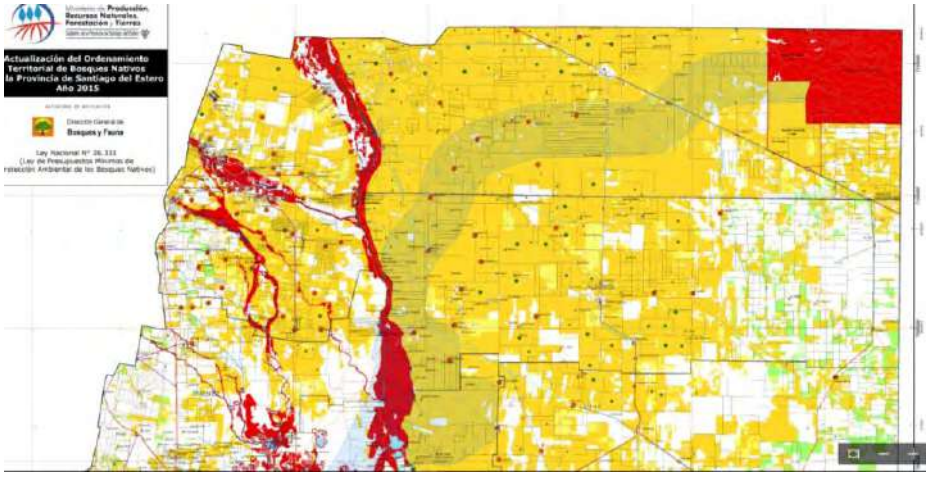


Figura 1. Porción del mapa de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de Santiago del Estero; el polígono grisáceo delimita el Corredor Norte.

3.2. Análisis de conectividad

3.2.1. Clasificación de imagen satelital

El archivo de input necesario para hacer correr el software Fragstats (versión 4.2) es una imagen raster de formato GeoTIFF o ASCII preferentemente, la cual fue generada mediante una clasificación supervisada (Vicens L., 2009) semiautomática y multiespectral en el programa QGIS Essen (versión 2.14.3) a través del plugin "SCP", el cual produce un mapa temático por tipos de coberturas ambientales del área considerada. Como insumo al proceso de clasificación se utilizó una imagen satelital MODIS de 2015, 3 bandas, con una resolución espacial de 500m y una combinación RGB 1, 2, 3 para una mejor visualización e interpretación de la zona de estudio. La misma se halla georreferenciada y posee un Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) WGS 84 EPSG: 4326.

El proceso de clasificación supervisada de escenas utilizando imágenes multiespectrales se divide en dos fases: una fase de entrenamiento que es el proceso en donde el usuario se encarga de recorrer toda la imagen asignándole un valor significativo a cada pixel a los que pertenecen por clase, seguida de la fase de toma de decisiones, donde el equipo asigna una etiqueta de clase a todos los pixeles, buscando que cada pixel sea lo más similar posible a la respectiva clase en el entrenamiento. Se empleó el **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*), (Gherschman, *et al.*, 2003a; Paruelo, *et al.*, 2004; Baldi, *et al.*, 2006; Baldi y Paruelo, 2008). Dicho índice es un descriptor de la vegetación, ya que integra dos aspectos

claves del comportamiento espectral de los tejidos fotosintéticos: la baja reflectancia en longitudes de onda correspondientes al rojo (debido a la absorción por parte de la clorofila) y la alta reflectancia en la porción del infrarrojo cercano (debido a la estructura del mesófilo de las hojas). El algoritmo seleccionado para la clasificación fue el de "distancia mínima" sin valor de umbral de corte, definiéndose 7 clases temáticas de las cuales 5 corresponden efectivamente a zonas del área de estudio, a saber:

1. Bosque;
2. Agricultura;
3. Salinas;
4. Agua;
5. Bañados.

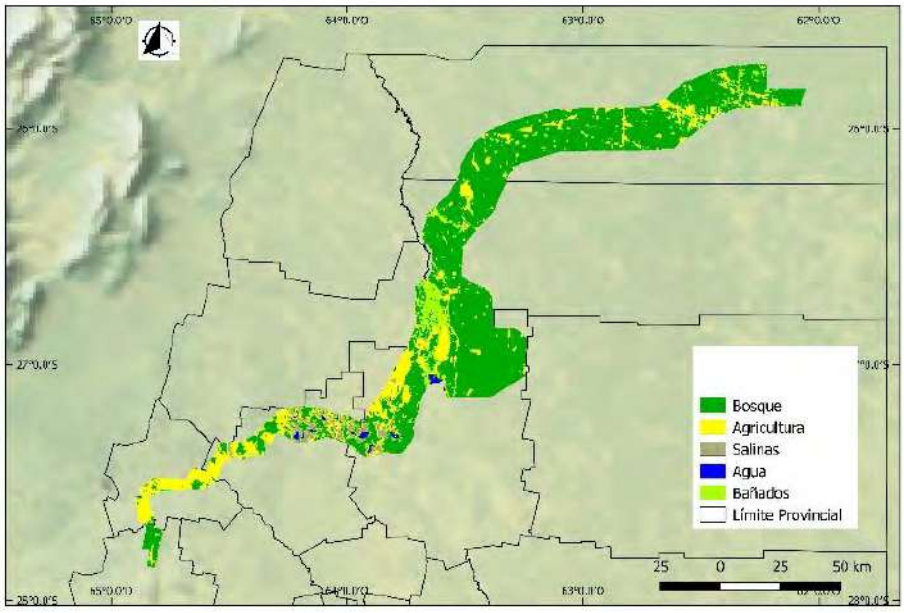


Figura 2. Mapa temático de la clasificación supervisada de tipos de cobertura del suelo del Corredor Norte.

3.2.2. Diseño muestral

En orden de poder responder a uno de los objetivos, que es determinar si el Corredor Norte contribuye de forma efectiva a la conectividad biológica entre dos grandes núcleos de conservación de biodiversidad como son el Parque Provincial Copo y la Reserva de Usos Múltiples Bañados de Figueroa, se

confeccionó un diseño muestral sistemático a lo largo del mismo, con estaciones de muestreo espaciadas a 20 km una de otra aproximadamente, mediante el empleo de la función "herramientas de investigación" del programa libre QGis, e imágenes satelitales georreferenciadas Landsat 7 TM.

Tabla 1. Localización geográfica de las trampas cámara.

Cámara Trampa N°	2015	2016
1	25°48´29,9´´S; 62°13´49,2´´O	25°59´01,6´´S; 62°52´40,1´´O
2	25°54´31,3´´S; 62°28´47,3´´O	25°59´08,0´´S; 62°52´54,8´´O
3	25°53´53,9´´S; 62°29´00,3´´O	26°00´49,5´´S; 63°11´33,8´´O
4	25°59´59,3´´S; 62°48´44,4´´O	26°00´43,6´´S; 63°11´30,1´´O

Mamíferos

- Transectas lineales de largo variable de 3 a 5 km (Conner *et al.* 1983, Linhart y Knowlton 1976, Stephens *et al.* 2006), recorridas a pie, consignando observaciones directas e indicios indirectos (cuevas, huellas, eses, etc.) localizadas en forma sistemática y estratificada por tipo de ambientes, a una distancia no menor de 2km entre una y otra, de forma tal de asegurar independencia y que no halla autocorrelación espacial. Se realizaron un total de 5 transectas distribuidas entre las estaciones previamente seleccionadas, recorriendo un total de 17 km.



Figura 3. Imagen satelital con la ubicación de las transectas de muestreo visualizadas mediante líneas amarillas.

- Colocación de trampas cámara digitales automáticas (marca Tasco de 5 mpx) sobre la corteza de árboles a 50 cm de altura desde el suelo, ubicadas en la cercanía de las picadas o pasaderos de los animales. Las mismas se localizaron espaciadas una de otra a no menos de 1,5 km (Trolle y Kéry, 2003). Se emplearon un total de 4 cámaras con turnos de activación y chequeo de 30 días.



Figura 4. personal técnico en las tareas de activación y colocación de la cámara.

Aves

- Recuentos en puntos de radio fijo. Se registraron observaciones de aves en un radio de 25 m alrededor del observador, como también las que "caen" afuera del mismo por un período de 5 minutos (Ralph *et al.*, 1996; González – Oreja *et al.*, 2007, MacGregor-Fors *et al.*, 2010b).

- En todos los casos, tanto para mamíferos como aves los datos a campo se complementan con la realización de entrevistas mediante encuestas no formales a pobladores (Barbarán, 2000; Giraudo y Abramson, 1998), para recopilar datos sobre la presencia, abundancia y tendencia poblacional de las especies. Además, se consultó la recopilación de datos bibliográficos, registros históricos de museos y revistas indexadas especializadas en la temática.

3.2.3. Análisis de conectividad

Los paisajes están compuestos por elementos – los componentes espaciales que hacen al paisaje. Un modelo conveniente y popular para conceptualizar y representar los elementos en un mapa categórico de patrones (o mosaico de parches) es conocido como el modelo parche-corredor-matriz (Forman, 1995). Bajo este modelo, tres elementos principales del paisaje son típicamente reconocidos, y la extensión y la configuración de estos elementos definen el patrón del paisaje.

- Parche;
- Corredor;
- Matriz.

En este modelo de biogeografía de islas, el énfasis está puesto en un único tipo de parche; parches disjuntos, por ejemplo fragmentos de hábitats, son vistos como análogos a islas oceánicas inmersas en un trasfondo inhóspito o ecológicamente neutro (matriz). Esta perspectiva emerge de la teoría de biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1967) y el subsecuente interés en la fragmentación del hábitat (Saunders *et al.* 1991). En tal sentido existe una estructura de parche binaria en la cual los parches focales (fragmentos) están inmersos en una matriz neutral. Aquí, el énfasis está puesto en la extensión, el carácter espacial, y la distribución del tipo de parche focal sin considerar explícitamente el rol de la matriz. Bajo esta conceptualización, la conectividad puede ser estimada por la agregación espacial del tipo de parche focal sin considerar como los parches involucrados afectan la conectividad funcional entre los parches de la clase focal.

Nos situamos en el modelo de biogeografía de islas para efectuar el análisis de conectividad, a partir de considerar la clase de "bosque" de la clasificación supervisada como los parches focales tomados en consideración como hábitat de fauna silvestre. En consecuencia, utilizamos el software de libre acceso Fragstats versión 4.2 el cual es un programa de análisis espacial de patrones para cuantificar la estructura (composición y configuración) de paisajes. Este calcula una gran colección de métricas referidas a un mapa categórico de entrada, de la cuales optamos por elegir dos, el área de cada parche (AREA) y el índice de la distancia mínima euclídea (ENN). El área de cada parche de bosque será el primer filtro considerado, seleccionado sólo aquellos que superen la superficie mínima de hábitat requerida para el mantenimiento de poblaciones viables en el tiempo. Seguidamente con estos parches ya identificados, se utiliza el ENN siendo tal vez la medida más simple de aislamiento de parches (Moilanen y Hanski, 2001). Es definida usando simplemente la geometría Euclidiana como la distancia más corta en línea recta entre el parche objetivo y su vecino más próximo de la misma clase, basado en la distancia entre los centros de las celdas más cercanas de los respectivos parches. Tomando en cuenta este índice se evalúa los valores de las

distancias entre los parches previamente seleccionados a partir de su superficie comparándolos con un valor umbral que establece el máximo de distancia de dispersión de la especie seleccionada para el análisis en una matriz hostil. Finalmente, si el valor promedio de las distancias del índice ENN entre los parches es menor o superior al valor máximo de dispersión de la especie para el paisaje en cuestión, se determinará si el mismo presenta mayor o menor grado de conectividad respectivamente.

Tabla 2. Descripción del índice ENN, adaptado del manual de Fragstats.

Distancia Euclídea del Vecino más Próximo

ENN = h_{ij}	h_{ij} = distancia (m) desde el parche ij al parche vecino más próximo del mismo tipo (clase), basado en la distancia borde-a-borde del parche, calculado desde el centro de la celda al centro de la celda.

3.3. Análisis de abundancias relativas

Como fuera mencionado, se emplearon esencialmente tres técnicas para el relevamiento de las especies de mamíferos y aves, las cuales son transectas, trampas cámara y conteo por puntos. En las transectas se pueden obtener diferentes índices de abundancia, los más utilizados son el número de huellas/km recorrido, número de excretas/km recorrido y en casos excepcionales el número de individuos observados por km (Wilson y Delahay, 2001). Con la finalidad de estandarizarlas se pueden transformar a un índice que involucre el número de registros por Km que multiplique el número total de km recorridos durante el período de muestreo, esta información puede ser así utilizada para generar curvas de probabilidad de detección o simulaciones (Carbone *et al.* 2001, Sargeant *et al* 1998, Stephens *et al.* 2006).

3.4. Análisis de biodiversidad

Para estudiar la biodiversidad se consideraron y clasificaron los datos en diferentes niveles geográficos para obtener información más allá del listado de especies. Algunos de estos niveles fueron asociados a las escalas de trabajo definidas por nuestro objetivo, es decir, se definió qué es local y regional para asociar a éstos las medidas de la diversidad alfa y beta.

- **Alfa:** es la riqueza de especies de una comunidad determinada y que se considera homogénea, por lo tanto es a un nivel "local".

- **Beta:** es la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre las comunidades que se encuentran en un área mayor. Se propone que se obtenga a partir de comparaciones entre pares de unidades de paisaje; sin embargo, esto depende de lo que se haya definido como comunidad.

4. Resultados

4.1. Listado de especies de mamíferos

Durante las campañas de toma de datos en transectas de 2015 y 2016 se registraron un total de 59 individuos, de 15 especies de mamíferos pertenecientes a 9 familias: Felidae, Canidae, Mustelidae, Cervidae, Myrmecophagidae, Dasypodidae, Tayassuidae, Caviidae y Leporidae. Siendo la más representada Dasypodidae con un porcentaje del 29 %. La Tabla 1 presenta el listado de especies registradas en transectas como también mediante trampas cámara, donde n_i = número de individuos de la especie i; p_i = abundancia proporcional de la especie i ($p_i = n_i/N$) (Moreno, 2001).

Tabla 3: listado de especies de mamíferos medianos y grandes del área de estudio.

			Transectas		Cámaras	
Nombre común	**Nombre científico**	**Familia**	**ni**	**pi**	**ni**	**pi**
Peludo	*(Chaetophractus villosus)*	Dasypodidae	10	0,16	2	0,04
Mataco	*(Tolypeutes matacus)*	Dasypodidae	2	0,03	1	0,02
Pichi llorón	*(Chaetophractus vellerosus)*	Dasypodidae	5	0,08	-	-
Pichi ciego	*(Chlamyphorus truncatus)*	Dasypodidae	1	0,01	-	-
Balacate	*(Euphractus sexcinctus)*	Dasypodidae	1	0,01	-	-
Zorro gris	*(Lycalopex gymnocercus)*	Canidae	8	0,13	4	0,09
Zorrino	*(Conepatus chinga)*	Mustelidae	3	0,05	2	0,04
Puma	*(Puma concolor)*	Felidae	2	0,03	5	0,11
Gato montés	*(Oncifelis geoffroyi)*	Felidae	-	-	3	0,06
Conejo de los palos	*(Pediolagus salinicola)*	Caviidae	5	0,08	3	0,06
Conejo castilla	*(Sylvilagus brasiliensis)*	Leporidae	-	-	1	0,02
Liebre	*(Lepus europaeus)*	Leporidae	-	-	2	0,04
Chancho de collar	*(Pecari tajacu)*	Tayassuidae	8	0,13	4	0,09
Guazuncha	*(Mazama gouazoubira)*	Cervidae	13	0,22	11	0,25
Oso hormiguero	*(Myrmecophaga tridactyla)*	Myrmecophagidae	1	0,01	7	0,15
N° de inidividuos (N)			**59**	**0,99**	**45**	**0,99**
N° de especies (S)			**15**		**12**	

A continuación se presentan algunos de los registros relevantes de especies de mamíferos de las trampas cámaras a lo largo del Corredor Norte.



Figura 5. zorro gris, guazuncha, zorrino, chancho de collar, oso hormiguero, y puma.

4.2. Abundancias relativas

El siguiente gráfico de barras muestra las abundancias relativas de las especies detectadas mediante la metodología de transectas. El valor expuesto para cada especie resulta del cociente entre el número de registros contabilizados por el total de kilómetros recorridos, como fuera explicado con mayor detalle en el apartado 3.3.

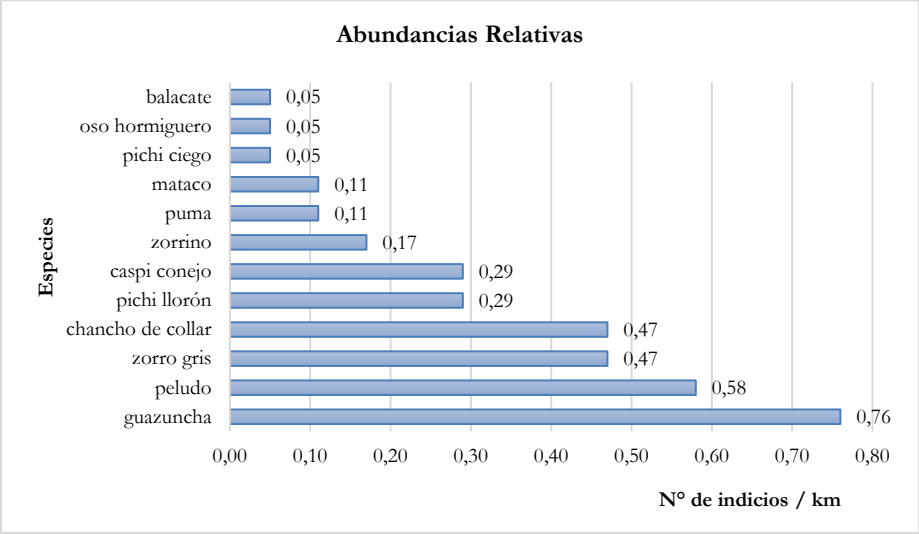


Figura 6. abundancias relativas de las especies de mamíferos a partir de transectas.

Estos resultados concuerdan con otros trabajos para la Ecorregión Chaqueña (Caziani *et al.* 2003; Ayala *et al.* 2000; Cuellar *et al.* 1998), en los cuales *Mazama gouazoubira*, *Lycalopex gymnocercus* y el grupo de Xenarthras (en particular familia Dasypodidae) fueron los de mayor cantidad de registros.

Los indicios indirectos típicos, que se registran con mayor frecuencia que otros como fecas y cuevas durante las campañas de transectas son las pisadas o huellas de los individuos. Un ejemplo de ello se presenta en la foto N° 7.



Figura 7. Rastros de un ejemplar de chancho de collar adulto registrado en transectas.

4.3. Encuestas a pobladores

Se trabajó con pobladores de diversos parajes localizados en el Corredor Norte, a los cuales se les pregunto sobre las especies de fauna que habitan en aquellos ecosistemas. Entre las especies mencionadas por la gente debemos destacar aquellas que no fueron detectadas por las metodologías de transectas y cámaras trampa. Estas son yaguarundí (*Herpailurus yaguarondi*), hurón menor (*Galictis cuja*), comadrejita común (*Thylamys pusillus*), comadreja overa (*Didelphis albiventris*), oso melero (*Tamandua tetradactyla*), mulita (*Dasypus hybridus*), tatú carreta (*Priodontes maximus*), chancho quimilero (*Catagonus wagneri*), vizcacha (*Lagostomus maximus*), cuis (*Galea musteloides*).

4.4. Listado de especies de aves

La Tabla 4 presenta el listado de especies de avifauna observadas mediante la metodología de conteo por puntos (apartado 3.2.2), como también las mencionadas por la gente en las encuestas. El mismo no pretende ser un detalle exhaustivo de la composición de aves de las comunidades del área de estudio.

Tabla 4: Listado de especies de avifauna del Corredor Norte.

Nombre común	Nombre científico	Conteo por puntos	Encuestas
Reina mora	***Cyanocompsa brissonii***	✓	✓
Cardenal común	***Paroaria coronata***	✓	✓
Cardenilla	***Paroaria capitata***	✓	✓
Boyero	***Cacicus solitarius***	✓	✓
Benteveo	***Pitangus sulphuratus***	✓	✓
Pitiayumí	***Parula pitiayumi***	-	✓
Naranjero	***Thraupis bonariensis***	-	✓
Cortarramas	***Phytotoma rutila***	✓	✓
Sachita	***Sicalis flaveola***	✓	✓
Brasita	***Piranga flava***	-	✓
Pepitero	***Saltator aurantiirostris***	✓	✓
Gallito copetón	***Rhinocrypta lanceolata***	-	✓
Chingolo	***Zonotrichia capensis***	✓	✓
Tordo	***Molothrus spp.***	✓	✓
Zorzal chalchalero	***Turdus amaurochalinus***	-	✓
Hornero	***Furnarius rufus***	✓	✓
Hornerito copetón	***Furnarius cristatus***	✓	✓
Kakuy	***Nyctibius griseus***	-	✓
Picabuey	***Machetornis rixosus***	✓	✓
Piojito común	***Serpophaga subcristata***	-	✓
Tacuarita azul	***Polioptila dumicola***	-	✓
Monjita blanca	***Xolmis irupero***	✓	✓
Calandria	***Mimus spp.***	✓	✓
Chichero grande	***Drymornis bridgesii***	-	✓
Chinchero chico	***Lepidocolaptes angustirostris***	✓	✓
Trepador gigante	***Xiphocolaptes major***	-	✓
Carpintero lomo blanco	***Campephilus leucopogon***	-	✓
Carpintero bataraz chico	***Picoides mixtus***	✓	✓
Carpintero blanco	***Melanerpes candidus***	✓	✓
Carpintero real común	***Colaptes melanolaimus***	-	✓
Durmilí	***Nystalus maculatus***	-	✓
Picaflor común	***Chlorostilbon aureoventris***	✓	✓
Caburé chico	***Glaucidium brasilianum***	-	✓
Lechuza bataraz	***Strix rufipes***	-	✓
Lechuza de la vizcachera	***Athene cunicularia***	✓	✓
Lechuzón Coco	***Asio stygius***	-	✓
Atajacaminos	***Caprimulgus spp.***	✓	✓
Pirincho	***Guira guira***	✓	✓
Paloma picazuró	***Columba picazuro***	✓	✓
Paloma mediana	***Zenaida auricaulata***	✓	✓
Urpila	***Columbina picui***	✓	✓
Tero	***Vanellus chilensis***	✓	✓
Charata	***Ortalis canicollis***	✓	✓

Nombre común	Nombre científico	Conteo por puntos	Encuestas
Chajá	***Chauna torquata***	-	✓
Garza blanca	***Egretta spp.***	✓	✓
Chuña patas negras	***Chunga burmeisteri***	✓	✓
Chuña patas rojas	***Cariama cristata***	-	✓
Suri	***Rhea americana***	-	✓
Perdiz	***Nothura maculosa***	✓	✓
Perdiz chica	***Nothoprocta cinerascens***	✓	✓
Perdiz copetona	***Eudromia spp.***	✓	✓
Carancho	***Polyborus plancus***	✓	✓
Jote cabeza negra	***Coragyps atratus***	✓	✓
Halconcito colorado	***Falco sparverius***	-	✓
Halconcito gris	***Spiziapteryx circumcinctus***	✓	✓
Halcón plomizo	***Falco femoralis***	✓	✓
Águila coronada	***Harpyhaliaetus coronatus***	-	✓
Aguilucho colorado	***Heterospizias meridionalis***	-	✓
Gavilán patas largas	***Circus spp.***	✓	✓
Caracolero	***Rostrhamus sociabilis***	-	✓
Loro hablador	***Amazona aestiva***	✓	✓
Cala	***Aratinga acuticaudata***	✓	✓
Cata	***Myiopsitta monachus***	✓	✓
Urraca (anó)	***Chrotofaga ani***	✓	✓

El presente listado coincide con inventarios precedentes como Caziani y colaboradores (2003) y Capurro y Bucher (1988), difiriendo solamente por el registro del caracolero (*Rostrhamus sociabilis*) para el departamento Copo, aunque cabe aclarar que únicamente fue mencionado en las encuestas de los pobladores sin haber sido corroborado en los muestreos de campo.

A continuación, se presentan registros fotográficos de avifauna generados en las metodologías de conteo por puntos, transectas y cámaras trampa.



Figura 8. jote cabeza negra, pepitero, charata, chuña y chinchero, respectivamente.

4.5. Biodiversidad

4.5.1. Diversidad Alfa (a)

La tabla N° 5 presenta los cálculos del programa Estimates para distintos índices de la diversidad alfa. Los mismos son calculados para cada transecta en forma individual.

Tabla 5: Salida del software Estimates para los valores de índice alfa por transectas del área de estudio.

Muestras	Individuals (computed)	S(est) SD	Shannon Mean	Chao 1 95% CI Upper Bound	Cole Rarefaction	Shannon Exponential Mean	Simpson Inv Mean
1	11.4	1.21	1.58	6.32	6.62	4.86	4.76
2	22.8	1.08	1.86	29.92	9.07	6.45	5.55
3	34.2	0.97	1.88	31.31	10.39	6.54	5.42
4	45.6	0.92	2.07	62.04	11.31	7.93	6.64
5	57	0.91	2.2	22.53	12	9.06	7.75

A partir de los valores de los índices observados en la Tabla 5 podemos inferir en principio que existe una elevada diversidad de especies en el corredor. Si consideramos el índice de Simpson resaltamos que el sector de las transectas 1, 2 y 3 (más cercano al Parque Provincial Copo) presenta al interior de su comunidad un ensamble más equilibrado y equitativo, mientras que la zona de las transectas 4 y 5 presenta mayor dominancia de ciertas especies.

Existen pocas publicaciones para la región chaqueña en las cuales se exhiban como resultados los valores de índices de diversidad alfa o beta. En el trabajo de Kufner y colaboradores (2005) para la región del Chaco Seco en la Provincia de Córdoba se presentan valores del índice de Shannon-Wiener (H) para mesofauna que oscila entre 1,19 y 1,73, menores al encontrado en el presente trabajo de 2,2.

El informe final de línea de base de la Unidad de Conservación Copo (Parque Nacional, Parque Provincial y Reserva Provincial Copo) de Caziani y otros (2003), en lo referente al grupo taxonómico de mastofauna mediana y grande (>1 kg) establece que el bosque primario de quebrachos, sin perturbaciones humanas significativas registradas en el último siglo, es más biodiverso que el bosque secundario sometido a explotación forestal, ganadería e incendios periódicos. Esto concuerda con los valores de diversidad de los índices expuestos en la tabla 5, mostrando un incremento de la misma en cercanías de la Unidad de Conservación Copo.

5.5.2. Diversidad Beta (β)

La tabla N° 6 presenta los valores de diferentes índices beta, los cuales comparan la proporción de especies compartidas entre pares de ambientes.

Tabla 6: Salida del software Estimates para los índices de diversidad beta.

First Sample	Second Sample	Shared Species Observed	Jaccard Classic	Chao-Sorensen-Raw Abundance-based	Morisita-Horn	Bray-Curtis
1	2	3	0.375	0.683	0.759	0.632
1	3	4	0.571	0.852	0.873	0.7
1	4	4	0.5	0.676	0.606	0.5
1	5	4	0.364	0.586	0.609	0.56
2	3	4	0.5	0.809	0.894	0.762
2	4	4	0.444	0.5	0.373	0.381
2	5	5	0.455	0.692	0.646	0.538
3	4	5	0.625	0.749	0.5	0.455
3	5	6	0.6	0.769	0.683	0.593
4	5	7	0.7	0.857	0.759	0.667

De los valores observados en la Tabla 6 podemos tomar el índice de Jaccard para establecer que los ambientes que presentan una mayor similitud en cuanto a composición de especies son la combinación de la transecta N° 3 con las N° 4 y 5, es decir la más próxima al Parque Copo (3) con las más cercanas a Bañados de Figueroa (4 y 5). Esto es interesante ya que en el caso de las transectas 4 y 5 el índice marca algo que podría ser explicado desde el sentido común por estar localizadas en forma contigua en el territorio, sin embargo no es el caso de las combinaciones de 3 con 4 y 5 respectivamente, encontrándose distanciadas por más de 100 km, y presentando realidades ambientales diferentes.

El trabajo de Ayala y colaboradores (2000) para el Chaco Boliviano compara la diversidad y densidad de especies de mamíferos a través de censos por transectas para dos zonas con diferente intervención antrópica, una con cacería de fauna y la otra sin. Muestra curiosamente mayor diversidad de mamíferos para la zona con cacería y una disparidad en cuanto a la densidad de las diferentes especies en las dos áreas. En principio esto no se condice con los valores de diversidad beta de nuestro trabajo que arrojan una mayor similitud en la proporción de especies compartidas para ambientes más distantes y diferentes. Estas amplias variaciones en el comportamiento del índice podrían deberse al hecho de que la muestra (N) fue pequeña, por lo cual para futuras investigaciones sería necesario incrementar

la cantidad de transectas y/o kilómetros transitados a los efectos de constatar que existen variaciones estadísticamente significativas en la similitud / disimilitud de los ambientes.

5.6. Conectividad

Para el análisis de conectividad seleccionamos dos especies de mamíferos grandes, el puma (*Puma concolor*) y el guazuncho (*Mazama gouazoubira*). El primero presenta grandes ámbitos hogareños y distancias de dispersión, en tanto el cérvido no tiene grandes requerimientos de territorio.

- El Puma (*Puma concolor*; Linnaeus, 1771) tiene el rango geográfico más grande de cualquier mamífero terrestre de las Américas. A pesar de esta gran distribución, los pumas son una especie de consideración para la conservación y en declive a través de gran parte de su rango (Caso *et al.* 2008). Investigaciones en Norte América sugieren que la dispersión es crítica en el mantenimiento de la conectividad de poblaciones de pumas cada vez más fragmentadas (Beier, 1995; Sweanor *et al.* 2000; Stoner *et al.* 2006, Robinson *et al.* 2008). La dispersión del puma mantiene la diversidad genética a través del paisaje y es esencial en la revitalización de poblaciones pequeñas y la recolonización de hábitats en los cuales las poblaciones locales se habían extinguido (dinámica de fuente-sumidero) (Beier, 1995; Stoner *et al.* 2008). Distancias de dispersión largas por pumas a través de grandes trayectos por hábitats inhóspitos han sido bien registrados en Norte América (Logan & Sweanor 2001, Thompson & Jenks 2005). Los movimientos promedio diarios ± SD durante este período fueron 6.3 ± 6.58 km día-1; rango 0.36-23.61 (Elbroch, *et al.* 2009). Stoner *et al.* 2008, determinaron que el puma durante sus movimientos de dispersión atraviesa extensas regiones con múltiples obstáculos sin mayores problemas.

  El último paso necesario para determinar a escala de paisaje que áreas presentan o no menor o mayor grado de conectividad fue considerar las distancias de dispersión del puma mencionadas por otros autores y seguidamente compararlas con el valor promedio del índice ENN que aparece en la tabla N° 7 (~555 m). A partir de esto se establece que el Corredor Norte todavía puede contribuir para la viabilidad poblacional y la conectividad regional del puma.

- La corzuela parda muestra rechazo hacia los ambientes muy perturbados por el hombre. Leeuwenberg *et al.* 1999, establece que la especie usa muy poco hábitats extremadamente abiertos, pastizales pantanosos o bosques en galería cerrados. Un estudio de radiotelemetría en el Chaco Boliviano mostraron un ámbito hogareño de 25 a 35 hectáreas. El ámbito hogareño

del macho parece solaparse al de dos hembras, y su densidad fue estimada en 7 individuos/km²(Barrientos and Maffei, 2000).

Si bien no poseemos un valor neto de distancia de dispersión, tomaremos como referencia la superficie del home range, la cual responde a los movimientos diarios promedios de los individuos en busca de recursos. Por ende, al comparar con el índice ENN que para esta especie da un valor de 626.66 m, se establece en principio que grandes sectores del Corredor Norte no cumplirán con los requisitos necesarios para satisfacer la conectividad funcional de *Mazama gouazoubira*.

Tabla 7: Valores de salida del software Fragstats para alguno de los parches de hábitat del paisaje del puma. En rojo los índices de ENN.

PID	TYPE	AREA	PERIM	ENN
1	cls_1	68102.0409	732151.688	**508.792**
1649	cls_1	8756.254	107863.904	**719.5405**
1179	cls_3	3572.3963	83950.68	**763.188**
Promedio				**555.306**

No se encontraron análisis o modelos explícitos de conectividad de puma o guazuncha para la región Chaqueña. En la tesis de maestría de Gonzalez Saucedo (2011) se efectúa un modelo de conectividad funcional de *Puma concolor* para el centro de México a través de la identificación de corredores biológicos mediante la ruta de menor costo (LCPA), determinando zonas del paisaje con diferentes grados de permeabilidad para el desplazamiento de la especie. Al igual que sucede en la región chaqueña los hábitats óptimos van decreciendo, manteniéndose principalmente en áreas protegidas. Como en los resultados de nuestro modelo se estable que el puma presenta versatilidad para transitar por sectores de hábitat menos adecuados y con mayor degradación por presencia del hombre, siendo mayormente una dispersión forzada a través de pequeños parches aislados usados como peldaños o escalones entre zonas de mayor cobertura.

5. Conclusiones

- El Corredor Norte del nuevo OTBN provincial (2015), aún presenta muchas poblaciones de especies importantes desde la perspectiva de conservación de biodiversidad por estar catalogadas en retroceso, amenazadas o en peligro de extinción como *Puma concolor,* o también por ser endémicas del bioma como

Catagonus wagneri, lo cual le confiere importancia en el mantenimiento y contribución de la viabilidad de las mismas.

- Del análisis preliminar efectuado se desprende que el Corredor podría ser de utilidad para la conectividad funcional de especies de mamíferos grandes y de gran dispersión geográfica como el puma o el pecarí de collar, pero que podría presentar serias limitaciones en gran parte de su superficie para permitir la conectividad de especies con menor grado de movilidad como por ejemplo la guazuncha.
- En las incursiones de campaña para toma de datos se pudo constatar un incremento progresivo en las modificaciones de los ecosistemas boscosos del Corredor, entre las que podemos mencionar casos puntuales de desmontes de grandes superficies para usos agropecuarios (siembra de grano grueso y sistema silvopastoril) sin las autorizaciones correspondientes; como así también durante las transectas por picadas y caminos a lo largo y ancho del Corredor se pudo observar una intensa actividad de extracción forestal para postes, carbón y varillas, en particular de las especies de quebracho blanco (Aspidosperma quebracho-blanco) y colorado (Schinopsis quebracho-colorado), inclusive de individuos juveniles. Todo esto incide negativamente en la conservación, viabilidad y conectividad de la biodiversidad presente en el Corredor, atentando contra el objetivo principal del mismo.
- Se propone evaluar la posibilidad de construir infraestructura como los "pasos" de fauna y cartelería alusiva a la temática, tendiente a facilitar el movimiento seguro de animales silvestres a lo largo del tramo de la ruta provincial N° 92 que atraviesa el Corredor Norte.
- Es necesario profundizar la intensidad y periodicidad de los estudios y monitoreos a lo largo del Corredor Norte para ahondar en mayores conclusiones, y para que esta información sea de utilidad para los organismos encargados de su gestión. Además, sería importante continuar con las tareas de extensión e información destinadas a la población vinculada al Corredor, sobre los alcances e implicancias de este elemento de zonificación territorial.

Agradecimientos:

La Subdirección de Fauna y la Facultad de Ciencias Forestales desean agradecer profundamente la valiosa contribución de las familias de los parajes Valle Grande, Fátima, El Palmar, El Maján, 3 Leones y San Lorenzo, que no sólo compartieron vivencias e información general entorno a la temática de fauna, sino que también colaboraron activamente en la localización e instalación de los dispositivos de trampas-cámara.

6. Bibliografía

Altrichter M (2005) The sustainability of subsistence hunting of peccaries in the Argentine Chaco. Biological Conservation 126: 351–362.

Altrichter M (2006) Wildlife in the life of local people of the semi-arid Argentine Chaco. Biodiversity and Conservation 15: 2719–2736.

Altrichter, M. and Boaglio G. 2004. Distribution and relative abundance of peccaries in the Argentine Chaco: associations with human factors. Biological Conservation 116: 217-225.

Altrichter, M.; G. Boaglio and P. Perovic. 2006. The decline of jaguars Panthera onca in the Argentine Chaco. Oryx 40(3): 302-309.

Ayala, J., Noss, A., Cabrera, E., & Mercolli, C. (2000). Censos por transectas en el Chaco boliviano: Limitaciones biológicas y sociales de la metodología. *Manejo de Fauna Silvestre en Amazonía y Latinoamérica. CITES Paraguay, Fundación Moises Bertoni, University of Florida*, 29-36.

Baldi, G., & Paruelo, J. (2008). Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society*, *13*(2).*changes in South America. Sensors, 8(9), 5397-5425.ART/FAUBA al Banco Mundial.*

Baldi, G., Guerschman, J. P., & Paruelo, J. M. (2006). Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *116*(3), 197-208.

Baldi, G., Nosetto, M. D., Aragón, R., Aversa, F., Paruelo, J. M., & Jobbágy, E. G. (2008). Long-term satellite NDVI data sets: evaluating their ability to detect ecosystem functional.

Barbarán, F. R. 2000. Recursos alimenticios derivados de la caza, pesca y recolección de los Wichi del río Pilcomayo (provincia de Salta, Argentina), p. 507-527. En: Cabrera E, C.

Barrientos, S., & Maffei, L. (2000). Radio-telemetría de la hurina Mazama gouazoubira en el campamento Cerro Cortado, Izozog, Santa Cruz, Bolivia (pp: 369-372). *Manejo de fauna silvestre en Amazpnia y Latinoamerica. Asunción: CITES Paraguay, Fundación Moises*

BEIER P (1995) Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat. Journal of Wildlife Management 59: 228-237.

Beier, P. (1995). Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat. J. Wild. Mgmt. 59: 228–237.

Bennet, A.F. 1998. Linkages in landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. X+254 pp.

Bennett, G. 2004. Integrating Biodiversity Conservation and Sustainable Use: Lessons learned from Ecological Networks. UICN, Gland,Switzerland, and Cambridge, UK. Vi +55pp.

Bischoff, N.T. y Jongman, R.H.G. 1993. Development of rural areas in Europe: the claim for nature. Netherlands Scientific Council for Government Policy, Preliminary Report V79, p. 206 The Hage.

Bruchmann, E.T. 1981. Climatología general y agrícola de la Provincia de Santiago del Estero. Universidad Nacional de Tucumán, 199 p., Tucumán.

Caso A, C López-González, E Payan, E Eizirik, T De Oliveira, R Leite-Pitman, M Kelly, C Valderrama & M Lucherini (2008) Puma concolor. In: IUCN Red List of Threatened Species. URL:http://www.iucnredlist.org/.(accessed on 30 January 2009).

Capurro, H. A.; Bucher, E. H. (1988). Lista comentada de las aves del bosque chaqueño de Joaquín V. González, Salta, Argentina. Hornero 013 (01): 039-046.

Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., & Laidlaw, R. (2001). The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation*, *4*(1), 75-79.

Caziani, S., Trucco, C., Perovic, P., Tálamo, A., Derlindati, E., Adámoli, J., Lobo, F., Fabrezi, M., Srur, M., Quiroga, V., Martínez Oliver, M. (2003). Línea de base y programa de monitoreo de biodiversidad del Parque Nacional Copo. Informe Final. Administración de Parques Nacionales (APN) en el marco del Proyecto "Conservación de la Biodiversidad" (APN-GEF/BIRF).

Ceballos G, Simonetti J (2002) Diversidad y conservación de los mamíferos Neotropicales. CONABIO, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.

Conner, M.C., R.F. Labisky, y D.R. Progulske, Jr. 1983. Scent-station índices as measures of population abundance for bobcats, raccoons, gray foxes, and oposums. Wildlife Society Bulletin 11:146-153.

Cuéllar, E., Miserendino, R. S., & Noss, A. 1998. Introducción a los estudios biológicos en el Gran Chaco, Provincia Cordillera, Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, *31*, 1-15.

Debinski, D. M., C. Ray, and E. H. Saveraid. 2001. Species diversity and the scale of the landscape mosaic: do scales of movement and patch size affect diversity?. Biological Conservation 98:179–190.

Dinerstein, E., Olson, D. M., Graham, D. J., Webster, A. L., & Primm, S. A. (1995). *Conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean* (No. PB--96-116470/XAB). International Bank for Reconstruction and Development, Washington, DC (United States). Country Dept. I, Latin America and the Caribbean Regional Office.

Elbroch, M., Wittmer, H. U., Saucedo, C. R. I. S. T. I. Á. N., & Corti, P. A. U. L. O. (2009). Long-distance dispersal of a male puma (Puma concolor puma) in Patagonia. *Revista chilena de historia natural*, *82*, 459-461.

Eva HD, Belward AS, de Miranda EE, di Bella CM, Gond V, Huber O *et al.* (2004) A land cover map of South America. Global Change Biology 10: 731–744.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *34*(1), 487-515.

Forman, R. T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, *10*(3), 133-142.

Gasparri NI, Grau HR (2009) Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). Forest Ecology Management 258: 913–921.

Gershman, A. B. (2003, September). Robust adaptive beamforming: an overview of recent trends and advances in the field. In *Antenna Theory and Techniques, 2003. 4th International Conference on* (Vol. 1, pp. 30-35). IEEE.

Giraudo, A. R. y R. R Abramson. 1998. Usos de la Fauna Silvestre Por los Pobladores Rurales de la Selva Paranaense de Misiones. Tipos de Uso, Influencia de la Fragmentación y Posibilidades de Manejo Sustentable. Informe de Beca Reynal Nº 42 Boletín Técnico de la Fundación Vida Silvestre Argentina.

González Saucedo, Z. Y. (2011). *Conectividad funcional para el puma (Puma concolor) en el centro de México* (Doctoral dissertation).

Hoyos LE, Cingolani AM, Zak MR, Vaieretti MV, Gorla DE, Cabido MR (2013) Deforestation and precipitation patterns in the arid Chaco forests of central Argentina. Applied Vegetation Science 16: 260–271.

Kufner, M., Tamburini, D., Giraudo, L. y Briguera, V. (2005). Conservación de mastofauna en fragmentos de bosque chaqueño en la región de mar chiquita (córdoba, argentina). Ecología Aplicada, 4(1,2). ISSN 1726-2216.

Külvik, M. 2002. Ecological Networks in Estonia-conceps and applications. Tartu University Press, Tartu.

Leeuwenberg, F., Oliveira-Cabral, I., & Lara-Resende, S. (1999). Gray brocket deer (Mazama gouazoubira) in the brazilian savanne. *Deer Specialist Group News*, *15*, 14.

Lindborg, R., & Eriksson, O. (2004). Historical landscape connectivity affects present plant species diversity. *Ecology*, *85*(7), 1840-1845.

Linhart, S.B. y F.F. Knowulton. 1975. Determining the relative abundance of coyotes by scent station lines. *Wildlife Society Bulletin* 3:119-124.

Logan Ka & Ll Sweanor (2001) Desert puma: Evolutionary ecology and conservation of an enduring carnivore. Island Press, Washington. 463 pp.

MacGregor-Fors, I., Morales-Pérez, L., Quesada, J., & Schondube, J. E. (2010). Relationship between the presence of House Sparrows (Passer domesticus) and Neotropical bird community structure and diversity. *Biological invasions*, *12*(1), 87.

Marull, J., & Mallarach, J. M. (2005). A new GIS methodology for assessing and predicting landscape and ecological connectivity: Applications to the Metropolitan Area of Barcelona (Catalonia, Spain). *Landscape and Urban Planning*, *71*, 243-262.

Mercolli Y R Resquin (eds) Manejo de fauna silvestre en Amazonía y Latinoamérica. Ricor Graphic S.A., Asunción, Paraguay, 578p.

Moilanen, A., & Nieminen, M. (2002). Simple connectivity measures in spatial ecology. *Ecology*, *83*(4), 1131-1145.

Moilanen, A., Hanski, I., 2001. On the use of connectivity measures in spatial ecology. Oikos 95, 147–151.

Morello, J.; A.F. Rodríguez y W. Pengue, 2006. Evolución de aglomerados, e interacciones urbano rurales. El caso de la llanura chaco- pampeana argentina. En: Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural. El caso de la ecorregion pampeana, pp 36-71, Orientación Grafi ca Editora, Bs. As.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Nikolakaki, P. (2004). A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches. *Landscape and urban planning*, *68*(1), 77-94.

Ojeda RA, Bárquez RM, Stadler J, Brandl R (2008) Decline of mammal species diversity along the Yungas forest of Argentina. Biotropica 40: 515–521.

Ojeda RA, Borghi CE, Roig VG (2002) Mamíferos de Argentina. In: Ceballos G, Simonetti JA (eds) Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales. CONABIO, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.

Ojeda RA, Díaz G, Chillo V (eds; 2012) Libro Rojo de los Mamíferos Amenazados de la Argentina. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, Buenos Aires, Argentina.

Oreja, J. A. G., Regidor, C. B., Franco, D. B., Andrés, A., Ordaz, F. D., & Satín, L. H. (2007). Caracterización ecológica de la avifauna de los parques urbanos de la ciudad de Puebla (México). *Ardeola*, *54*(1), 53-67.

P Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J Hijmans, R., Huettmann, F., ... & A Loiselle, B. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*(2), 129-151.

Paruelo, J. M., Oesterheld, M., Del Pino, F., Guerschmann, J. P., Verón, S. R., Piñeiro Guerra, G., ... & Vasallo, M. (2004). Patrones Espaciales y Temporales de la Expansión de Soja en Argentina: Relación con Factores Socio-Económicos y Ambientales. *Informe fina.*

Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the priorization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, *21*(7), 959-967.

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F., & Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres.

Robinson Hs, Rb Wielgus, Hs Cooley & Sw Cooley (2008) Sink populations in carnivore management: Cougar demography and immigration in a hunted population. Ecological Applications 18: 1028-1037.

Sargeant, G. A., Johnson, D. H., & Berg, W. E. (2003). Sampling designs for carnivore scent-station surveys. *The Journal of wildlife management*, 289-298.

Saunders, D. A., Hobbs, R. J., & Margules, C. R. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation biology*, *5*(1), 18-32.

Schumaker, N. H. (1996). Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, *77*(4), 1210-1225.

Sepp, K. Y Kaasik, A. 2002. Development of Nacional Ecological Network in the Baltic Countries in the Framework of the Pan-European Ecological Network. UICN regional Office for Central Europe, Warsaw.

Stephens, P.A., O. Y. Zaumyslova, D. G. Miquelle, A. I. Myslenkov y G. D. Hayward. 2006. Estimating population density from indirect sign: track counts and the Formozov-Malyshev-Pereleshin formula. *Animal Conservation* 9:339-348.

Stoner Dc, Ml Wolfe & Dm Choate (2006) Cougar exploitation levels in Utah: implications for demographic structure, population recovery, and metapopulation dynamics. Journal of Wildlife Management 70: 1588-1600.

Stoner Dc, Wr Rieth, Ml Wolfe, Mb Mecham & A Neville (2008) Long-distance dispersal of a female cougar in a basin and range landscape. Journal of Wildlife Management 72: 933-939.

Sweanor Ll, Ka Logan & Mg Hornocker (2000) Cougar dispersal patterns, metapopulation dynamics, and conservation. Conservation Biology 14: 798-808.

Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., Merriam, G., 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos 68 (3), 571573.

Theobald, D.M., 2006. Exploring the functional connectivity of landscape using landscape networks. In: Crooks, K.R., Sanjayan, M. (Eds.) Connectivity Conservation. Cambridge University Press, New York, pp. 416-443.

Thompson Dj, & Ja Jenks (2005) Long-distance dispersal by a subadult male cougar from the Black Hills, South Dakota. Journal of Wildlife Management 69: 818-820.

Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, *90*(1), 7-19.

Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, *90*(1), 7-19.

Trolle, M. y M. Kéry. 2003. Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. Journal of Mammalogy 84: 607-614.

Vicens L, 2009. Fuentes y Adquisición de Datos: Lección 9, Clasificación de Imágenes, Programa UNIGIS de Postgrado y Master Internacional a distancia en Sistemas de Información Geográfica, UNIGIS Girona, Universitat de Girona 9ª Edición, 2009, 15 p.

Wilson, E. O., & MacArthur, R. H. (1967). The theory of island biogeography. *Princeton, NJ*.

Wilson, G. J., & Delahay, R. J. (2001). A review of methods to estimate the abundance of terrestrial carnivores using field signs and observation. *Wildlife Research*, *28*(2), 151-164.

Capitulo 12

Biodiversidade domesticada no contexto agroflorestal brasileiro e argentino

Crespo Silva. I.[1]; R. Carreras[2] y E. F. Cisneros[2]

Resumo

São descritos alguns aspectos evolutivos e conceituais da domesticação de plantas e sua relação com a agricultura e com a agrossilvicultura, alguns fatores que estabelecem e vinculam a fitodomesticação com os sistemas agroflorestais e suas possibilidades culturais, assim como contextos brasileiros e argentinos em relação ao tema.

Palavras-chave: seleção de plantas, sistemas agroflorestais, Brasil, Argentina

Abstract

They are described some evolutionary and conceptual aspects of the plants domestication and your relationship with the agriculture and agroforestry areas, factors that establish link between plant domestication and agroforestry systems and your cultural possibilities, as well Brazilian and Argentine contexts in relation to the theme.

Key – words: plants domestication, agroforestry systems, Brazil, Argentina

Introdução

Diversas espécies de plantas, em diferentes contextos culturais e geográficos, são apontadas como pioneiras no processo que se convencionou chamar de domesticação. Para muita gente, a oliveira (*Olea europaea*), planta típica de ambiente mediterrâneo, é a espécie arbórea que primeiro foi domesticada em função de

[1] Pesquisador/Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil.
[2] Docentes da cátedra de Melhoramento Florestal da Universidade Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina.

ofertar produtos comestíveis, como a azeitona e o azeite, apreciados desde tempos pretéritos.

Embora se considere interessante discutir sobre qual a primeira planta a ser submetida pelo homem, no presente capítulo, a abordagem será sobre a questão central que norteia a conhecida peleja: a domesticação de plantas em seu sentido amplo.

De uma maneira geral, considerando-se a dinâmica gradual pela qual a domesticação de plantas se dá, talvez seja melhor defini-la a partir do verbo e não do substantivo, aquele tipifica melhor a expressão impositiva do homem, ou seja, domesticar é o mesmo que fazer ou criar meios para que uma determinada espécie se adapte à convivência ou à coexistência humana e ser espécie domesticada é atender aos preceitos necessários à condição de adaptada, tendo em vista o atendimento de necessidades das pessoas, com tudo o que isto significa e implica.

E o significado não é pouco para a espécie eleita, pois a domesticação resultante significa adaptação à vida em associação íntima com o homem a partir de modificações induzidas sobre o seu desenvolvimento e outros aspectos característicos de origem, representando por um lado, da espécie, perda e por outro, do domesticador, ganho. No decorrer de anos, muitas espécies perderam a capacidade de sobrevivência em condições naturais e dependem da ação humana para se perpetuarem (PATERNIANI, 2001). O grau desta dependência é implicitamente proporcional ao nível de domesticação atingido.

Nesse contexto, o conceito de domesticação de plantas, *lato sensu*, envolve um universo muito amplo de perspectivas e possibilidades, que contempla distintos aspectos como o melhoramento de plantas para atender interesses humanos.

Na atualidade, além do melhoramento em busca de características desejáveis, a domesticação pode incluir entre suas interfaces balizadoras a identificação e o desenvolvimento de mercados, o desenvolvimento de técnicas silviculturais e agronômicas, os sistemas de abastecimento de germoplasma, a geração e a difusão de informações técnicas. Desta maneira, a domesticação de plantas internaliza uma concepção integral para o desenvolvimento de espécies subutilizadas, integrando componentes essenciais como a genética, o manejo, o mercado e outros aspectos relacionados (CORNELIUS; GUERRA 2010).

De uma maneira geral, sabe-se que o processo de domesticação, em termos históricos, ocorreu no mundo, e ainda ocorre a partir da identificação ou seleção de um produto ou serviço na natureza, propiciado por uma ou mais espécies, considerados de forte interesse para grupamentos sociais (HEISSER Jr., 1977; SMITH, 2001).

Dessa maneira, a domesticação de plantas é um processo dinâmico, em aberto, vinculado e impulsionado por necessidades humanas diversas. A sociedade como um todo, em particular com o impulso propiciado pelos avanços do conhecimento científico, tem se beneficiado muito dos resultados ofertados pelas variedades domesticadas.

Historicamente, as etapas que se sucedem no processo de domesticação seguem um roteiro conhecido: coleta de plantas selvagens; cultivo e colheita sistemática destas plantas; e por fim o melhoramento de suas características (Figura 1) com vistas à manutenção e/ou desenvolvimento de produtos e serviços de interesse.

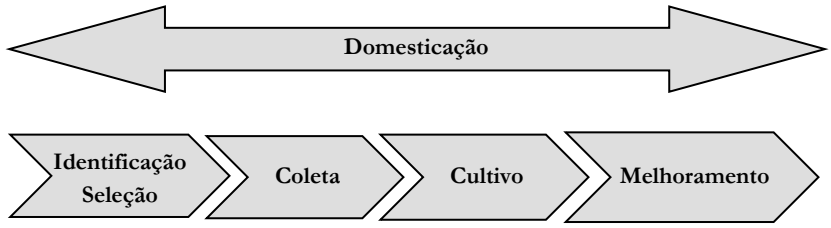


Figura 1. Etapas sucessionais da domesticação de plantas

O histórico da domesticação de plantas, por analogia, se relaciona diretamente com a história da agricultura, possivelmente sendo eventos paralelos impulsionados pela busca do controle de distintas espécies (PRICE, 2000), correspondendo praticamente à causa e efeito. No caso particular das espécies arbóreas, ao que tudo indica, sua domesticação seguiu a conjetura comum, principalmente daquelas espécies usadas na alimentação, como fruteiras e produtoras de nozes, sendo contemporânea à domesticação das espécies agrícolas (CORNELIUS; UGARTE, 2010).

No continente asiático desenvolveu-se especialmente a cultura do arroz (*Oryza sativa*), a soja (*Glicine max*), o pêssego (*Prunus persica*) e alguns chás. Na Europa, a maçã (*Malus domestica*), a pêra (*Pyrus communis*), a alface (*Lactuca sativa*), a cebola (*Allium cepa*) e a uva (*Vitis sp.*). Na África, espécies como o sorgo (*Sorghum bicolor*), o milheto (*Pennisetum glaucum*), o arroz africano (*Oryza glaberrima*), a melancia (*Citrullus lanatus*) e algumas palmeiras, além de forragens para alimentação de animais e espécies para rituais e cerimoniais.

Na América do Norte, o girassol (*Helianthus annuus*), o tabaco (*Nicotiana tabacum*), a abóbora (*Curcubita spp.*), o tomate (*Solanum lycopersicum*) e a batata doce (*Ipomea batatas*). Na América do Central e do Sul, o milho (*Zea mays*), o algodão (*Gossypium hirsutum*), o abacate (*Persea americana*), o mamão (*Carica papaya*), o cacau (*Theobroma cacao*), o café (*Coffea arábica*) e a banana (*Musa spp.*), além de variedades de batatas (*Solanum tuberosum*), são exemplos reconhecidos de plantas domesticadas e de uso amplamente disseminado.

Em termos mundiais e apontando para a perspectiva de domesticação, se estima que existem pelo menos 60 mil espécies arbóreas (GRANDTNER, 2006) das quais entre 2500 e 3500 foram registradas como espécies de interesse florestal e agroflorestal (SIMONS; LEAKEY, 2004). Neste contexto, o Painel de Especialistas da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) relaciona 500 espécies com importância florestal e/ou alimentícia (FAO, 2011). Enquanto que a Rede LAFORGEN (*Red Latinoamericana para la Conservación de los*

Recursos Genéticos Forestales) evidencia em torno de 100 espécies prioritárias para conservação e domesticação na América Latina e Caribe (GALLO, 2013). Este cenário mostra um amplo potencial para o desenvolvimento de ações de domesticação, particularmente no que se refere a processos de melhoramento genético.

A domesticação nos dias atuais

Os princípios intuitivos adotados para a domesticação de plantas no passado e que ainda são mantidos por grupos indígenas e agricultores de unidade familiar, foram ao longo do tempo sendo modificados com a agregação de novas tecnologias e aparatos laboratoriais modernos.

É nesse contexto, de inovação tecnológica e também de demandas sociais crescentes, que surge uma nova fase da domesticação: o melhoramento genético aprimorado com amplas possibilidades para atender demandas por bens e serviços. Neste sentido, o melhoramento é um processo contínuo no qual os recursos genéticos são manejados em ciclos recorrentes de seleção e recombinação para lograr em curto prazo o aumento de produtividade e de adaptação das espécies em distintas condições ambientais (Figura 2).

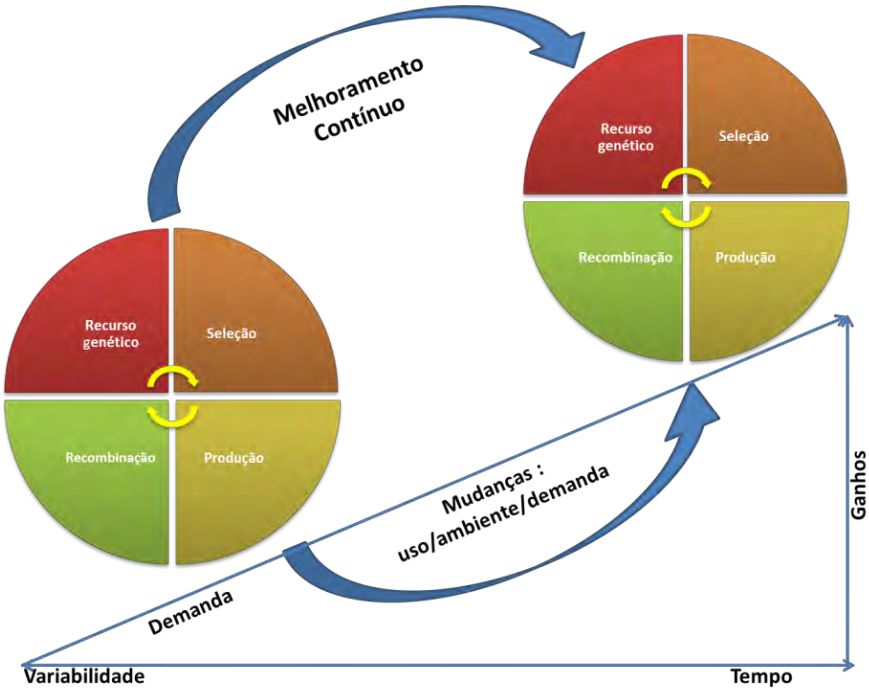


Figura 2. Perspectiva do melhoramento genético como um processo contínuo frente a mudanças diversas

Na medida em que uma espécie avança nos ciclos inerentes do melhoramento e que os objetivos previstos se mostram cada vez mais factíveis, as ações se aprofundam e se intensificam para garantir aspectos como aumento de produtividade, maior qualidade de produtos, resistência a enfermidades, adaptação a manejos específicos e ao uso de maquinários, etc.

O advento de novas práticas agronômicas, bem como de novos conhecimentos e métodos no campo da genética e do melhoramento de plantas, particularmente daqueles relacionados com a clonagem vegetal possibilitaram acelerar e ampliar os processos de domesticação, com participação decisiva na economia dos povos a partir da agregação de valor em diversos seguimentos de interesse das pessoas e das indústrias (produção de alimentos, produção de fármacos e/ou de cosméticos, manejo e produção florestal e agronômica, etc.), servindo também como base para garantir padrões quali-quantitativos dos produtos disponibilizados.

Os novos métodos para seleção e melhoramento de plantas estão inseridos no âmbito da biologia e da genética molecular, sendo mais complexos e exigentes em conhecimento especializado para aferir ou comprovar a expressão gênica das plantas.

Esses métodos têm como base o uso de marcadores moleculares, que correspondem a fragmentos de ácido desoxirribonucleico (DNA), os quais contem informação genética do indivíduo que permitem gerar perfis característicos no nível de genoma, sendo similares as impressões digitais (com padrão único por indivíduo), sem influência do meio e nem da idade do indivíduo (MARCUCCI; GALLO, 2016).

Nesse contexto, as principais técnicas usadas são AFLP (*Amplified Fragment Lenght Polymorphism*), RAPD (*Randon Amplification of polymorphic* DNA), RFLP (*Restriction fragments lengh polymorphics*), SSR (*Simple Sequence Repeats* o Microsatélites) e SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*). O uso dessas técnicas tem possibilitado diminuir o tempo de obtenção de resultado nos programas de melhoramento quando comparados com os métodos tradicionais baseados na seleção fenotípica. Possibilitam ainda o aperfeiçoamento do processo de seleção, com ajustes de análises estatísticas e obtenção de valores de predição para possíveis ganhos genéticos.

A base de todo o processo, porém, continua sendo a seleção baseada tanto em atributos fenotípicos, como genotípicos. É selecionando a planta e suas características originais, mantendo-as estáveis em condições de cultivo, que se pode modificá-las para atender novos ou velhos interesses. Por outro lado, deve-se considerar que os efeitos da diversidade genética são de extrema importância e devem ser considerados quando da domesticação e melhoramento de espécies.

Um programa de melhoramento requer informação básica sobre a base genética das plantas: variabilidade morfológica e genética (via análise de isoenzimas ou marcadores moleculares); herdabilidade (a proporção do genótipo que é devida à herança dos pais); biologia reprodutiva; fisiologia de crescimento; propagação

(para que as melhores plantas possam ser propagadas diretamente); susceptibilidade e resistência a pragas e doenças; e qualidades químicas e organolépticas, assim como do ambiente de sua ocorrência natural (habitat).

Como é sabido, manipular espécies vegetais sempre foi importante para o gênero humano e indissociável de sua historia, sendo vital para o mundo contemporâneo. Sabe-se também que a base genética das diferentes espécies domesticadas ou em processo de domesticação ou ainda em conjecturas para tal é a matéria prima essencial para os diversos propósitos da domesticação e do melhoramento. Com isto, preservar e conservar a base genética das espécies é tão importante quanto desfrutar da mesma.

É por isso que um dos objetivos fundamentais de um programa de melhoramento bem planejado, em longo prazo é a conservação da diversidade genética existente. Este aspecto tem grande importância porque possibilita ao longo do tempo gerar novos ciclos de seleção e recombinação, bem como dar respostas a mudanças no uso e na demanda de bens e serviços estabelecidos pelos recursos genéticos, assim como adaptação das espécies a mudanças climáticas.

No entanto, o aumento de demandas de consumo e a intensificação de processos de melhoramento convencional para fornecer determinados produtos de poucas espécies, associados ao uso de insumos químicos e a formação de grandes oligopólios na cadeia das sementes, têm provocado perda significante de variabilidade e diversidade estabelecendo fortes processos de erosão genética e também cultural, quando se considera o conhecimento tradicional vinculado às espécies originais e ao seu uso por distintas comunidades de pequenos produtores brasileiros e argentinos.

A perda da diversidade genética relaciona-se diretamente com os casos de fome, miséria e falta de segurança alimentar e passou a fazer parte das agendas dos países, acarretando diferentes estratégias e acordos internacionais com a finalidade da conservação e uso sustentável da biodiversidade em comunidades locais (MACHADO, 2014).

Com o objetivo de minorar o impacto da perda de diversidade genética e ao mesmo tempo continuar a busca por novas variedades de plantas e produtos, ganhas cada vez mais adeptos o chamado melhoramento participativo de plantas (MPP), que é uma estratégia que consiste no resgate, avaliação, caracterização, seleção e conservação dos recursos genéticos feitos em parceria com comunidades regionais de pequenos produtores (MACHADO; TOLEDO, 2007) conforme esquema mostrado na Figura 3.

O MPP tem como perspectiva o ganho de produtividade (comum ao melhoramento convencional), a conservação e promoção do aumento da biodiversidade (promoção da variabilidade genética), obtenção e uso de germoplasma[1] de adaptação local (variedades modernas ou locais, dependendo

[1] Conjunto de material genético ou de genes capaz de perpetuar as características intraespecíficas inerentes de uma espécie.

dos objetivos), seleção dentro de populações, avaliação experimental de variedades (também denominada seleção participativa de variedades), lançamento e divulgação de novas variedades, diversificação do sistema produtivo e produção de sementes (MACHADO, 2014). O MPP, adicionalmente, promove a valorização das comunidades locais, que atua como sujeito do processo, e o reconhecimento do seu importante papel na conservação e no uso da biodiversidade.

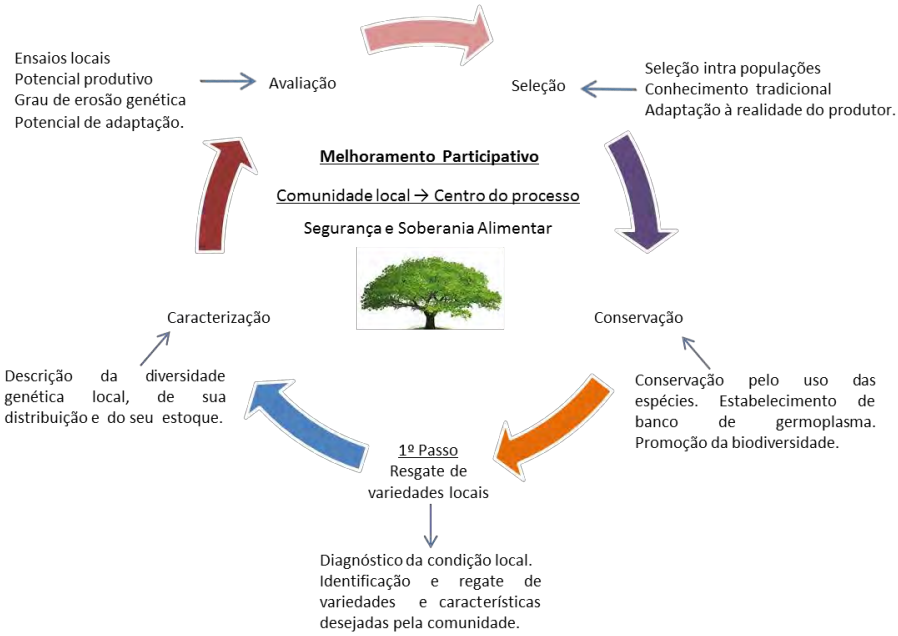


Figura 3. Esquema com considerações para o melhoramento participativo de plantas (MPP) com inicio no resgate de variedades locais e de características indicadas pela comunidade.

Nos dias atuais, muitas plantas, com particular destaque para as arbóreas, apresentam história recente de domesticação promovida, de uma maneira geral, por fortes demandas econômicas nacionais e internacionais. Assim, a noz macadâmia (*Macadamia integrifólia*), a noz pecan (*Carya illinoinensis*), o cedro australiano (*Toona ciliata*), entre outras plantas lenhosas arbóreas, são exemplos recentes de plantas domesticadas ou em processo de domesticação.

Progresso significativo também foi obtido durante os últimos anos com a introdução de novos germoplasmas de árvores para a produção de madeira de lei, assim como na regeneração de plantas com uso de organogênese e embriogênese somáticas para espécies economicamente importantes.

Nos métodos de seleção, domesticação e melhoramento o homem tanto se torna parceiro da natureza aproveitando alterações ocasionais visíveis na estrutura e no

comportamento das espécies, como pode se antecipar a ela, com novas tecnologias, induzindo mudanças genéticas para assegurar maiores rendimentos e novos produtos.

No âmbito de inovação de tecnologias, projeto de pesquisa desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade de Münster (WWU) da Alemanha, propõe uma nova abordagem para melhoramento da espécie *Solanum galapagense*, tomate selvagem das Ilhas Galápagos resistente à salinidade, mas de frutos muito pequenos (Figura 4); por esse enfoque, em vez de seguir os passos convencionais da domesticação com o objetivo aumentar os frutos e manter a tolerância à salinidade, os pesquisadores usarão genes conhecidos que induzem o aumento do tamanho de outros tomates diretamente na espécie selvagem, mantendo suas características originais e agregando a nova característica desejável, com considerável perspectiva de ganho de tempo (FOLHA UOL-CIÊNCIA, 2017)



Figura 4. Tomate selvagem *Solanum galapagense* (amarelo) em programa de melhoramento para aumento de tamanho do fruto. Fonte: www1. folha uol.com.br/ciencia/ 2017/11/1933611

Domesticação de Plantas no Brasil

O Brasil é detentor de uma imensa biodiversidade, está entre os países chamados de megabiodiversos, tendo posição privilegiada em se tratando da multiplicidade de plantas (MMA, 2017). O país, que tem na diversidade de espécies uma das maiores riquezas nacionais, contempla cerca de 20% das plantas do planeta. Com muitas espécies endêmicas, o Brasil tem hoje entorno de 45 mil plantas superiores descritas, correspondendo a aproximadamente 22% do total mundial. Os principais fatores de influência da biodiversidade brasileira são a dimensão continental do país, mais de 8 milhões de Km² e o clima diferenciado de seu território, principalmente das zonas tropicais úmidas.

Nessas zonas, destaca-se o bioma amazônico com a maior floresta tropical do mundo. Das 100 mil espécies de plantas estimadas para a América Latina, cerca de 40 mil estão na Amazônia. É tanta a riqueza vegetal presente na região amazônica, que em cada hectare pode-se encontrar de 40 a 300 espécies arbóreas.

No entanto, embora sobre muitas dessas plantas já se tenha conhecimento acumulado, grande parte das espécies nativas precisa ser estudada, conservada e em muitos casos domesticada para possibilitar o aproveitamento efetivo e extensivo dos seus benefícios pelas pessoas.

No entanto, sabe-se que realizar o melhoramento genético de espécies nativas é tarefa complexa e exaustiva. No caso, ênfase deve ser dada à biologia reprodutiva e aos métodos de propagação dessas espécies, as quais, genericamente, apresentam mecanismos de reprodução pouco conhecidos e, muitas vezes, dificuldades na produção de sementes, aspectos que condicionam o estabelecimento de programas de melhoramento e de conservação genética.

A seguir, são relacionadas algumas importantes espécies nativas, com importância socioeconômica destacada em termos regionais, nacionais ou internacionais, com distintas condições de domesticação, parte apenas no estágio de domesticada, outras com processos iniciais de melhoramento e as demais com estágio mais avançado de melhoramento, incluindo o desenvolvimento de clones no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplos de lenhosas nativas e comerciais domesticadas ou em processo de domesticação no Brasil

Espécie	Nome popular	Condição	Produto	Mercado
Bactris gasipaes	Pupunheira	DMi	Fruto Palmito	RNI
Theobroma gradiflorum	Cupuaçuzeiro	DMi	Fruto Manteiga	RN
Paullinia cupana	Guaranazeiro	D	Fruto	RNI
Hevea brasiliensis	Seringueira	DMC	Látex	RNI
Euterpe oleracea	Açaizeiro	D	Fruto Palmito	RNI
Betholetia excelsa	Castanha-do-pará	D	Fruto Madeira	RNI
Theobroma cacao	Cacaueiro	DMC	Fruto Manteiga	RNI
Anacardium occidentale	Cajueiro	DMC	Fruto	RNI
Mimosa scabrella	Bracatinga	D	Lenha Madeira	R

D=domesticada; DMi= domesticada com inicio de melhoramento; DMC=domesticada com clonagem; RNI= mercado regional, nacional e internacional

Apesar dos avanços obtidos com a domesticação de espécies nativas no Brasil, grande parte dessa riqueza de espécies, presente nas diversas regiões do país, ainda permanece subutilizada, particularmente em razão de padrões culturais impostos e fortemente internalizados, que privilegiam produtos e cultivos exóticos. Por outro lado, os mercados mais expressivos, tanto nacionais como internacionais, demandam cada vez mais por novas opções de produtos, razão pela qual os recursos biológicos e genéticos brasileiros apresentam enorme potencial para satisfazer estas demandas de mercado e gerar riquezas.

Por outro lado, quando se considera os cultivos das espécies exóticas no Brasil, a realidade é completamente distinta, estes recebem forte atenção de pesquisas tecnológicas com resultados relevantes. Neste aspecto, o uso da biotecnologia tem sido intensificado, fazendo com que o país se destaque mundialmente em relação ao melhoramento genético logrado no que se refere à produção e a produtividade relativa quando comparado com outros países.

Espécies exóticas comerciais melhoradas no Brasil

São muitos os exemplos de espécies exóticas melhoradas no país, a maioria se refere a cultivos de elevado significado econômico, os quais são direcionados principalmente para a exportação. A seguir são relacionados alguns desses cultivos historicamente destacados.

Coffea arábica e Coffea conilon (Café)

Maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor do produto no mundo, o Brasil obteve grande progresso em melhoramento genético da espécie (*Coffea arábica* e *C. conilon*)c; foi realizado o sequenciamento do genoma café e o desenvolvimento de 31 variedades de cultivares de alta produtividade e resistência às principais pragas e doenças; em 2016 a safra brasileira alcançou 51,37 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado; a área plantada (conilon e arábica) totaliza 2.223.464,1 hectares e a produtividade estimada é de 26,33 sc/ha (CONAB, 2016).

Zea mays (Milho)

A produtividade do milho no Brasil evoluiu de 1.632 kg na safra 1976/77 para os atuais 5.409 kg por hectare na safra 2016, com um aumento de produtividade da ordem de 231,5% nos últimos 40 anos, o que representa um crescimento médio anual de 5,8%. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com 8% do total produzido no mundo, equivalente a 86 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

Glycine max (Soja)

Até 1970 o Brasil não tinha expressão no plantio de soja, com apenas 2% da produção mundial; em 2.000 produziu 20% desse tipo de grão. Em 1961 a produtividade era de 1.127 kg/ha, chegando em 1998 a 2237 kg/ha, correspondendo a um aumento anual de 31,6 kg/ha/ano, ou seja, um ganho de 1200 kg/ha em 38 anos de pesquisa (VENCOVSKY; RAMALHO, 2000). Em 2016/2017 a produção foi de 113,923 milhões de toneladas em uma área plantada de 33, 890 de hectares, com uma produtividade média de 3.362 kg/ha (EMBRAPA SOJA, 2017).

Oryza sativa (Arroz)

Na safra 2015/16, o Brasil produziu 10.602,9 mil toneladas de arroz, sendo o Rio Grande do Sul responsável por aproximadamente 70% desse montante. Isso contabiliza 8,07 milhões de toneladas, fato que caracteriza o estado como maior produtor desse cereal. A área plantada foi de 1,08 milhão de hectares, com produtividade de 7.466 kg/ha (CONAB, 2016).

Phaseolus vulgaris (Feijão)

O Brasil se destaca como maior produtor e maior consumidor de feijão, produzindo, como resultado de progresso genético, em média 942 Kg/ha em uma área total de 3.600.500 ha nos últimos dois anos, resultando em 3.391.500.000 Kg/ano (CONAB, 2011).

Fruteiras de clima temperado

Produção de variedades de frutas de clima temperado, como maçã (*Pyrus malus*), pera (*Pyrus communis*), pêssego (*Prunus persica*), nectarina (*Prunus persica* var. *nurcipersica*), ameixa (*Prunus domestica*), figo (*Ficus carica*), moranguinho (*Fragraia vesca*) e nozes europeias. De especial significado foram os sucessos obtidos a partir de melhoramento genético, associado com manejo agrícola apropriado, com maçã, pêssego, pera e ameixa, originalmente não adaptáveis às condições climáticas do Brasil, uma vez que requerem longos períodos de baixas temperaturas para a indução do florescimento.

*Eucalyptus sp. (*Eucalipto)

Introduzido da Austrália na segunda década do século XX, o eucalipto tornou-se a madeira mais importante para uso generalizado no Brasil, particularmente para o setor de papel e celulose. Dos 6,66 milhões de hectares de florestas plantadas no País, 5,10 milhões de hectares são de eucalipto, com ênfase para os plantios de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e híbridos dessas duas espécies. Seleção

genética conduzida tanto por instituições públicas quanto privadas proporcionaram progressos significativos nas últimas décadas em razão do melhoramento genético das espécies clonais, que passaram da média de 20 m³ /hectare/ano na década de 1970 para 41 m³/hectare/ano em 2014 (SANTI, 2014). Atualmente, com base em avançadas tecnologias em silvicultura e melhoramento genético, a produtividade do eucalipto pode atingir cerca de 60m³/ha, em rotações de sete anos (SFB-SNIF, 2017). O eucalipto geneticamente modificado (clones gerados a partir da alteração do DNA) tornou-se uma opção de solução no planejamento estratégico das empresas, o mesmo vale para os resultados obtidos com o sequenciamento do genoma da espécie.

Pinus sp. (Pinus)

O melhoramento genético de Pinus é feito visando à produção de papel, celulose e madeira serrada (*Pinus elliottii, Pinus taeda*) e produção de resina (*P. elliottii*). O Brasil é o segundo maior produtor de resina do mundo, sendo as regiões sul e sudeste o maior polo de plantios florestais de espécies do gênero Pinus. A produtividade pode variar de 15 a 50 m³/hectare/ano em função de classes de solo, clima, espécie, melhoramento genético, pragas e doenças e do manejo praticado (IPEF, 2016). Dentre as espécies mais usadas, o *P. elliottii* é a principal na produção comercial de resina, sendo responsável por 64% da produção nacional (ANTONELLI, 2017).

Outras espécies

Inúmeras outras espécies fazem parte de programas de melhoramento genético em diferentes estágios de evolução, destacando-se pela importância socioeconômica que evidenciam a Seringueira (*Hevea brasiliensis*), o Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), o Palmito Juçara (*Euterpe edulis*), várias hortaliças, em especial visando adaptação ao verão, e diversas tipologias de *citrus*, sendo o Brasil líder mundial na exportação de suco de laranja (*Citrus sinensis*).

Domesticação de Plantas na Argentina

Na Argentina, são poucas as espécies florestais nativas que dispõe de um histórico de plantações e que tenham participado de programas de melhoramento. De uma maneira geral, as espécies sobre as quais houve acúmulo de conhecimento genético são aquelas de maior reconhecimento econômico como ocorre na maioria dos países. Há que se considerar nesse contexto, que o desenvolvimento de programas de melhoramento demanda um largo tempo e custos elevados, o que condiciona o seu uso extensivo.

A seguir são mostradas espécies lenhosas dos gêneros *Prosopis*, *Nothofagus, Cedrela, Araucaria e Salix*, de reconhecimento econômico nacional e internacional, que apresentam um bom nível de domesticação (GALERA, 2000; LÓPEZ, 2005; VERGA, 2005*;* ROTUNDO *et al.,* 2014; PASTORINO *et al.,* 2016.; FORNES *et al.,* 2016) conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Lenhosas nativas domesticadas na Argentina

Espécie	Nome popular	Condição	Uso	Mercado
Prosopis alba	Algarrobo blanco	DMC	Madeira, lenha fruto, forragem	RNI
Prosopis nigra	Algarrobo negro	DMI	Madeira, lenha fruto, forragem	RN
Prosopis chilensis	Algarrobo branco	DMI	Madeira, lenha fruto, forragem	RNI
Prosopis flexuosa	Algarrobo dulce	DMI	Madeira, lenha fruto, forragem	RNI
Prosopis hassleri	Algarrobo paraguayo	DMI	Madeira, lenha Fruto, forragem	RNI
Cedrela angustifolia	Cedro coya	DMI	Madeira	RNI
Cedrela balansae	Cedro orán	DMC	Madeira	RNI
Cedrela fissilis	Cedro misionero	DMI	Madeira	RNI
Araucaria angustifolia	Pino paraná	DMI	Madeira, semente (alimentación)	RNI
Nothofagus nervosa	Raulí	DMC	Madeira	RNI
Nothofagus obliqua	Roble pellin	DMC	Madeira	RNI
Nothofagus pumilio	Lenga	DMI	Madeira, ornamental	RNI
Nothofagus antarctica	Ñire	DMI	Lenha, ornamental	RNI
Salix humboldtiana	Sauce criollo	DMC	Madeira	RNI

DMi= domesticada com inicio de melhoramento; DMC=domesticada com clonagem; RNI= mercado regional, nacional e internacional

Outras espécies, de menor expressão comercial, com produtos de uso doméstico em escala local e/ou regional, mas de grande potencial econômico, são reconhecidas e ressaltadas no meio popular e técnico-científico argentino conforme é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Espécies nativas de interesse para domesticação em função de potencial econômico e ecológico na Argentina

Espécie	Nome popular	Condição*	Uso	Mercado*
Prosopis ruscifolia	Vinal	D	Madeira, gomas forragem	RN
Geoffroea decorticans	Chañar	D	Lenha, frutos forragem	RNI
Zyziphus mistol	Mistol	D	Lenha, frutos, tinta forragem	RNI
Prosopis kuntzei	Itín	D	Madeira,medicinal forragem	RN
Caesalpinia Paraguariensis	Guayacán	D	Madeira, medicinal, tinta	RN
Cercidium praecox	Brea	D	Goma, lenha	RNI
Acacia aroma	Tusca	D	Lenha, medicinal, forragem,ornamental	RN

Fonte: Aronson; Toledo, 1992; Eynard *et al.*, 2002; Verga, 2005; Bravo *et al.*, 2006; Cardozo *et al.* 2011; Bertuzzi; Slavutsky; Armada, 2012. *D=domesticada; RN= Mercado nacional, RNI= mercado regional, nacional, internacional.

Espécies exóticas comerciais melhoradas na Argentina

Pinus sp e *Pseudotsuga sp.*: introduzidas em 1960; as principais espécies cultivadas pelo seu alto rendimento e qualidade da madeira são *Pinus taeda, P. elliottii, P. patula, P. ponderosa* e *Pseudotsuga menziesii.* Estas espécies contam com programas de melhoramento avançados, material adaptado para distintas zonas ecológicas e desenvolvimento de híbridos com desempenho superior em volume e forma como *P. caribaea var. hondurensis, P. elliottii var. elliottii x P. caribaea var. hondurensis* e *P. greggii var. greggii* (GAUCHAT *et al.* 2016).

Eucalyptus sp (Eucalipto): as primeiras plantações comerciais de Eucalyptus datam de 1946. As principais espécies introduzidas são: *E. grandis, E. dunnii, E. camaldulensis y E. tereticornis, E. globulus* e *E. viminalis.* Contam com programas de melhoramento avançados que possibilitaram ciclos de corte de 12 a 15 anos e volumes comerciais superiores a 70 m^3/ha em algumas zonas de cultivo (LÓPEZ *et al.*, 2016).

Salix sp. e *Populus sp.*: produzem cerca de 727.633 t/ano de Salicáceas para serraria, desdobro (laminado, contraplacado), celulose, fibras e/o partículas para produção de tabuleiros e biomassa para fins energéticos (BRANDÁN *et al.*, 2014). São usadas principalmente 12 espécies de álamo (*P. balsamifera, P. deltoides, P. trichocarpa, P. tremuloides, P. alba, P. cathayana, P. ciliata, P. euphratica, P. maximowiczii, P. nigra, P. simonii* e *P. tremula*) e 14 de sauce (*S. caprea, S. dasyclados, S. eriocephala, S. koriyanagi,*

S. miyabeana, S. purpurea, S. udensis, S. schwerinii, S. triandra, S. viminalis, S. alba, S. babylonica, S. matsudana e *S. nigra*).

A maior parte dos programas de melhoramento dessas espécies se baseia fundamentalmente na hibridação interespecífica, buscando com isso a obtenção de alto rendimento e adaptação em distintas condições de cultivo (CORTIZO *et al.*, 2016)

Domesticação de Plantas e Sistemas Agroflorestais (SAFs)

Ao longo da história da domesticação, forjada certamente por tentativas e erros, algumas árvores frutíferas nativas devem ter sido incorporados aos cultivos agrícolas pioneiros no entorno das moradias, dando origem aos "quintais" mistos ou agroflorestais. Conforme Lathrap (1977), esse arranjo, formado por frutíferas e outras plantas úteis, constituiu, provavelmente, o primórdio da experimentação agrícola em bases empíricas. Em relação à ordem de introdução dos cultivos, Piperno e Pearsall (1998) acreditam que os tubérculos foram o foco principal dos primeiros sistemas agrícolas, sendo as árvores os componentes secundários.

É provável, porém, que a domesticação das árvores frutíferas tenha acompanhado a domesticação de tubérculos, uma vez que áreas cultivadas ao redor das moradias propiciam um local ideal para o estabelecimento de frutíferas (a partir de sementes descartadas) e intervenção sobre as mesmas (MILLER, 2004). Nesse contexto, pode-se inferir que as práticas agroflorestais originais, desenvolvidas em quintais rudimentares, tiveram papel relevante na domesticação de plantas arbóreas e não arbóreas.

Os sistemas agroflorestais dos povos indígenas representam um estoque de conhecimentos sobre plantas cultivadas, os quais foram aprimorados ao passar de séculos. Provavelmente estes sistemas agroflorestais apresentam tecnologias que evoluíram em conjunto com a domesticação de plantas silvestres e favoreceram sua aceitação como sistemas de produção de alimentos (CLEMENT, 1989; MILLER, 2004). Estudos levados a efeito no campo da palinologia, com base em registros de pólen de árvores e outras plantas cultivadas, apontam para a existência dessas atividades agroflorestais há pelo menos 1.300 anos (BROOKFIELD; PADOCH, 1994).

No Brasil, de acordo com Miller (2004), várias práticas agroflorestais indígenas na região amazônica foram evidenciadas por estudos antropológicos e etnobiológicos nas últimas décadas, conforme resumo a seguir:

- Árvores úteis da floresta são poupadas na abertura de roças;
- Plântulas de espécies florestais úteis são poupadas quando regeneram nas roças;

- Árvores frutíferas crescendo em capoeiras são poupadas na ocasião da derrubada para abrir novas roças;
- Sementes de frutíferas são plantadas entre os cultivos da roça;
- Mudas de frutíferas são transplantadas dos quintais das casas para as roças;
- São poupadas mudas que se estabelecem a partir de sementes dispersas ao acaso nas proximidades das moradias;
- Sementes de frutíferas são plantadas ao longo de caminhos em roças velhas ou em clareiras na floresta.
- Estas práticas variadas de cultivo de árvores podem resultar em várias configurações de sistemas agroflorestais:
- O "quintal" ou conjunto de árvores frutíferas e outras plantas úteis como condimentos e medicinais, crescendo próximo da moradia;
- Um cinturão de frutíferas ao redor da aldeia;
- Árvores frutíferas em roças, dividindo o espaço com culturas agrícolas;
- Pomares de frutíferas mistas;
- Capoeiras enriquecidas com frutíferas.

A ação de cultivar a terra consorciando lenhosas perenes com espécies tipicamente agrícolas, disseminada na maior parte dos solos agricultáveis do mundo, foi e continua sendo uma base importante para a introdução de plantas, manipulação cultural de espécies e oferta de multiprodutos, que resulta naturalmente em processos de domesticação e efeitos potencializadores para a ampliação da adotabilidade dessa prática no meio rural.

A prática agroflorestal possibilita diversos aspectos atrativos para os produtores rurais como a produção diversificada (madeira, lenha, medicinais, óleos, frutos, resinas, animais), colheitas com pequena variação temporal, a estabilidade ambiental do cultivo (homeostase[1]) e da produção, a manutenção da capacidade produtiva do solo por mais tempo, a menor incidência de pragas e doenças quando comparada com prática monocultural e o uso escalonado da mão-de-obra, que ajudam a explicar o seu uso milenar (SILVA, 2013).

Com essas características, de grande apelo para adotabilidade pelos produtores de unidade familiar, os sistemas agroflorestais podem ser usados para pomar de sementes de espécies florestais nativas de boa qualidade genética, para o uso em programas de recuperação ambiental e para aumentar a renda familiar (HIGA; SILVA, 2006).

Em ambientes brasileiros, o guaraná, a castanha-do-pará, a seringueira, a erva-mate, o cacaueiro, a pupunheira, a mandioca, o cajueiro, essências medicinais e cosmetológicas, além de diversas flores e folhas ornamentais são exemplos de produtos de plantas domesticadas no passado com forte apelo agroflorestal. Estas

[1] Capacidade de resistir às pressões ou perturbações externas as quais os sistemas podem ser submetidos

plantas e muitas outras de conformação utilitária mais atual, algumas de função múltipla (plantas multiuso), juntamente com espécies animais, constituem ainda hoje a fonte primordial para composição de diversos sistemas agroflorestais tanto para agricultores de escassos recursos como para aqueles de elevado capital e aporte tecnológico.

Do rol de espécies lenhosas domesticadas no Brasil, destaca-se a cultura do cacaueiro (*Theobroma cacao*) como um das modalidades mais expressivas de sistemas agroflorestais, uma vez que a espécie é cultivada normalmente em associação com outras espécies, tanto sob mata raleada (sistemas cabruca), como em companhia de plantas cultivadas para sombreamento provisório - formado por espécies de ciclo curto; e definitivo – formado por espécies arbóreas perenes. Com um perfil multiestratificado, composição e dinâmica tipicamente agroflorestal, a cacauicultura brasileira é considerada uma das mais eficientes comunidades vegetais produtivas (MÜLLER *et al*, 2004).

Considerações Finais

A domesticação de plantas, com o incremento de novas espécies domesticadas e melhoradas com base em tecnologias avançadas, teve muitas conseqüências materiais para o mundo, o aumento da produtividade, a criação de mercados amplos e específicos, o crescimento demográfico, a expansão da indústria de insumos químicos e a "globalização comercial" dos produtos vegetais ou fito-derivados são alguns exemplos que se pode destacar.

Por outro lado, também nesse cenário, as plantas são cada vez mais fragilizadas em relação a sua resistência orgânica original, particularmente aquelas de base genética estreita, com acentuada perda de rusticidade e dependência cada vez maior do arcabouço tecnológico humano. Este fato é agravado quando os cultivos são intensivos e monoculturais, com elevada concentração de uma mesma espécie, de mesmo padrão genético, por unidade de área, favorecendo o ataque de pragas e doenças e tornando as plantas mais vulneráveis as modificações biofísicas e climáticas do ambiente.

Ao contrário, quando estabelecidas em sistema agroflorestal, modalidade de cultural que permite combinar espécies lenhosas perenes e cultivos agrícolas na suposição de que as interações estabelecidas entre as espécies propiciam um efeito sinérgico[1] positivo para a sustentabilidade, a produtividade e diversos benefícios ambientais, as plantas são mais bem protegidas e menos vulneráveis as injunções externas, podendo exibir de forma mais ampla o seu potencial genético.

[1] Ação simultânea das espécies em conjunto que favorece a obtenção de resultado superior ao obtido por cada espécie individualmente

O impulso promovido pela domesticação de plantas tem tido um papel essencial no desenvolvimento da sociedade humana, no passado e no presente, e para que continue assim no futuro é necessário que as relações homem–planta (ou homem–natureza) e pesquisador-agricultor (no sentido da interação de conhecimentos), sejam pautadas em sólidos princípios éticos, bem como em ações responsáveis, para que não seja comprometida a oferta de produtos e serviços necessários à existência humana.

Referências

ARONSON, J.; TOLEDO, C.S. *Caesalpinia Paraguariensis* (Fabaceae) Forage Tree For all Seasons. *Econ. Bot.* v. 46, p. 121-132. 1992. Disponível em: https://doi.org/10.1007/BF02930627. Acesso em 07/02/2017.

ANTONELLI, P. Melhoramento-genetico-de-pinus-visando-a-produção-de-resina-desafios-e-perspectivas. Disponível em: http://www.resinadepinus.blogspot.com/. Acesso em 06/11/2017

BERTUZZI, M. A., SLAVUTSKY, A. M.; ARMADA, M. Physicochemical characterization of the hydrocolloid from Brea tree (*Cercidium praecox*). *International Journal of Food Science & Technology*, v.47, n.4, p.776-782. 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02907. Acesso em 05/09/2107.

BRAVO, S.; GIMENEZ, A.M.; MOGLIA, J. Caracterización anatómica del leño y evolución del crecimiento en ejemplares de *Acacia aroma* y *Acacia furcatispina* en la Región Chaqueña, Argentina. *Bosque* (Valdivia) Vol.27, n.2, p.146-154. 2006. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002006000200009. Acesso em 20/11/2017.

BROOKFIELD, H.; PADOCH, C. Agrodiversity. *Environment*, v.36, n. 5, p. 7-45, 1994.

CARDOZO, M. L. *et al.* Antioxidant and anti-inflammatory activity characterization and genotoxicity evaluation of *Ziziphus mistol* ripe berries, exotic Argentinean fruit. *Food Research International*. v. 44, Issue 7, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.040. Acesso em 15/09/2017.

CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro 2011. Brasília: Conab, 2011.

CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: café. Dezembro 2016. Brasília: Conab, 2016.

CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Dezembro 2016. Brasília: Conab, 2016.

CORNELIUS, J.; UGARTE-GUERRA, L. Introducción a la Genética y domésticación forestal para la Agroforestería y Silvicultura. *Lima: ICRAF*, 2010. 124 p.

CLEMENT, C.R.. The potencial use of the pejibaye palm in agroforestry systems. *Agroflorestry Systems*, v.7**,** n.3, p.201-212, 1989

CORTIZO, S. *et al.* 2016. *Subprograma Salicáceas (Salix y Populus). In*: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca: Buenos Aires, pp 85-112. 201 p. Disponível em: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 20/11/2017.

EYNARD, C.; GALETTO, L. Pollination Ecology of *Geoffroea decorticans* (Fabaceae) in central Argentine Dry Forest. *Journal of Arid Environments*, n. 51, p.79-88. 2002.

FAO 2001: Global Forest resources Assessment 2000. Main Report. Estudio FAO Montes 140. FAO Forestry Paper 140. FAO: Roma, 2002. Disponível em: http://www.fao.org/docrep/004/Y1997E/Y1997E00.HTM. Acesso em 05/11/2017.

FEELEY K.J.; SILMAN M.R. Keep collecting: accurate species distribution modeling requires more collections than previously thought due to temporally autocorrelated collection biases. *Diversity and Distributions*. n.17, p. 1132-1140.2011.

FOLHA UOL-CIÊNCIA, 2017. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2017/11/1933611-pesquisadores-querem-domar-e-engordar-tomate-selvagem.shtm Acesso em 09/11/2017.

FORNES, L. *et al.* 2016. *Subprograma Cedrela. In*: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, p. 137-159. 201p. 2016. Disponível em: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 09/11/2017.

GALERA, F.M. *Los algarrobos. Las especies del género Prosopis (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquéllas de interés económico*. Córdoba: Graziani Gráfica. 2000.

GALLO, L. Domesticación y mejora de las especies forestales nativas para la incertidumbre climática. *Producción Forestal*, v. 3, n. 7, p. 39-42. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina: Buenos Aires. 52p. 2013. Disponível em: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/07.pdf. Acesso em 15/10/2017.

GAUCHAT, M. E. *et al. Subprograma Pinus y Pseudotsuga. In*: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, p. 21-45. 201p. 2016. Disponível em: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 15/10/2017.

GRANDTNER, M.M. *Elsevier's Dictionary of Trees*. v.1. North America. Amsterdam: Elsevier. 2006. 1529p.

HEISER JR., C. B. Sementes para a civilização. São Paulo: EDUSP, 1997. 253 p.

HIGA, A. H.; SILVA, L.D. *Planejamento e Implantação de Pomares de Sementes de Espécies Florestais Nativas*. *In*: Pomar de Sementes de Espécies Florestais Nativas. Curitiba: FUPEF, 2006. p.13-39.

LATHRAP, D.W. *Our father the cayman, our mother the gourd: Spinden revisited, or a unitary model for the emergence of agriculture in the New World*. *In*: Origins of Agriculture. Haia: Mouton, 1977. p. 713-751.

LÓPEZ, C. *Evaluación de la variación genética de especies del género Prosopis de la Región Chaqueña Argentina para su conservación y mejoramiento*. *In*: Mejores árboles para más forestadores. p. 195–204. 2005. 250p.

LÓPEZ, J. A. *et al. Subprograma Eucalyptus y otras Latifoliadas* (Corymbia y Grevillea). *In*: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, pp 47-84. 2016. 201p. Disponível em: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 15/11/2017.

IPEF. Como as pesquisas sobre o Pinus no Brasil do IPEF geraram ferramentas que irão auxiliar as empresas na avaliação da produtividade de seus plantios. *Notícias*. São Paulo: IPEF, n. 242, ano 42, novembro/dezembro, 2016. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/ipefnoticias/ipefnoticias242.pdf. Acesso em 05/11/2017.

MACHADO, A. T.; TOLEDO MACHADO, C. T. de. Melhoramento participativo de cultivos no Brasil. *In*: Simon de Boef *et al.*, eds. *Biodiversidade e Agricultores, fortalecendo o manejo comunitário*. Porto Alegre: L & PM, 2007. p. 93-116.

MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Rev. Bras. de Agroecologia. v.*9, n.1, p. 35-50. 2014

MARCUCCI, P. S. N.; GALLO, L. A. Herramientas moleculares. *In*: *Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, p. 188-199. 2016. 201p. http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 15/10/2017.

MILLER, R. P. Sistemas agroflorestais indígenas na Amazônia: uma visão histórica. *In*: MÜLLER *et all. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica: sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus: CEPLAC, 2004. p. 197 - 200.

Müller, M. W. *et al.* Sistemas agroflorestais com cacau como exploração sustentável dos biomas tropicais. *In*: Müller *et al. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica: sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus: CEPLAC, 2004. p. 169-180.

PASTORINO, M. *et al.* 2016. Subprograma Nothofagus. *In*: *Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, p. 161-188. 2016. 201p. http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf. Acesso em 15/10/2017.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. Estudos avançados. São Paulo, v. 15, n. 43, p. 303-326. 2001

PIPERNO, D. R.; PEARSALL, D. M. The origins of agriculture in the lowland Neotropics. San Diego: *Academic Press*. 1998. 179p.

PRICE, T. D. (ed.). Europe's First Farmers. Cambridge: *Cambridge University Press*. 2000. 395p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente – Governo do Brasil. Biodiversidade. 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/biodiversidade/conservacao-e-promocao-do-uso-da-diversidade-genetica/plantas-para-o-futuro. Acesso em 06/11/2017.

ROTUNDO, C. A. *et al.* Avances en la selección de árboles plus de Araucaria (Bert.), en el NO de la provincia de Misiones. *VI Reunión de Genética y Mejoramiento Forestal* (GEMFO). Buenos Aires: INTA. 2014. p.71-76. 100p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-libro_vi_gemfo.pdf. Acesso em 02/11/2017.

SANTI, T. A Biotecnologia em favor da produtividade do eucalipto. *O Papel*. p 28-36, agosto, 2014.

SFB-SNIF. Recursos Florestais: as florestas plantadas. *Brasília: SFB*, novembro, 2017.

SCARIOT, A.; SILVA, J.C.S; Felfili, J. M. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. *In*: FELFILI, J. M.; SILVA, J.C.S; SCARIOT, A. (eds). *Biodiversidade e conservação do cerrado: avanços no conhecimento*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. cap. 1, p. 27-44.

SMITH, B. D. Low-Level Food Production. *Journal of Archaeological Research*, v.9, n.1, p. 1-43. 2001.

SILVA, I.C. Sistemas Agroflorestais, Conceitos e Métodos. *Itabuna: SBSAF*. 2013. 308p.

SIMONS, A. J.; LEAKEY, R.R.B. Tree domestication in tropical agroforestry. *Agroforestry Systems*. n.6, p.167-181. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2004.

VENCOVSKY, R., RAMALHO, M.A.P. Contribuição do melhoramento genético de plantas no Brasil. *In*: PATERNIANI, E. (ed.). Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. *Brasília: EMBRAPA*, 2000. p.57-89.

VERGA, A. Recursos genéticos, mejoramiento y conservación de especies del género Prosopis. *In*: *Mejores árboles para más forestadores*. Buenos Aires: Secretaria de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación.2005. p. 205-221. 250p.

Capítulo 13

Técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos: Do surgimento à aplicação no setor florestal

Langer, M.[1]; da Silva D. A.[2]; J. E. Arce[2] e S. H. Rocha[3]

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of United Nations* - FAO (2009) e com Guinée (2016), o crescimento demográfico, a maior concentração da população em áreas urbanas e a maior expectativa de vida da população mundial demandarão mais recursos naturais e energia para a produção e consumo de bens, serviços e alimentos. E segundo FAO, entre 2005 e 2007, foram registrados impactos alarmantes sobre os espaços naturais e florestais, devido à urbanização e à produção mundial de alimentos, fibras e energia.

As escolhas individuais e coletivas para obtenção de matéria-prima, alimentos, energia; bem como, os problemas relacionados à depleção, à escassez de recursos naturais e ainda, à emissão de poluentes, causam impactos negativos à saúde humana, diminuem a biodiversidade, acarretam perda da qualidade de vida e prejudicam a sustentabilidade do planeta (UNITED NATIONS, 2014a; UNITED NATIONS, 2014b; LANGER, 2015; STRAKA; LEYTON, 2010). No setor florestal, o desmatamento florestal, as perdas de biodiversidade e da qualidade dos recursos naturais, o consumo de materiais de madeira sem origem comprovada, os impactos sociais decorrentes da concentração e da transformação de terras para monoculturas agrícolas ainda são problemas a serem tratados com maior atenção (FAO, 2016; UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM – UNEP, 2015).

Esses problemas determinam a urgência de outras políticas públicas e outros modelos de produção para consolidar o paradigma da sustentabilidade; além de outras ferramentas de gestão e metodologias para reduzir os danos resultantes das ações antrópicas e da degradação do meio ambiente. Ainda, é necessário o

[1] Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) marcelolanger@ufpr.br
[2] Orientador, Doutor em Engenharia Florestal, Professor do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR.
[3] Orientadora, Doutora em Engenharia Florestal, Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

desenvolvimento de padrões de consumo ambientalmente conscientes (THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT – IBRD, 2012; LANGER,2015). Uma das ferramentas utilizada para apoiar as políticas de sustentabilidade é a aplicação da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Produtos, tanto para processos como para produtos – bens e serviços – (BRASIL, 2010; STRAKA; LAYTON, 2010).

Este capitulo tem como objetivo apresentar o surgimento da técnica ACV, possibilidades e ações necessárias para aplicação no setor florestal.

1. Surgimento e evolução da avaliação do ciclo de vida (acv)

Desde os anos 1960 e 1970, os estudos sobre os impactos ambientais relacionados a produtos de consumo vêm sendo desenvolvidos no sentido de estabelecer uma comparação para determinar se o produto A causa mais impacto do que o produto B. Esses procedimentos de comparação têm possibilitado o entendimento de que para a maioria dos produtos, os impactos ambientais acontecem não só no seu uso, mas também na sua produção, transporte e destinação final. Gradualmente, nos anos 1980 e 1990, a importância de identificar os locais corretos dos diferentes impactos ambientais vem sendo reconhecida como "ciclo de vida do produto", podendo se referir, inclusive, a diferentes produtos. Deste entendimento surgiu a técnica denominada "Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Produtos" (GUINÉE *et al.*, 2011; CLAUDINO; TALAMINI, 2013).

A ACV é uma técnica de análise dos impactos ambientais de diversos produtos ou processos produtivos e vem sendo desenvolvida desde 1960 (KLEIN *et al.*, 2015; JENSEN *et al.*, 1997). A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – SETAC (1993) informa que, a partir de 1960, a técnica de ACV já estava disponível, permitindo obter informações, construir uma avaliação sistêmica sobre os processos produtivos de diversos produtos, desde a origem da matéria-prima até o seu descarte final (UNEP, 2005).

A ACV teve rápido desenvolvimento ao longo das últimas três décadas, passando de mera análise energética dos limites ambientais nos anos 1970, para ACV de pleno direito e para modelos de ACV econômica (ACV-E) entre os anos de 1980 e 1990 (GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Guinée *et al.* (2011), o período de 1970 a 1990 foi definido como as *Décadas da Concepção* da ACV. Em 1969, o *Midwest Research Institute* realizou um estudo solicitado pela Coca-Cola, para avaliar se as garrafas plásticas não eram ambientalmente piores que as garrafas de vidro (ROMÃO, 2016; GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Barbosa Junior *et al.* (2008), os primeiros estudos sobre a ACV tiveram início tímido durante a primeira crise do petróleo, (1973), quando neste período foi percebida a necessidade de utilizar os recursos naturais de outras formas, muito em virtude da percepção de que esses recursos eram esgotáveis. Quando então, houve a intensificação da busca por fontes alternativas de energia e pelo aperfeiçoamento dos processos produtivos existentes, a fim de otimizar consumos de recursos naturais esgotáveis (GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA - CICLOG, 2017). Por isso, para avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo energético surgiram estudos, que ficaram conhecidos como *Resource Environmental Profile Analysis* (REPA) (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008; GUINÉE *et al.*, 2011).

A década de 1990 a 2000 foi definida como a *Década da Padronização* da ACV, com muitas atividades científicas desenvolvidas em várias partes do mundo, resultando na realização de um grande número de *workshops* e fóruns para discutir a ACV, levando ao surgimento de guias e manuais de aplicação da ACV. Em 1990, nos Estados Unidos da América, surgiu o termo *Life Cycle Assessment*, que tinha como objetivo auxiliar a tomada de decisão de empresas sobre a qualidade ambiental de produtos. A partir de 1990, a ACV começou a ser desenvolvida para atender as questões ambientais (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008).

A partir dos anos 2000, a ACV apresentou os métodos para o desenvolvimento de ACV-S (Avaliação Social do Ciclo de Vida) e ACV consequencial. A década de 2000 a 2010 foi chamada de *Década da Elaboração*. Em 2002, a SETAC e a UNEP criaram o programa mundial *Life Cycle Initiative – LCI (UNEP/SETAC).*

Desde a sua criação o programa *Life Cycle Initiative* (LCI) busca intensificar esforços e desenvolver diversos trabalhos relacionados ao ciclo de vida de um produto, incluindo ações contínuas para melhorar a compreensão sobre os aspectos econômicos, sociais e ambientais inerentes à sustentabilidade (UNEP, 2005; UNEP, 2009; GUINÉE *et al.*, 2011). Desde o final de 2014, o LCI vem apoiando o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA com o suporte técnico para a construção de bases de dados nacionais de ACV, (LCI, 2016).

De modo atuante e contínuo o programa *Life Cycle Initiative* (LCI) tem como principais objetivos: desenvolver e colocar em prática os princípios do *Life Cycle Thinking* (Pensamento em ciclo de vida[1]) e dar suporte ao desenvolvimento de ações para melhorar a qualidade dos dados e dos indicadores da ACV. Nesse processo, o LCI desenvolveu atividades, reuniões, programas e ações que resultaram na elaboração de diversos documentos técnicos para auxilio da implantação da ACV nas empresas (GUINÉE *et al.*, 2011).

Em 2009, a UNEP/SETAC por meio do LCI elaborou o Guia a avaliação social do ciclo de vida de produto (ACV-S), que busca abordar as visões de transdisciplinaridade da ACV-S, ampliando suas aplicações para além dos

[1] Tradução livre dos autores.

domínios do produto e de seus sistemas de produção, ou seja, passou a abordar os diversos atores sociais além dos seus trabalhadores, como os consumidores, a sociedade, as comunidades locais e os *stakeholders* (GUINÉE *et al.*, 2011; UNEP 2009).

A atual década (2010 a 2020) está sendo definida como a *Década da Análise da Sustentabilidade do Ciclo de Vida*, sob o conceito expandido das três dimensões da sustentabilidade: Pessoas, Planeta e Prosperidade. Em 2011, foram lançados os princípios da ASCV (Avaliação[1] da Sustentabilidade do Ciclo de Vida) como modelo de base para a integração dos conceitos de transdisciplinaridade (GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Guinée *et al.* (2011), a ACV será desenvolvida em muitas direções na próxima década, base de dados regionais serão desenvolvidas, novo métodos de avaliação de impacto serão desenhados e métodos para tratar da análise de incertezas serão melhorados; entretanto esta década estará voltada para a ASCV.

Zamagni (2012) em seu estudo sobre a evolução da ASCV identificou 600 artigos vinculados às palavras-chave "sustentabilidade" e "ACV". Essa autora, considerou que essa identificação era um avanço bastante significativo, uma vez que se aproximava do número de publicações em ACV para o período de 1974 a 2010, pois, os trabalhos de ASCV publicados em 2010, foram três vezes maiores do que os publicados em 2007. Desses 600 artigos, 53% eram da área de ciências ambientais, 34% da engenharia, 16% sobre energia e 6,6% apresentaram contribuições para a ACV-S, sendo que essas classificações se sobrepõem. Esses resultados permitiram Zamagni concluir sobre a necessidade e importância de desenvolver a integração interdisciplinar da sustentabilidade.

A busca pela introdução dos aspectos da sustentabilidade dos produtos por meio da técnica de ACV, pode ser percebida pelos técnicos que o LCI vem fornecendo para revisão e validação por especialistas de conjuntos de dados da ACV para países emergentes, tais como Malásia, Brasil, Indonésia, em 2015, foram validados 40 conjuntos de dados pelo LCI, e esse suporte técnico tem se intensificado em diversos temas e foi chamado de "força tarefa". Essa força tarefa tem como objetivo desenvolver um conjunto de critérios de revisão, por meio de um processo de análise, revisão e informação sobre cada conjunto de dados, incluindo aspectos legais com acordo de não divulgação e ação conjunta de especialistas de diferentes países (LCI, 2016).

[1] A partir deste período o termo Análise foi substituído pelo termo Avaliação, no emprego da técnica de ACV.

1.1. A normatização da ACV

A *International Organization for Standardization* (ISO) criou em 1994 o *Technical Committee on Environmental Management* (TC 207). Nesse mesmo ano, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) formou o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), com o objetivo de acompanhar e analisar os trabalhos desenvolvidos pelo TC 207 e, ainda, avaliar o impacto das normas ambientais internacionais nas organizações brasileiras. Em 1999, foi criado o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB38/ABNT) em substituição ao GANA, a fim de participar das discussões para as normas da série ISO 14000 e elaboração das normas brasileiras correspondentes (BRASIL, 2010).

Apesar do seu surgimento nas décadas de 1960 e 1970, somente a partir de 1997, com a normatização pela ISO, a ACV ganhou força (CHEHEBE, 1997). Para auxiliar o desenvolvimento da ACV, a ISO elaborou, em 2004, a norma ISO 14041:2004 que trata da "Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário" (ISO, 2004). Em 2009, a ABNT Normas Brasileira (NBR), substituiu a norma NBR ISO 14041:2004 pelas normas NBR ISO 14040:2006 e a 14044:2006 (ABNT, 2009a e 2009b), que estão em vigor até hoje e em permanentes atualizações.

A ISO e a ABNT apresentam por meio das normas TR 14049:2000 exemplos de aplicação sobre a etapa de definição de objetivos e escopo e análise de inventário (ISO, 2000). Por sua vez a TS 14048:2002 apresenta considerações sobre o formato de apresentação dos dados (ISO, 2002); e a TR 14047:2003 apresenta Exemplos de aplicação, especificamente sobre a etapa de avaliação do impacto (ISO, 2003). Essas normas serviram de base para a implantação das normas sobre a ACV.

A ACV é tratada pela ISO no âmbito da norma do TC 207/SC 5 - *Life Cycle Assessment*, que unificou aquelas normas na série ISO 14040:2006 "*Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework"* e ISO 14044:2006 "*Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines"* (BRASIL, 2010).

Este estudo aplicará as normas NBR 14.040 e 14.044 na sua elaboração, uma vez que essas Normas são reconhecidas, aceitas e utilizadas internacionalmente para atender às demandas crescentes em ACV dos diversos atores sociais: empresários, consumidores, governos e instituições.

1.2. A ACV no Brasil

Reconhecendo a importância da ACV para o Brasil, no ano de 2000, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental da Associação Brasileira de Normas Técnicas (CB38/ABNT) iniciou a tradução das normas da série NBR ISO 14040 para a língua portuguesa, e apoiou a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008).

No Brasil, o Banco Nacional de Inventários em Ciclo de Vida, o Sistema de Inventário de Ciclo de Vida (SICV Brasil), é gerenciado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que também compõem o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) (IBICT, 2017).

Segundo Zanghelini *et al.* (2014), os estudos de ACV no Brasil são recentes; somente depois de 2009 é que as publicações de ACV no Brasil tomaram força e se dividem em dois conjuntos: primeiro conjunto trata de estudos de caso onde a ACV é aplicada a produtos e serviços; o segundo conjunto trata de trabalhos que discutem e evoluem a metodologia de avaliação. Há um relativo equilíbrio entre pesquisas realizadas por instituições nacionais e pesquisas realizadas por instituições internacionais. No Brasil, destacam-se as Universidades de São Paulo, Federal de Santa Catarina e Brasília (ZANGHELINI *et al.*, 2014).

Apesar dos estudos de WILLERS *et al.* (2013) sobre o uso de ACV na engenharia de produção, até o momento não há estudos de ACV na engenharia de produção relacionados às ciências ambientais (ZANGHELINI *et al.*, 2014). Willers e Rodrigues (2013) elaboraram uma avaliação crítica sobre o estado da arte do desenvolvimento da ACV no Brasil.

Zanghelini *et al.* (2014) encontraram 51 publicações sobre ACV no Brasil, sendo que 35% foram sobre biocombustíveis, 30% sobre sistemas agropecuários e 15% sobre produção energética. Esse número de publicações e suas áreas de estudo, também pode ser identificada na evolução das publicações acadêmicas de artigos, pesquisada por Zanghelini *et al.* (2014) na base de dados SCOPUS, onde a ACV como palavra-chave apresentou um aumento de 64% nos últimos 5 anos no mundo e de 84% no Brasil durante o mesmo período.

Claudino e Talamini (2013) desenvolveram uma revisão literária sobre a aplicação da ACV no agronegócio. Para estes autores os sistemas de produção de alimentos requerem grandes entradas de recursos, têm fortes efeitos negativos sobre o meio ambiente, estão moldados para atender as demandas econômicas e o crescimento populacional. Destacaram, também, que apesar da ACV ser uma técnica bastante adequada para avaliar a biodiversidade, os impactos e os danos das atividades do agronegócio, há grande dificuldade para desenvolver estudos de ACV, no Brasil, devido à falta de dados e à complexidade da cadeia de produção de alimentos, pois, os estudos em ACV aplicados ao agronegócio alimentar são raros e as bases de dados necessitam ser refinadas. Claudino e Talamini chamaram a atenção para a necessidade de melhoria das metodologias de ACV para a realidade brasileira.

O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) aprovou o PBACV que estabelece diretrizes no âmbito para o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), a fim de dar continuidade às ações da ACV no Brasil, tornando-o instrumento para o desenvolvimento sustentável, competividade ambiental da produção industrial brasileira, promoção do acesso aos mercados interno e externo de produtos mais sustentáveis (BRASIL, 2010).

De acordo com BRASIL (2010), o PBACV pretende:

> (a) implantar no País um sistema reconhecido em âmbito internacional, capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre inventários do Ciclo de Vida da produção industrial brasileira; (b) disponibilizar e disseminar a metodologia de elaboração de inventários brasileiros; (c) elaborar os inventários base da indústria brasileira; (d) apoiar o desenvolvimento de massa crítica em ACV; (e) disseminar e apoiar mecanismos de disseminação de informações sobre o pensamento do ciclo de vida; (f) intervir e influenciar nos trabalhos de normalização internacional e nacional afetos ao tema; (g) identificar as principais categorias de impactos ambientais para o Brasil.

O PBACV deve ter alinhamento estratégico às políticas públicas nacionais, ambientais e de sustentabilidade. Por exemplo, com o Plano Nacional de Consumo Sustentável e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para que haja soma de esforços para suas implantações e vigências (BRASIL, 2010).

Embora haja uma crescente aplicação da ACV nas atividades industrias brasileiras, observa-se uma lacuna no desenvolvimento de métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) baseados nas características regionais brasileiras e sul-americanas (MENDES; BUENO; OMETTO, 2013).

1.2.1. ACV aplicada à produção florestal

Para o desenvolvimento de uma ACV florestal, primeiramente é preciso entender a função de uma floresta ou dos produtos florestais. Tanto o ambiente de uma floresta como os seus recursos madeireiros e não-madeireiros podem ser considerados produtos. Portanto, a função de uma floresta pode ser definida por sua composição total, valor cênico, valor ambiental, valor social, paisagem, bem-estar humano, conservação de recursos naturais, dentre outros; ou por um produto específico, tais como madeira, fruto, resina, geração de empregos,

turismo, impostos, receitas econômicas, contribuição para o desenvolvimento local ou regional. Neste sentido, a totalidade das florestas apresentam multi funções, ou multi produtos.

Essas diferentes funções podem ter valores econômicos, sociais e ambientais, comumente chamados de "produto florestal"; por exemplo, madeira, biodiversidade, conservação da água, do solo e do ar, clima local e mundial, efeito sobre a temperatura e outros benefícios de uma floresta nativa ou plantada, que variam de acordo com cada caso. Em uma ACV, esses benefícios são definidos como "função do produto" e o "produto" será aquele que terá o seu ciclo de vida considerado.

Reconhecendo a importância das diferentes funções florestais e seus benefícios e impactos sobre a conservação ambiental, desenvolvimento social e econômico, a partir do início de 1990, organizações mundiais passaram a promover o desenvolvimento de programas de certificação florestal, ferramentas de apoio à gestão, para garantir melhor qualidade ambiental e social da floresta e seus produtos; conservação dos seus recursos, redução de desmatamentos e seus impactos sobre a biosfera (Conselho de Manejo Florestal - FSC, 2014).

Os programas de certificação florestal vêm sendo implementados em mais de 150 países por diferentes organizações, certificadores, representantes governamentais e outros atores envolvidos no processo (FSC, 2014). Os métodos e ferramentas desses programas de certificação avaliam sistemas produtivos por meio de critérios e indicadores, análises de custo-benefício, qualificação de sistemas baseados no conhecimento, avaliação de impacto ambiental, podendo compara-los aos princípios da técnica de avaliação do ciclo de vida (HOLVOET; MUYS, 2004).

Semelhante ao consumo de diversos tipos de materiais, o uso de produtos de origem florestal e madeireira, em diversos setores industriais e na construção civil, causam fortes impactos ambientais (PUETTMANN; WILSON, 2005) e devem ser avaliados e monitorados para garantir um manejo florestal adequado aos princípios da responsabilidade social e ambiental e perpetuação dos recursos e atividades empresariais.

Embora os critérios e os indicadores sejam o método popular para avaliar a sustentabilidade da floresta e dos seus produtos, a ACV é uma técnica que serve aos propósitos da sustentabilidade florestal. Porém, está focada no produto e busca avaliar todo o seu sistema de produto (STRAKA; LAYTON, 2010).

Apesar da aplicação da ACV para a mensuração dos impactos ambientais estar crescendo nos setores florestal e madeireiro mundiais, seu ritmo ainda é lento e descompassado, em relação à aplicação da ACV em outros setores produtivos, tais como energético, agrícola, automotivo, elétrico. Os trabalhos de ACV no setor florestal ainda são poucos, apresentam poucos dados e poucos bancos de dados disponíveis (ZANGHELINI *et al.*, 2014). Os trabalhos em ACV florestal

não abrangem toda a diversidade de funções florestais mundiais (BARRANTES *et al.*, 2016).

Klein *et al.* (2015), em seu levantamento sobre o estado da arte da ACV na produção florestal, concluíram que apesar da técnica de ACV estar sendo conduzida em diferentes atividades de produção florestal desde o início de 1990, o setor ainda apresenta grandes lacunas no desenvolvimento de estudos consistentes para a construção de bancos de dados e relatórios para a compreensão da ACV. Para Klein *et al.* (2015), os principais desafios para a elaboração de estudos em ACV florestal estão na identificação e definição de objetivos, sistema de fronteiras dos estudos, desenho do fluxo correto do produto, suas funções, unidades funcionais, categorias de impacto e processos envolvidos. Klein *et al.* observaram que a maioria dos trabalhos está direcionada para a análise do potencial de aquecimento global[1] (GWP) e os resultados ainda apresentam incertezas.

Straka e Layton (2010), analisaram, a relação entre a ACV, as certificações florestais, e os produtos florestais e madeireiros, identificando poucos trabalhos em ACV de produtos madeireiros e a maioria deles foi aplicada à construção civil, celulose e papel. Relatam que em 1970, a *National Research Council, Committee on Renewable Resources for Industrial Materials* (CORRIM) elaborou o primeiro inventário em ciclo de vida sobre a demanda energética para produção de produtos madeireiros empregados na construção civil. Straka e Layton concluíram que poucos consumidores interagem diretamente com a floresta, mas a maioria interage com os produtos das indústrias de transformação florestal. Assim, ressaltaram, a importância da qualidade da avaliação do ciclo de vida do produto e a comunicação dos seus resultados ao consumidor, normalmente por meio de uma certificação ou da rotulagem ambiental.

Klein *et al.* (2015) questionam a definição de que produtos florestais são "produtos carbono zero", pois as metodologias de abordagem e os métodos empregados para determinar o GWP, ainda apresentam elevada incerteza e inconsistência entre os diversos resultados analisados. Esses autores ainda propõem que os estudos futuros da ACV no setor florestal devam focar na harmonização das fronteiras dos sistemas de produtos, com definição mais precisa das funções da floresta, dos seus produtos, das unidades funcionais, dos processos considerados e da alocação das premissas dos estudos de da ACV.

Os estudos futuros em ACV poderão auxiliar na especificação das descrições precisas dos processos e produtos florestais, harmonizando-os às Regras de Categorias de Produtos para atender a comunicação e as Declarações Ambientais de Produtos (rotulagem ambiental), segundo a EN ISO 16485:2014 ou EN ISO 15804:2012), por exemplo. Também, contribuirão para o atendimento à norma EN ISO 14025:2011 e aos padrões de pegada de carbono como a Especificação

[1] Tradução em português para o termo inglês *Global Warming Potential (GWP)*

Disponível para Publicização – PAS (2050:2011) ou à Iniciativa Europeia para Pegada Ambiental (KLEIN *et al.*, 2015).

Straka e Layton (2010), considerando as possibilidades de alinhamento dos programas de certificação florestal aos princípios da AVC, observaram que apesar dos sistemas de certificação florestal estarem baseados em um único problema, a qualidade do gerenciamento florestal, isso não significa que eles não podem integrar um sistema de rotulagem ecológica de múltiplas questões (ou múltiplas funções). Se o sistema de rotulagem ecológica abordar produtos florestais, a certificação florestal pode ser necessária, tornando-a parte do processo de rotulagem ecológica (STRAKA; LAYTON, 2010; KLEIN *et al.*, 2015).

Os sistemas de certificação florestal tornam-se adições cruciais para uma ACV, uma vez que avaliam uma parte importante dos aspectos legais, ambientais, sociais e econômicos do produto florestal, contribuindo para a rotulagem ambiental. Esses sistemas de certificação florestal podem complementar a ACV, mas qualquer produto florestal submetido à ACV precisará abordar a sustentabilidade da floresta como um componente ou complemento da análise (STRAKA; LAYTON, 2010).

A ACV é baseada em produtos ou processos produtivos e em termos de produtos florestais, a maioria dos produtos florestais finais, por exemplo: toras, papel, madeira processada, conservação da biodiversidade, valor cênico, sequestro de carbono, incluem o manejo florestal como apenas parte do seu ciclo de vida, não considerando toda a cadeia produtiva e de valor do produto final. A sustentabilidade florestal tem uma base biológica com insumos de entradas e saídas que podem ser incorporados na ACV. O estudo de ACV para produtos de base florestal, normalmente estabelece comparações entre produtos de origem madeireira e outras origens, por exemplo, sacola de papel *versus* sacola de plástico, toalhas de pano *versus* toalhas de papel, estrutura de madeira *versus* estrutura de aço ou de cimento, energia de biomassa florestal *versus* biomassa agrícola, entre outros (STRAKA; LAYTON, 2010).

1.2.2. ACV florestal no Brasil

Este tópico apresenta exemplos de alguns estudos de ACV envolvendo florestas ou produtos florestais no Brasil e tem como objetivo mostrar a variedade de temas, abordagens, metodologias e avanços técnicos.

Gonzaga (2005), em seu estudo sobre marketing verde de produtos florestais, por meio da ACV, pode medir os méritos ambientais de produtos e processos segundo a poluição do ar, toxidade ecológica, depleção de combustível fóssil, alteração de hábitats, saúde humana, qualidade do ar no interior de residências e

locais de trabalho, depleção da camada de ozônio, consumo de água, dentre outros.

Rodrigues (2013) estudou o potencial de produção de bioóleo a partir da serragem de madeira, considerando que a ACV é uma metodologia indicada para a análise de potencial de uso desse produto, pois apresenta abordagem sistêmica para a quantificação dos impactos ambientais associados a todas as fases da vida do bioóleo a partir da madeira.

Piekarski (2015) desenvolveu um modelo multicritério para apoio à tomada de decisão, baseado na ACV e em indicadores corporativos, utilizando a produção de MDF no estado do Paraná. Considerou a aplicação do modelo construído a outras empresas e outros produtos; a necessidade de incorporação de métodos específicos para determinação das taxas de substituição no seu modelo; a realização de análises de sensibilidade e interpretou resultados pelo uso de outros métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) no método multicritério. Considerou a construção de outros inventários de ciclo de vida que representem as características brasileiras das matérias-primas do painel de madeira MDF.

Costa (2015) avaliou a eficiência agrícola e da produção de gado, sob os aspectos sociais, ambientais e econômicos no cerrado brasileiro, por meio da abordagem da ACV. Assim como Costa, estudos de ACV florestal no Brasil são direcionados à construção de inventários, levantamento de dados, construção de bases de dados, avaliação dos impactos ambientais dos processos e produtos específicos.

Barrantes *et al.* (2016) analisou as diversas vantagens do uso da biomassa florestal para a geração de energia, já que o Brasil apresentava condições edafoclimáticas favoráveis à produção de madeira para esse fim e possuía forte histórico de contribuição para a matriz energética nacional. Barrantes *et al.* utilizaram a técnica de ACV para avaliar o desempenho ambiental de florestas de eucalipto na produção de biomassa energética e, por meio do método CML[1] para a AICV, foi possível identificar que as atividades de operações de corte e extração da madeira, as quais compõem a etapa de colheita, juntamente com o carregamento, são as mais impactantes nessa cadeia produtiva de geração de bioenergia. Entretanto, esses autores chamam atenção para a necessidade de desenvolvimento de bases de dados em ACV para a realidade brasileira.

A exemplo de outros estudos em ACV voltados para construção de base de dados, Langer *et al.* (2016) estudaram a produção de palma para a realidade brasileira, comparando-a ao conjunto de dados da Malásia e da Colômbia e apresentando resultados de emissões para os aspectos de cultivo desta espécie nas regiões consideradas. Entretanto, eles relatam que há limitações em relação aos dados utilizados para a região brasileira em estudo, sugerindo que novas pesquisas devam considerar a obtenção de dados de adubação, quantificação das emissões de transporte e melhor descrição das características edáficas dos solos brasileiros.

[1] CML – (CML, 2002) é um método para avaliação de impactos do produto na AICV.

Bailis *et al.* (2012) compararam os impactos ambientais dos diferentes métodos tecnológicos para a produção de carvão vegetal no Brasil em fornos do tipo rabo quente e containers metálicos. Bailis *et al.* estabeleceram a produção de mudas como sendo o ponto inicial da fronteira do sistema de produto a ser avaliado na ACV e a pirólise da madeira para produção de carvão vegetal como sendo o seu ponto final. Consideraram como entradas o consumo de madeira, combustíveis, água, eletricidade, fertilizantes químicos e materiais para construção dos fornos. Como saídas dos processos de produção, nesse sistema de produto, foram considerados o carvão produzido, a cogeração energética e as emissões para os compartimentos ar e água. Concluíram que a tecnologia de fornos em containers metálicos apresentava redução nos impactos ambientais, porém, os processos de produção de madeira em florestas energéticas de eucalipto requerem estudos mais aprofundados sobre os impactos e benefícios desse sistema produtivo de madeira para biomassa energética.

A ACV ainda tem fraquezas referentes às questões de sustentabilidade florestal, pois os dados descritivos não estão disponíveis para quantificar ecossistemas florestais usando a abordagem da técnica de ACV. A diversidade biológica, por exemplo, é um conceito bastante qualitativo e os fatores sociais e econômicos associados à sustentabilidade da floresta podem ser de difícil quantificação. Contudo, a ACV é especialmente bem adaptada para comparar um recurso renovável ou produto oriundo dos recursos renováveis da floresta (coprodutos madeireiros para uso direto ou secundário como geração de energia renovável, e não-madeireiros, que geram alimentos, biodiversidade, serviços ambientais, entre outros) aos recursos não renováveis, como derivados de petróleo (STRAKA; LAYTON, 2010).

O PBACV em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Grupo ACV Brasil, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), *Ecoinvent*, IBICT, Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) e outras empresas privadas e governos, vêm desenvolvendo reuniões, eventos técnicos e científicos para promover a ACV no Brasil, incluindo ações para intensificar a realização de ACV de produção florestal e, assim, melhorar a qualidade dos dados e dos resultados das ACV para a realidade brasileira.

1.3. Abrangência da ACV

Em relação à geografia do produto, a abrangência de um estudo de ACV pode ser regional, nacional ou global, com dados que representam uma realidade local ou podem ser aplicados em todo o globo. A identificação da abrangência é de extrema importância, pois reflete a base tecnológica de um sistema de produto, as características regionais de um processo produtivo e todos seus fatores

envolvidos. Como a ACV considera as diversas fases de desenvolvimento e uso de um produto, desde a extração até o descarte final, muitas vezes é necessário considerar uma abordagem global, uma vez que um produto pode ser produzido em um país e ser consumido e descartado em outro país

Uma avaliação do ciclo de vida enfoca os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final; por exemplo, na cadeia produtiva florestal, a função "uso de madeira para produção de energia renovável" apresenta consequências para a conservação dos recursos naturais, emissões gasosas para o meio ambiente atmosférico, decorrentes de sua queima e que, em alguma escala e intensidade, poderão causar benefícios ou danos para a saúde humana, o meio ambiente e as reservas econômicas de um país – aspectos da sustentabilidade de produtos (ABNT 2004, 2009a, 2009b).

A ACV é uma ferramenta analítica usada para quantificar de forma abrangente (dentro dos limites dos dados disponíveis) e interpretar os fluxos "de e para" o meio ambiente. Ela inclui as emissões para os compartimentos ar, solo e água; categorias de impacto como toxicidade ecológica e humana; depleção da energia e outros recursos. Ela pode considerar o sistema do produto em todo o seu ciclo de vida ou processo, comumente referido como "do berço ao túmulo" (CLAUDINO; TALAMINO, 2013) ou do "berço ao berço" (UNEP, 2015).

Os estudos de ACV podem considerar produção e extração de matérias-primas, fabricação de produtos intermediários, transporte nas suas diversas etapas, distribuição, uso e estágio final de "fim de vida", que geralmente inclui múltiplos caminhos paralelos, como reciclagem, incineração ou aterro sanitário (PUETTMANN; WILSON, 2005). Para Sablowski (2008) a ACV do produto compreende, geralmente, aspectos diversos, como extração do recurso, manufatura dos materiais, energia consumida, transporte e tratamento dos resíduos, Figura 1.



Figura 1. Demonstração do ciclo de vida de uma porta de madeira desde a origem (floresta) até o descarte final após uso (reuso da porta). Fonte: Os autores[1], 2017.

[1] Arte desenvolvida por Arnoldo Gonçalves Júnior, 2017.

O desenvolvimento de uma ACV requer análises dos insumos e emissões envolvidos no sistema de produto, abordando todas as categorias de impactos ambientais, e pode ter uma grande variedade de propósitos (funções e objetivos), pois é um instrumento de apoio à gestão dos aspectos ambientais, em todas as fases do sistema de produção do produto. Essas análises estão relacionadas às etapas do processo, desde a extração de matéria-prima até a disposição final do produto (CHEHEBE, 1997).

Atualmente o conceito "do berço ao túmulo" vem sendo substituído pelo conceito "do berço ao berço", uma vez que por meio do reuso, reciclagem e reaproveitamento da energia embutida nas embalagens e produtos, considera-se que produtos podem ter um ciclo de vida circular, sem apresentar um ponto final, ou descarte final, específico (UNEP, 2015).

O conceito de "berço ao túmulo" em uma ACV aplica-se a todas as suas etapas[1] de produção e processamento de um produto, e pode ser resumida pelas seguintes etapas: aquisição de materiais; industrialização; uso; e, descarte final (UGAYA, 2013).

De modo geral, numa ACV, a etapa "aquisição de materiais" contempla todos os processos necessários para a obtenção de matérias-primas, insumos, transporte e energia a serem consumidos ou empregados no processo produtivo do produto. Já a etapa "industrialização" abrange todos os processos de transformação até o produto a ser comercializado, podendo considerar também os fluxos de processos elementares de coprodutos, transporte até o consumidor e destinações de materiais excedentes dos processos. Por sua vez, a etapa "uso" refere-se aos pontos de comercialização e locais de consumo ou uso dos produtos. Por fim, a etapa "descarte final" considera os destinos das embalagens e produtos pós consumo, podendo abranger reuso, reciclagem, recuperação de energia e até a destinação final. Os processos de transporte, ou distribuição, podem ser incluídos em cada uma das etapas de produção e processamento de um produto, uma vez que está presente em todas as etapas, em maior ou menor intensidade. Entretanto, alguns autores preferem estabelecer a distribuição como uma etapa distinta e considerar as atividades de transporte em todas as etapas do ciclo de vida do produto.

A abrangência da ACV é determinada na etapa "aquisição de materiais" quando se define o seu escopo e não há na literatura limitação ao seu uso, uma vez que ela permite ajustes à função, às características individuais de cada produto, processo, disponibilidade de dados, robustez, transparência, completeza dos dados, informações a serem utilizadas, significância do processo elementar, entradas e saídas consideradas, experiência do seu autor e principalmente confiabilidade do dado utilizado. Atualmente, os esforços mundiais para o desenvolvimento da ACV estão considerando as dimensões sociais, ambientais, econômicas, tecnológicas e geográficas, a fim de melhorar a aplicação dos seus

[1] Os termos etapas e fases são empregados indistintamente em ACV.

resultados e contribuir para o conhecimento completo em sustentabilidade de um produto ou processo (UNEP, 2007; 2009; 2011; SCHLÖR; HAKE,2015).

Em uma Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida do Produto (ASCV) é possível avaliar os impactos ambientais de produtos e processos, de acordo com algumas categorias de impacto, por exemplo, mudanças climáticas, depleção de recursos, uso da terra, uso da água, efeitos toxicológicos sobre o ser humano, depleção da camada de ozônio, criação do ozônio fotoquímico, efeitos eco toxicológicos, eutrofização e acidificação sobre a biodiversidade (UNEP, 2011).

Para os aspectos sociais, a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S) identificou e definiu 31 categorias de impacto (CI) agrupadas em cinco grupos sociais: trabalhadores, consumidores, comunidade local, sociedade e atores da cadeia de valor (*stakeholders*). Para os aspectos econômicos, a Avaliação Econômica do Ciclo de Vida (ACV-E) considera os custos de obtenção, produção, uso, descarte dos produtos, os valores macro e microeconômicos; tanto os diretamente envolvidos na produção do produto e receitas geradas, como nos benefícios indiretos a todo local e região onde apresentam impactos (UNEP, 2009).

A UNEP/SETAC por meio do Programa LCI tem intensificado suas ações para esclarecer e estabelecer as diferenças metodológicas entre ACV, ACV-S, ASCV, ACV-E[1], a fim de melhorar sua compreensão, aplicação e qualidade dos resultados. De acordo com Barbosa Junior *et al.* (2008), a ACV é uma ferramenta gerencial ambiental voltada para o produto, e para que ela evolua no Brasil é preciso haver maior experiência em sua aplicação, padronização da metodologia e incentivos governamentais, podendo apresentar melhorias na gestão estratégica ambiental das empresas e ganhos de produtividade do sistema de produto.

2. Metodologia para elaboração de uma ACV

Existem vários modos de conduzir um estudo de ACV, devido, principalmente, à complexidade dos sistemas de produtos e às diferentes condições e características ambientais existentes em cada região (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008). Entretanto, a descrição de uma ACV deve atender a todos os seus princípios, contendo descrição geral do objeto de estudo, perspectivas de ciclo de vida, foco ambiental, abordagem relativa à função, unidade funcional, fluxo de referência, abordagem iterativa, transparência, completeza e prioridade da abordagem científica (ABNT, 2009a).

[1] Tradução dos autores. ACV-E é o acrônimo mais empregado no Brasil para Avaliação Econômica do Ciclo de Vida de Produto, embora seu acrônimo de origem no idioma inglês seja: LCC – *Life Cycle Costs* – e refira-se à avaliação dos custos dos produtos e processos produtivos. Atualmente, emprega-se o termo "econômico" em substituição ao termo "custo".

De acordo com as normas ISO 14040 e 14044, uma ACV deve cumprir quatro fases obrigatórias. A primeira fase consiste na definição do objetivo e escopo do trabalho (que definirá a abrangência da ACV); a segunda, na análise de inventário do ciclo de vida (ICV); a terceira, na avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV); a quarta, na interpretação dos resultados da avaliação do ciclo de vida. Ainda, há uma quinta fase, não obrigatória, que consiste na comunicação dos resultados da ACV (ABNT, 2009a). Essas fases estão representadas na figura 2, adiante.

As quatro fases obrigatórias da ACV têm propósitos específicos. Na fase 1, o estudo de ACV deve estabelecer claramente o objetivo da aplicação da ACV, e fornecer o escopo do estudo, o qual deve contemplar a definição da função do produto florestal, sua unidade funcional e o fluxo de referência, os quais definirão a fronteira do sistema de produto e todos os detalhamentos do processo em análise. A fase 2 (ICV) deve envolver a coleta de dados para o cumprimento do objetivo do estudo, quando deve ser elaborado o inventário dos dados de entrada e saída de cada um dos fluxos e processos elementares da ACV. Na fase 3 (AICV) deve prover as informações adicionais para auxiliar na avaliação e no melhor entendimento da significância ambiental dos resultados do ICV. Na fase 4, os resultados devem ser sumarizados e discutidos com base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com o objetivo e o escopo da ACV (ABNT, 2009a, 2009b). A fase 5 deve definir como e para quem os resultados da ACV serão comunicados.

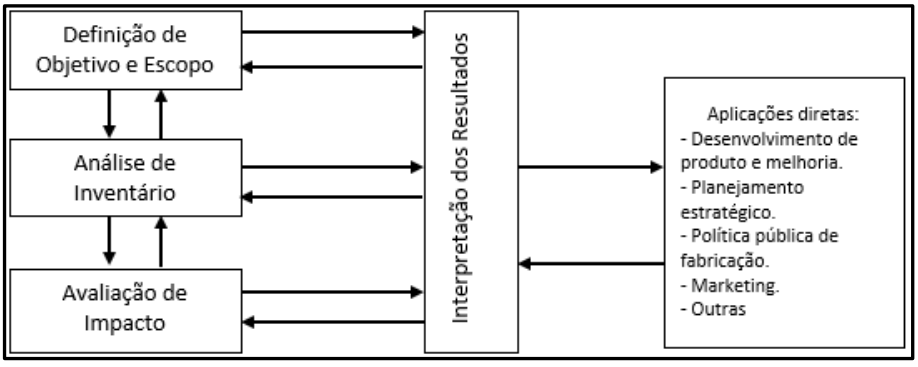


Figura 2. Fases obrigatórias de desenvolvimento de uma Avaliação do Ciclo de Vida de um Produto. Adaptado de ABNT NBR (2009b).

Além dessas fases obrigatórias, uma ACV deve conter outras informações fundamentais à qualidade dos relatórios gerados e sua revisão crítica (ABNT NBR, 2009a), como a determinação das relações entre as suas fases, condições para o uso das escolhas de valor e elementos opcionais. O estudo de uma ACV pode apresentar normalização dos dados, agrupamento, ponderações, análise da qualidade dos dados por meio das análises de contribuição, incerteza e

sensibilidade, e utilizar seus resultados para compará-los à outras ACV divulgadas publicamente (ABNT NBR, 2009b).

3. Considerações finais

Apesar dos primeiros estudos de ACV terem surgido na década de 1960, e em 1993 a SETAC ter contribuído muito para o seu desenvolvimento, somente a partir de 2002 com a criação do *Life Cycle Initiative* que a ACV ganhou força e aplicação mundial.

Por meio deste breve estudo da evolução da ACV no mundo e no Brasil, sua aplicação aos produtos florestais para a realidade global e a nacional brasileira, foi possível observar que apesar da ACV ser uma técnica para avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos de processos de produtos, ela tem recebido atenção nas mais diversas áreas de ação antrópica, tanto as produtivas, como as acadêmicas e governamentais mundiais, pois tem se tornado uma ferramenta de alta qualidade para a gestão de produtos, processos e serviços, tanto no setores públicos e como nos privados.

Os esforços mundiais para o desenvolvimento da ACV, por meio de iniciativas conjuntas envolvendo representantes de diferentes realidades mundiais, estão promovendo a sua aceitação, ampliando as possibilidades de uso e aplicação, aprofundando conhecimentos e compreensões sobre os benefícios da avaliação do ciclo de vida de um produto, seus aspectos produtivos, impactos ambientais, sociais e econômicos, gerando dados regionais e nacionais, banco de dados específicos, melhorando a precisão dos seus resultados, auxiliando na tomada de decisões mais assertivas para a qualidade produtiva e contribuindo para a redução das incertezas dos consumidores no momento da escolha de um produto a ser consumido.

No setor florestal, a ACV ainda apresenta grandes lacunas sobre os conhecimentos do ciclo de vida dos produtos florestais. Há poucos estudos para o desenvolvimento de dados precisos das cadeias produtivas, das cadeias de valor do produto florestal e madeireiro, aplicáveis ao estudo do ciclo de vida de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros específicos para cada realidade regional, nacional ou ainda global.

Especificamente, no Brasil, apesar das diversas iniciativas e ações desenvolvidas para o desenvolvimento da ACV, os resultados são poucos e com grandes incertezas, pois as metodologias empregadas foram desenvolvidas em outros países e os dados nacionais para as atividades brasileiras são restritos.

Como recomendações, é necessário adotar outras políticas públicas para o desenvolvimento da ACV nas universidades, centros de pesquisas, empresas e governo, já que a demanda por rotulagem ambiental é uma realidade mundial, mas

há carência de profissionais aptos ao desenvolvimento da ACV nos diversos setores econômicos, incluindo o setor florestal.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ABNT/NBR ISO 14041:2004. Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. 25 pag. 2004

___. ISO 14040:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura. 21 pag. 2009 (a).

___. ISO 14044:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações. 21p. 2009(b).

BAILIS, R.; RUJANAVECH, C.; DWIVEDI, P.; VILELA, A. O.; CHANG, H.; MIRANDA, R. C. Innovation in charcoal production: a comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. Energy for sustainable development. v.17. n.2 p. 189-200. 2013.

BARBOSA JUNIOR, A. F.; MORAIS, R. M.; EMERENCIANO, S. V.; PIMENTE, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P.; Conceitos e aplicações de análise do ciclo vida (ACV) no Brasil. Revista Ibero Americana de Estratégia. Gerenciais. São Paulo. v. 7. n. 1. Universidade Nove de Julho. São Paulo, Brasil. p. 39-44. 2008.

BARRANTES, L. S.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; UGAYA, C. M. L. Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil. V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida – I CBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Conselho Nacional de Metrologia. Normalização e qualidade industrial. Dispõe sobre a aprovação do programa brasileiro de avaliação do ciclo de vida e dá outras providências (Resolução nº4, de 15 de dezembro de 2010). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RES C000236.pdf>. Acesso em 20/08/2017.

CHEHEBE, J. R. B. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000, Rio de Janeiro: Qualitymark. 1997. 104 p.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise de ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio – uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17. n.1. p. 77-85. 2013.

COSTA, M. P. Socio-eco-efficiency of integrated and non-integrated systems of crop, forestry and livestock in the Ipameri city, at brazilian Cerrado. Marcela Porto Costa, 2015. 166 f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Campus de Sorocaba, Sorocaba, 2015.

CONSELHO DE MANEJO FLORESTAL/ FOREST STEWARDSHIP COUNCIL – FSC. Padrão FSC. Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: Padrão harmonizado entre as certificadoras FSC-STD-BRA-01-2014 V1-1 PT. Versão 1-1. 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. State of the World´s Forests 2016. Forest and Agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome. FAO. 2016.

___ How to feed the world in 2050. 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em 10/08/2017.

GONZAGA, C. A. M. Marketing verde de produtos florestais: teoria e prática. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 35, n.2, mai./ago. p. 353-368. 2005.

GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – CICLOG. Histórico da ACV. Disponível em: <http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv.php>. Acesso em 24/08/2017.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life cycle assessment: past, present, and future, environmental science and technology. Environment Science Technology. v.45. n.1. p. 90–96. 2011.

GUINÉE, J. B. Life cycle sustainability assessment: what is it and what are its challenges? Taking Stock of Industrial Ecology. p. 45-68. 2016.

HOLVOET, B.; MUYS, B. Sustainable forest management worldwide: a comparative assessment of standards. International Forestry Review. v.6. p. 99-122. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. Avaliação do ciclo de vida. Disponível em: <acv.ibict.br>. Acesso em 10/08/2017.

JENSEN, A. A.; HOFFMAN, L.; MØLLER, B.; SCHMIDT, A. Life cycle assessment. A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series 6, European Environmental Agency. 1997. 119p.

KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBWE-BLASCHKE, G. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Wood and Other Renewable Resources. International Journal Life Cycle Assessment. v.20. p. 556–575. 2015.

LANGER, M. Uso de agregados reciclados da construção e demolição na pavimentação de estradas rurais – um modelo de gestão integrada. Marcelo Langer, 2015. 164f. f.: il. Monografia de Especialização. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Curitiba. Curitiba. 2015.

LANGER, M.; JUNIOR, A. C.; AMARAL, K. G. C.; ALMEIDA, S. T.; OLIVEIRA, J. M.; CARRARO, N. L.; RAMIREZ, P. K. S.; UGAYA, C. M. L. Conjuntos de dados da produção de palma para a realidade Brasileira. In.: V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida - VCBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.

LIFE CYCLE INITIATIVE – LCI. Review of 40 LCA datasets from Malaysia, Brazil and Thailand completed. 2016. Disponível em: <http://www.lifecycleinitiative.org/dataset-review-malaysia-brazil-thailand/>. Acesso em 19/08/2017.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação do impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. Production /Produção. São Paulo. v.26. n.1. p. 160-175. 2016.

PIEKARSKI, C. M. Modelo multicritério para apoio à tomada de decisão baseado em avaliação do ciclo de vida e indicadores corporativos. / Cassiano Moro Piekarski. – Ponta Grossa, 2015. 146f.: il. 30cm. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate lci of residential wood building materials. In.: Wood and Fiber Science. v.37. Corrim Special Issue. p. 18–29. 2005.

RODRIGUES, T. O. (2013). Avaliação dos impactos ambientais da produção de biooléo a partir de serragem no estado do Pará. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD – 29/2013, Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.

ROMÃO, E. L. Avaliação do ciclo de vida do produto. Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, EEL-USP. Notas de aula. 2016_2.

SABLOWSKI, A. R. M. Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.TD – 002/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF. 2008. 164 p.

SCHLÖR, H; HAKE, J.-FR. Sustainability assessment circle. In.: The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015. Energy Procedia 75. p. 2641-2648. 2015.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. Guidelines for life-cycle assessment: a code of "practice". Sesimbra: Ed. Consoli, F *et al.* Pub. Setac. 1993. Workshop 31/3 – 3/4/1993.

STRAKA, T. J.; LAYTON, P. A. Natural resources management: Life cycle assessment and forest certification and sustainability issues. Sustainability v.2. p. 604-623. 2010.

THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT/THE WORLD BANK GROUP – IBRD. Planning for a low carbon future. Low carbon growth country studies program: lessons learned from seven country studies. Energy Sector Management Assistance Program. USA. Carbon Finance-Assist Program World Bank Institute. USA. Department for International Development, UK. 2012.

THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis. PD ISO/TR 14049:2000. ISO/TR 14049:2000. British Standards Institution – BSI. 2000. 43p.

UGAYA, C. M. L. Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos – Cap. 9. In.: Gestão ambiental / Paulo José Adissi, Francisco Alves Pinheiro e Rosangela da Silva Cardoso. – 1.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

UNITED NATIONS. Population Division (2014). World urbanization prospects: the 2014 revision. Highlights (ST/ESA/SER.A/352). Department of Economic and Social Affairs, New York. 2014a.

___. Population division. Urban and rural areas 2014. Department of Economic and Social Affairs. New York. 2014b.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Life cycle approaches, the road from analysis to practice. Division of Technology, Industry and Economics (DTIE). Production and Consumption Unit. Paris, France. 2005. 89p.

___. Life cycle management: a business guide to sustainability. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. Division of Technology Industry and Economics. 2007. 51p.

___. Guidelines for social life cycle assessment of products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service. 2009. 103p.

___. Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. 2011. 65p.

___. Uncovering pathways towards an inclusive green economy: a summary for leaders. Coord. Angeline Djampou. 2015.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. Production / Produção. São Paulo. v.23. n.2. p. 436- 447. 2013.

WILLERS, C.D., RODRIGUES, L.B.A. Critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. International Journal of Life Cycle Assessment. p. 1-9. 2013.

ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment. International Journal Life Cycle Assessment. V. 17. p.373:376. 2012.

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; GALINDRO, B. M.;. ALVARENGA, R. A. F.; SOARES, S. R. A Aplicação da avaliação do ciclo de vida no Brasil na última década. IV Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida. São Bernardo do Campo. SP. 2014.

Capitulo 14

Conceitos de funções florestais para construção de uma Avaliação do Ciclo de Vida no setor florestal

Langer, M.[1]; da Silva D. A.[2]; J. E. Arce[2] e S. H. Rocha[3]

1. Produção e uso de recursos florestais

De 1990 a 2015, a depleção florestal global foi de 3,1 %, cerca de 129 milhões de hectares, resultando uma área florestal remanescente inferior a 4 bilhões de hectares (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO, 2016). Essa área remanescente compreende as diversas tipologias florestais naturais locais e as plantações florestais comerciais, com diferentes e múltiplas funções madeireiras e não madeireiras.

Em 2015, a área mundial com plantações florestais comerciais era de 290 milhões de hectares (FAO, 2016), ou seja, menos de 1 % do total da cobertura florestal mundial. Contudo, as plantações florestais comerciais[4] vêm apresentando incremento anual de 1,9 % e, em relação a 2010, o seu crescimento acumulado era de aproximadamente 10 % (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR, 2016).

As florestas estão ganhando novos papéis de destaque no desenvolvimento econômico, passando de garantia de suprimento de matéria-prima para todos os usos da madeira, atuais e potenciais, a uma nova economia de baixo carbono; e as plantações florestais assumem papéis fundamentais nessa mudança (INDÚTRIA BRASILEIRA DA ÁRVORE - IBÁ, 2016). No Brasil, em 2016, as áreas com

[1] Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) E-mail: marcelolanger@ufpr.br
[2] Orientador, Doutor em Engenharia Florestal, Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR.
[3] Orientadora, Doutora em Engenharia Florestal, Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
[4] Termo designado para plantios florestais estabelecidos pelo homem e para fins comerciais, podendo ser formados por espécies nativas ou exóticas.

plantações florestais totalizavam 7,84 milhões de hectares, com incremento de 0,5 %, em relação às plantações florestais de 2015 (IBÁ, 2017).

As áreas plantadas com os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* são responsáveis pelo abastecimento de 91% do volume de madeira para as indústrias dos diversos setores madeireiros brasileiros (IBÁ, 2016; 2017). Em 2014, essas áreas de plantações florestais representavam 1,4 % da área total do território brasileiro (ACR, 2016) e, segundo os estudos de tendências elaborados por STCP (2016), as plantações de eucalipto continuarão crescendo e, em contrapartida, as pinus tendem a ser subtraídas por outras espécies florestais e agrícolas.

De acordo com o IBÁ (2016; 2017), no Brasil, o gênero *Eucalyptus* possui o maior volume em área de plantações florestais, com 5,6 milhões de hectares, localizadas principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, sendo que nos últimos cinco anos, as plantações desse gênero florestal apresentaram crescimento contínuo de 2,8 % ao ano (a.a.), e o Mato Grosso do Sul se destacou com o plantio de 450 mil hectares.

Por sua vez, o gênero *Pinus* possui 1,6 milhões de hectares, com maior representatividade nos estados do Paraná e Santa Catarina, porém, no período de 2010 a 2015, a área plantada com esse gênero está diminuindo a uma taxa de 2,1% a.a., e cerca de 600 mil hectares dos antigos plantios de pinus, no Brasil, já estão ocupados com outros gêneros florestais (IBÁ, 2016; 2017).

As plantações florestais comerciais e as florestas nativas ainda não possuem suas diversas funções reconhecidas. As coberturas florestais nativas ou plantadas podem apresentar distintos propósitos, como produção de diferentes produtos madeireiros e não madeireiros, uso múltiplo da floresta e de seus produtos, uso direto e indireto, conservação dos recursos naturais e, ainda, por seus valores ecossistêmicos à qualidade da vida planetária.

Para Puettmann e Wilson (2005) a madeira é um recurso renovável e ambientalmente amigável ao planeta, quando comparada a outros materiais, porém deve ser produzida sob padrões de responsabilidade socioambiental e técnicas de bom manejo[1] amparadas por programas de certificação.

Mesmo com o aumento do reconhecimento dos valores ecossistêmicos das florestas e o desenvolvimento de diversos programas de avaliação dos impactos e certificação de processos produtivos, o crescimento econômico mundial e a urbanização continuam exercendo imensa pressão sobre as reservas florestais naturais e seus benefícios. Esses fatores de pressão causam perdas aos valores ambientais e à biodiversidade; danos à saúde e à qualidade de vida dos seres humanos e, ainda, reduzem as reservas de matérias-primas naturais (EUROPEAN COMISSION, 2011; THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT – IBRD, 2012).

[1] O termo "bom manejo" foi adotado pelo *Forest Stewardship Council* (FSC) devido à complexidade dos fatores de definição para manejo sustentável florestal. Desse modo, um manejo florestal é definido como "bom manejo", quando atende a um nível mínimo dos padrões internacionais do FSC.

Segundo o IBRD (2012), nos países em desenvolvimento com economias emergentes, como Brasil, Índia e China, o desafio é duplo, pois além deles terem de reduzir a pobreza, precisam melhorar o gerenciamento do capital natural, mitigando as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e poluentes locais. Ressalta-se que, atualmente, a energia é o centro dos esforços globais para mitigar os problemas relacionados ao crescimento populacional e à redução das mudanças climáticas.

Para que o quadro atual de degradação ambiental seja revertido, é necessária a adoção de outros modelos econômicos, com a identificação e quantificação dos impactos ambientais, qualificação dos danos e definição de ações produtivas de baixo impacto. Os atuais paradigmas internacionais sobre os processos produtivos, sistemas econômicos e de desenvolvimento são definidos como "modelo econômico verde inclusivo de baixo impacto socioambiental", no qual o consumo de recursos e energia renováveis é fundamental (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PRAGRAMME; SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – UNEP/SETAC, 2015). Para Heck (2008), é necessário repensar os sistemas de gestão de fluxos de materiais para a produção mundial, inclusive para os produtos renováveis.

Apesar dos produtos florestais e madeireiros serem considerados renováveis, o seu consumo pode ser associado negativamente ao desenvolvimento humano, pois pode incentivar o desmatamento para obtenção de madeira para construção civil, geração de energia e outros usos (PUETTMANN; WILSON, 2005).

O uso da biomassa como combustível tem sido historicamente importante para o fornecimento global de energia e continua a ser a principal fonte contribuinte para o mix energético, em muitas economias emergentes e em desenvolvimento. Gaudreault *et al.* (2016) consideram que as florestas são uma fonte cada vez mais importante de matéria-prima para a bioenergia, uma vez que os esforços globais para mitigar as concentrações atmosféricas de CO_2 aumentam.

Recursos como a madeira, o carvão vegetal e os resíduos agrícolas têm sido utilizados por muitos países em desenvolvimento, devido a sua disponibilidade local e facilidade na conversão térmica. Todavia, a biomassa agroflorestal pode ser convertida em uma vantajosa fonte de combustível líquido e gasoso, bem como em energia elétrica de baixa emissão de GEE. A biomassa em forma de toras de madeira e os derivados da cana-de-açúcar constituem as principais fontes de energia renovável no Brasil (BAILIS *et al.*, 2013). A partir do ano 2000, o uso da biomassa como fonte de combustível para aquecimento e energia tem crescido no mundo em 55% e a produção de biocombustível líquido cresceu acima de 500% nesse mesmo período (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2011).

Os recursos florestais para produtos de funções diversas, como produção de madeira para carvão vegetal e biomassa para geração de energia, podem ser adaptados a um modelo econômico de baixo impacto. Se produzidos sob um bom manejo florestal, adequados aos princípios do desenvolvimento sustentável e aos

padrões de certificações internacionais, os recursos florestais são fontes de energia renovável e podem contribuir para a conservação do meio ambiente e para a redução das emissões de GEE no consumo energético (FAO, 2016; SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2006; IEA, 2016; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2016). Segundo IBÁ (2017), um hectare de plantação florestal de eucalipto para uso na siderurgia, para produzir ferro-gusa e aço, pode evitar a emissão de quatro toneladas de CO_2, principal GEE. Essas emissões de GEE são oriundas de combustíveis fósseis utilizados como fontes de energia e biorredutores para a produção de ferro-gusa e aço.

O uso e o consumo de recursos florestais, com funções diversas na cadeia produtiva de diversos setores, podem apresentar grandes contribuições para reduzir as diferenças sociais, gerar energia e preservar os recursos naturais (UNEP/SETAC, 2007; 2009). Porém, são necessárias mudanças tecnológicas e gerenciais nos sistemas produtivos, com adoção de ferramentas de quantificação, controle e redução dos impactos operacionais, a fim de trilhar o caminho do desenvolvimento sustentável (UNEP/SETAC, 2015; IBÁ,2017; UNEP/SETAC, 2011).

A certificação florestal e a gestão ambiental responsável, associadas aos princípios da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), são ferramentas de gestão empregadas no apoio às decisões gerenciais de organizações de diferentes setores produtivos. No setor florestal, essas ferramentas buscam desenvolver o bom manejo florestal com menor impacto social, ambiental e econômico e promover a maior responsabilidade socioambiental de suas atividades (STRAKA; LAYTON, 2010). A adoção dessas práticas de gestão e, ainda, a aplicação da ACV, podem auxiliar na elaboração de política públicas, nas decisões gerenciais e na escolha de processos produtivos sustentáveis em todos os segmentos da sociedade (UNEP/SETAC, 2009; 2011).

O objetivo deste capítulo é apresentar os diferentes conceitos das funções florestais para harmonizá-los aos princípios da ACV de produtos de base florestal, uma vez que a diversidade das coberturas florestais mundiais determinam diferentes funções para os recursos e valores das florestas. Ressalta-se que a definição incorreta das funções das florestas e de seus produtos podem gerar erros nos resultados provenientes de uma ACV. Saber identificar as funções florestais adequadamente faz parte da primeira fase da metodologia de construção da ACV. Essa fase tem como propósito definir o objetivo e o escopo do estudo da ACV. Tais definições podem assegurar a qualidade final dos resultados da ACV e contribuir para a definição de sistemas sustentáveis mundiais.

Este trabalho busca contribuir às estratégias do tema "metodologias de ACV dedicadas a setores estratégicos" definida no Fórum Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida realizado em 2015 (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT, 2016).

1.1 Atuais demandas da população

Para atender às demandas da população sobre a qualidade dos produtos e apoiar a decisão dos gestores dos diferentes setores industriais, algumas técnicas, metodologias e métodos de avaliação dos processos produtivos e dos produtos gerados vêm sendo aplicados no mundo. Atualmente, setores produtivos de vários países estão buscando ferramentas capazes de avaliar as características de sustentabilidade dos produtos e processos produtivos e suas correlações com o meio ambiente e a sociedade (LOPES *et al.*, 2011). Essa busca não se restringe mais à avaliação de produtos ou processos produtivos industriais, mas se estende ao setor financeiro e ao de serviços, por exemplo, a Resolução nº 4.327/2014, do Banco Central do Brasil (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2014).

A técnica de ACV é uma dessas ferramentas e pode contribuir para que os consumidores saibam como os produtos são produzidos, utilizados, reciclados e descartados, possibilitando o crescimento do "mercado verde" ou de "produtos verdes" (STRAKA; LAYTON, 2010; UGAYA, 2013). Sua aplicação está crescendo em todas as atividades empresariais e governamentais, inclusive no setor florestal (ZANGHELINI *et al.*, 2014; WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2013; STRAKA; LAYTON, 2010; ZAMAGNI, 2010).

1.2 Comportamentos dos consumidores em relação ao consumo dos recursos naturais

A partir do início de 1990, principalmente a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, realizada no Rio de Janeiro, Brasil, em 1992, uma parte da sociedade mundial tem mudado suas atitudes e comportamentos de consumo. Essa parte da sociedade mundial está buscando certezas de que suas escolhas de consumo tenham o menor impacto negativo possível sobre o meio ambiente e os recursos naturais, além de buscarem reduzir as desigualdades sociais e os desequilíbrios econômicos; como apregoado pelo paradigma do desenvolvimento sustentável, desde o final da década de 1980 (ROCHA; CHAVES NETO, 2014). Essa parte da sociedade mundial tem desenvolvido práticas mais conscientes de consumo de produtos florestais, considerando, além da sua composição, a origem da matéria-prima, seu sistema produtivo e seu descarte final (FAO, 2009). A aquisição de produtos com origem confirmada por certificações e rótulos ambientais, sociais, econômicos, dá segurança às decisões dos consumidores mais conscientes das necessidades do momento histórico atual.

Empresas que adotam modelos de gestão mais sustentáveis, ampliam suas atividades e aumentam suas participações nos mercados internacionais,

principalmente as empresas de base florestal, pois adequam seus padrões de gestão aos princípios e requisitos de sustentabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF, 2013; ROCHA, 2014; IBÁ, 2016). Na forma da lei ou por ações voluntárias, o consumo dos recursos naturais e de fontes energéticas são pilares fundamentais para a gestão sustentável de qualquer empreendimento empresarial (IEA, 2013; IBRD, 2012).

O acirramento da industrialização e a globalização do mercado demandam a necessidade de obter outro tipo de performance e, ainda, índices de qualidade dos produtos adequados aos princípios e objetivos do desenvolvimento sustentável, às políticas públicas dos países e aos programas de reversão de perda dos valores ambientais (LOPES *et al.*, 2011; BRASIL/MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, 2014; 2017; UNITED NATIONS/GENERAL ASSEMBLY, 2015a, 2015b). A integração dos índices de produtividade aos índices de sustentabilidade e aos conceitos de ciclo de vida de produto, define o atual padrão industrial e tem apresentado ganhos à indústria que os adota (SCHLÖR; HAKE, 2015; GRI/UN/WBCSC, 2015).

Por meio do atendimento às leis e às normas técnicas ou, inclusive, incorporando programas de certificações voluntárias, como a Série ISO 14.000, o FSC, o *Programme for the Endorsement of Forest Certification* / Programa Brasileiro para Certificação Florestal (PEFC/CERFLOR), a *International Council of Forest and Paper Associations* (ICFPA), a *Sustainable Forest Initiative, o American Tree Farm System* (ATFS), as empresas florestais vêm assumindo outros padrões de qualidade ambiental e social para seus negócios (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS, 2017; SBS, 2006; IBÁ, 2016; STRAKA; LAYTON, 2010).

A fim de manterem-se em mercados globalizados, as empresas florestais devem garantir o atendimento aos princípios e aos objetivos do desenvolvimento sustentável e assegurar outra performance de seus indicadores de gestão, por exemplo, indicadores de rendimentos econômicos sustentáveis, desenvolvimento social da região onde se inserem e medidas de conservação dos valores ambientais locais (LOPES *et al.*, 2011; STRAKA; LAYTON, 2010; ROCHA, 2014; GRI/UN/WBCSC, 2015). Essas empresas devem adotar técnicas de bom manejo aprovadas pelos órgãos ambientais nacionais para suas florestas nativas e para os seus reflorestamentos comerciais, atendendo às leis vigentes e aos princípios e critérios dos programas de certificações voluntárias, de que seu país é signatário (FSC, 2014; SBS, 2006; IBÁ, 2016).

Os objetivos das certificações das séries ISO 14.000, 26.000, BS 7750, SA 8000, FSC, PEFC, dentre outros, visam assegurar que os processos produtivos gerem produtos com menor impacto ambiental, social e ou econômico possível. De uma forma mais ampla, a técnica de ACV surgiu para auxiliar na adequada identificação desses impactos (UNEP/SETAC, 2011) e dar suporte a essas certificações, pois ela tem como propósito mensurar as atividades produtivas e produtos, ao longo

de todo o seu ciclo de vida, desde a extração até o seu descarte final (STRAKA; LAYTON, 2010).

Segundo IBÁ (2017), no Brasil, a área florestal certificada pelo FSC e pelo PEFC/CERFLOR é de 5,4 milhões de hectares, ou seja, 70,5% de toda a área com plantações florestais comerciais no Brasil, sendo que desse total, 2,9 milhões de hectares são certificados pelo PEFC/CERFLOR. Segundo o próprio FSC (2017), no Brasil, há 7,107 milhões de hectares certificados pelo FSC, incluindo 48 mil hectares certificados para projetos florestais de pequeno tamanho, definidos como *Small and Low-Intensity Managed Forest Standard* (SLIMF/FSC). Já de acordo com CERFLOR (2015), no Brasil, em 2015, havia 2,4 milhões de hectares certificados sob a sua chancela, com 20 certificados para manejo florestal e 68 para cadeia de custódia. Esses números expressam a preocupação do setor florestal em atender aos padrões de desenvolvimento sustentável.

O SLIMF tem como objetivo envolver produtores, comunidades e empresas que manejam ou exploram áreas pequenas ou de baixa intensidade, aumentando a oferta de madeira certificada, oriunda de um processo produtivo com valor social e ambiental.

No mundo, em 2017, 198,8 milhões de hectares de florestas são certificados pelo FSC, distribuídos em 84 países (FSC, 2017), porém a ACV para sistemas florestais, no Brasil e no mundo, ainda é pouco difundida e aplicada (KLEIN *et al.*, 2015); além disso, apresenta diversas lacunas nas metodologias e nas bases de dados (ZANGHELINI *et al.*,2014; WILLERS; RODRIGUES, 2013; ZAMAGNI, 2010; BARRANTES *et al.*, 2016; LANGER *et al.*, 2016; GAUDREAULT *et al.*, 2016). Especificamente, este capitulo enfocará o setor florestal e, por isso, os conteúdos e a abordagem para ACV serão direcionados aos produtos da cadeia florestal madeireira e não madeireira.

2. Conceitos e definições florestais harmonizados aos princípios da acv

2.1. Metodologia do trabalho

De acordo com a ABNT (2009a; 2009b), a fase 1 da metodologia de construção da ACV deve definir o objetivo e o escopo do estudo, uma vez que a determinação adequada dos objetivos e do escopo de uma ACV para as diferentes atividades agrícolas e florestais e para seus produtos, exige conhecimentos claros e precisos, a fim de eliminar as incertezas.

Para cumprir com o objetivo deste trabalho, somente a fase 1 será tratada aqui.

No exemplo apresentado adiante, o processo produtivo florestal pode ser definido por sua cadeia produtiva, cadeia de fornecedores, cadeia de valor ou, ainda, por sua cadeia de custódia, conforme o produto fabricado e a função desse produto. O processo produtivo florestal abrange as cadeias florestal e a madeireira. A cadeia florestal abrange todos os benefícios da floresta, como produtos madeireiros, não madeireiros e serviços ecossistêmicos e, a cadeia madeireira, refere-se especificamente aos produtos lenhosos gerados. Tanto as cadeias florestais quanto as cadeias madeireiras apresentam diversas variáveis produtivas e fatores produtivos diferenciados. Em ACV, tais variáveis e fatores são definidos como "processos e fluxos elementares", contendo entradas e saídas para diferentes compartimentos ambientais.

Para facilitar o desenvolvimento deste trabalho e a sua compreensão, será apresentado um exemplo de processo produtivo e produto florestal.

2.2. Exemplo de ACV florestal

Como exemplo para este estudo foi definida a ACV para "produção de energia renovável", obtida a partir de biomassa florestal oriunda de uma plantação florestal comercial de pinus, no sul do Brasil, sendo a plantação certificada pelo FSC.

A plantação de pinus gera, como produtos, toras e materiais resultantes do processamento das toras. Os materiais resultantes são definidos como "mix de biomassa de pinus" e é formado por ponteiras, cascas, galhos, folhas e também toras descartadas por apresentarem defeitos de forma e de qualidade. Uma pequena parte desses materiais é mantida nas plantações florestais para proteção e ciclagem nutricional dos solos, e a grande parte é coletada para ser transformada em biomassa, na forma de cavaco, para geração de energia renovável.

A função definida para o exercício deste trabalho de ACV é "gerar energia renovável", tendo como unidade funcional a "geração de 1000 kcal de energia renovável".

Para gerar a unidade funcional foram considerados os fluxos de produto florestal tora de pinus e os fluxos dos coprodutos florestais mix de pinus (galhada, casca, copa, massa verde, discos e troncos de madeira desqualificados). O "fluxo de referência" é a quantidade necessária de biomassa florestal cavaco, a partir do produto tora de pinus e do coproduto mix de pinus, necessária para geração de 1000 kcal de energia. A seguir é apresentado, no quadro 1, o objetivo e o resumo do escopo da ACV florestal definida para este trabalho.

Tabla 1. Resumo do objetivo e escopo da ACV florestal definida para esse trabalho.

Função da ACV: gerar energia renovável;
Unidade funcional: gerar 1000 kcal de energia renovável;
Fluxo de referência: 300 kg de biomassa cavaco a partir de toras de pinus ou 470 Kg de biomassa cavaco a partir de mix de pinus (para gerar 1000 kcal de energia renovável).

Para o sistema de produto da biomassa florestal cavaco a ser utilizado neste trabalho, foi definido como "ponto inicial do sistema de produto" as pilhas de toras de pinus e as pilhas de mix de pinus no talhão florestal até a caldeira da indústria para geração de energia renovável, de acordo com a figura 1 abaixo:



Figura 1. Sistema de produto da ACV para geração de energia a partir das pilhas de produtos e coprodutos de uma plantação de pinus. Os autores, 2017.

Para o exemplo utilizado neste estudo foram considerados somente os fluxos de massa do sistema de produto, ou seja, somente os volumes de madeira do processo. Os processos elementares considerados para a fronteira do estudo foram os fluxos de entradas de massa (volumes de materiais) das pilhas formadas de toras e mix de pinus dispostas no talhão florestal; volume de produção de cavaco por um picador móvel com sua disposição direta na carroceria do caminhão; transporte do cavaco pelo caminhão até o pátio de estoque de biomassa florestal do tipo cavaco de pré-consumo para geração de energia em caldeiras; transporte via esteira para alimentação da caldeira de geração de energia; e, geração de energia, de acordo com a unidade funcional e o fluxo de referência, conforme apresentado na figura 2, a seguir:



Figura 2. Fluxos de produtos e processos elementares da fronteira de pesquisa considerada para a ACV de geração de energia a partir das pilhas de produtos e coprodutos de uma plantação de pinus. Os autores, 2017.

Foram consideradas somente as atividades de produção de cavaco e de geração de energia. Não foram consideradas as funções de reciclagem de nutrientes pelos materiais residuais que permanecem no talhão de pinus; também não foram considerados os consumos de combustíveis, as emissões de GEE produzidas para a produção do produto, o transporte e a queima do cavaco, e nem as possibilidades de uso das cinzas da caldeira para fertilização de solos ou para a geração de compostos orgânicos.

A seleção dos processos elementares utilizados é chamada de "critério de corte". Para a delimitação do sistema de produto, os critérios de corte podem ser físicos (massa e energia), econômicos (recursos investidos e receitas geradas) ou de significância ambiental (áreas de maior contribuição). Este estudo utilizou critérios de corte físicos: volume de matéria-prima primária (toras e mix de pinus) para geração de 1000kcal de energia renovável.

As atividades gerenciais são sempre conduzidas de forma a evitar a geração de resíduos operacionais e, quando ocorrem, o proprietário assegura-se de reutilizá-los, reciclá-los ou dar destinação social e ambientalmente corretas. No último ano, a plantação adquiriu a certificação SLIMF do FSC para atividade florestal em pequenas áreas (até 1000 ha).

2.3. Cadeia de custódia e ciclo de vida do produto

Programas internacionais de certificação florestal e ambiental apresentam sistema de produção e categorização de produtos denominado "cadeia de custódia". A cadeia de custódia refere-se ao delineamento de processos e produtos que permite fazer o caminho reverso a sua produção, a fim de identificar a origem do produto

(FSC, 2014). De acordo com o FSC (2017) havia 32.802 certificados de cadeia de custódia FSC em 121 diferentes países.

Esse caminho reverso é comumente chamado "rastreabilidade" e permite um determinado produto ter todas as suas etapas, fatores e recursos produtivos consumidos identificados, qualificados e quantificados. Dessa forma, os consumidores nos diferentes pontos da cadeia produtiva e da cadeia de valor, podem obter informações, dados, critérios e certezas sobre o produto em uso ou a ser consumido (FSC, 2011; 2014).

Entretanto, a definição da cadeia de custódia e de rastreabilidade do processo produtivo de um produto não é tarefa fácil. Muitas vezes não há informações ou elas não estão corretas ou, ainda, não são confiáveis (STRAKA; LAYTON, 2010).

Tomando o exemplo de produção de biomassa cavaco florestal, a denominação "biomassa" pode ser empregada para produtos com características físicas e químicas diferenciadas, oriundos de distintos processos, diferentes balanços de massa, de energia e de recursos, sob fatores econômicos, ambientais e humanos distintos, ou seja, ciclos de vidas totalmente distintos. Portanto, as ACV possíveis de serem construídas terão escopos diferenciados.

A definição de "ciclo de vida de produto" envolve além da determinação das etapas de produção de um produto, a fronteira do sistema de produto, com todos os processos e fluxos elementares considerados, tanto para a matéria-prima, como para a energia empregada, emissões geradas e a quantificação e qualificação dos benefícios, impactos e danos, identificados desde a extração, o processamento, o uso e o descarte final.

As definições de cadeia de custódia e rastreabilidade são empregadas nos programas de certificação florestal e se assemelham às definições de ciclo de vida de produto e cadeia produtiva, porém diferem-se do conceito de cadeia de valor, pois esta é mais abrangente do que aquelas, em relação aos fatores de produção, seus impactos e aos benefícios. A definição de ciclo de vida é ainda mais ampla, pois considera, além dos fatores de produção, as fontes energéticas, as emissões resultantes, os impactos e os danos causados ao longo de todo o sistema de produto (KLEIN *et al.*, 2015).

2.4. Conceitos e definições de base florestal

2.4.1. Conceitos de resíduos, coprodutos e produtos florestais e madeireiros

Até meados da década de 2010, os materiais resultantes dos processos de manejo florestal e da transformação das toras não tinham valor e nem eram destinados a uma cadeia produtiva comercial, por isso, eram chamados de "resíduos florestais" e "resíduos da indústria madeira", respectivamente.

A partir do início dos anos 2000, esses resíduos passaram a ter valor produtivo e a ser identificados como "subprodutos". Brand *et al.* (2004) realizaram um estudo sobre o poder calorífico dos materiais oriundos das industrias florestais e madeireiras, definindo-os como "resíduos florestais" e "resíduos madeireiros". Atualmente, esses materiais são denominados "coprodutos", uma vez que apresentam função produtiva de valor econômico, social e ambiental agregado.

Esses produtos continuam sendo produtos originados de um processo florestal ou industrial madeireiro, podendo ser oriundos de processo produtivo primário, secundário ou terciário, e suas denominações dependerão das funções definidas para eles. Ou seja, poderão continuar sendo resíduos, caso não sejam empregados em nenhum outro processo produtivo. Entretanto, se esses materiais forem empregados em um outro processo produtivo, eles passarão a ser definidos como "coprodutos florestais" ou "coprodutos madeireiros".

Esta compreensão é necessária para a elaboração de uma ACV, para a adequação tecnológica e financeira de processos e produtos derivados e, ainda, para outros fatores, como escassez e restrições à obtenção de matérias-primas florestais; desenvolvimento e inovações tecnológicas; mercados alternativos; maiores compreensões sobre os benefícios das florestas; sanções ambientais, leis ambientais mais restritivas para a gestão dos recursos e espaços naturais; valor do meio ambiente e seus serviços ecossistêmicos; valor social; adequação a programas voluntários de certificação florestal e madeireira, adoção de princípios de economia de baixo carbono, inclusiva e circular.

Os produtos e coprodutos florestais e madeireiros podem sofrer alterações físicas, mecânicas e químicas significativas, por exemplo, podem ser transformados em celulose, papel, carvão, pellets, briquetes, biocombustível, alcatrão, ácidos pirolenhosos; compósitos de madeira fibrosos (MDF); laminados (chapas e painéis de fibras ou particulados – OSB); painéis sólidos e outros.

Essa diversidade de produtos florestais e industriais madeireiros apresentam valores agregados e, sob os princípios da ACV, demandam balanços de massas, de energia e de recursos específicos para cada entrada e saída de um sistema de produto e, portanto, devem ser considerados no escopo da ACV.

As definições de coprodutos e resíduos podem ser estabelecidas por sua função. Diferentes formações florestais, nativas ou plantadas, possuem diferentes funções, usos e valores. As florestas e seus componentes estruturais arbóreos e arbustivos podem apresentar usos simples, múltiplos diretos e indiretos (serviços ecossistêmicos). Por isso, no processo de construção de uma ACV é obrigatório caracterizar corretamente a função da floresta ou da plantação florestal, da indústria madeireira e de seus produtos, pois dessa adequada caracterização da função da floresta, da indústria madeireira e dos produtos, será definida a função da ACV e seus demais elementos.

Em uma ACV, esses diferentes produtos e coprodutos florestais e industriais madeireiros, e seus distintos arranjos produtivos, compõem o sistema de produto, com específicas fronteiras do sistema, funções, unidades funcionais, fluxos de referência, processos elementares, critérios de corte e alocação de recursos. Essas especificidades devem ser respeitadas e consideradas na identificação e definição do objetivo e do escopo de uma ACV.

Segundo ABNT (2009a; 2009b) um produto pode ser um bem ou serviço, portanto, uma floresta pode ser em si um produto, e qualquer um dos seus materiais pode ser considerado como coproduto. Então, uma floresta nativa classificada como unidade de conservação com serviços ecossistêmicos e valor ambiental pode ser um produto ou coproduto de uma ACV; bem como, a produção de biomassa florestal (lenha, cascas, galhadas, folhas, raízes e outras partes das árvores) para geração de energia também pode deixar de ser resíduos e ser definida como um produto em si.

Para facilitar a compreensão da cadeia de custódia, e a construção das ACV dos diversos produtos e coprodutos de base florestal e industrial madeireira, a seguir estão apresentadas categorizações das diferentes cadeias e produtos, e também dos conceitos e definições necessários para uma ACV.

2.4.2. Conceitos florestais aplicáveis a ACV

Os conceitos e definições aqui, aplicáveis à ACV, serão adequados aos termos florestais, de acordo com a ABNT (2004; 2009a; 2009b), que apresenta os conceitos e definições necessários para a construção de qualquer ACV. Assim, estão apresentados alguns conceitos e definições florestais que podem servir de base para a definição de produto, função e construção de ACV florestais.

Resíduo florestal: de acordo com leis e políticas nacionais, com princípios da ACV e os atuais princípios da economia circular verde e inclusiva, todos os materiais utilizados na cadeia produtiva florestal sem destinação ao reuso, reciclagem ou reaproveitamento energéticos são definidos como "resíduos", por exemplo, luvas operacionais utilizadas, embalagens alimentares, estopas, papéis

utilizados, óleos retirados das máquinas, partes de insumos ou matérias-primas utilizadas e águas de lavagens, que são abandonados em campo (com ou sem potencial poluente) ou enviados a um destino final especial e legalizado. Porém, se, de algum modo, esses materiais passarem a integrar outra ou outra cadeia produtiva, eles, serão enquadrados no conceito de "coprodutos". O mesmo raciocínio aplica-se para os resíduos florestais lenhosos gerados nos processos produtivos dos produtos madeireiros na floresta que, então, passarão a ser definidos como "coprodutos" da madeira.

Resíduo industrial madeireiro: materiais consumidos ou gerados ao longo do processo produtivo do produto que não tenham aproveitamento ou nenhuma outra função definida, não fazendo parte de nenhum outro processo elementar, outra cadeia produtiva ou cadeia de valor, e tenham como destinação final os aterros ou lixões, serão considerados "resíduos", pois não tiveram nenhum reuso, reaproveitamento, reciclagem e nem recuperação energética, e seus volumes serão contabilizados como saídas do processo. Atualmente, aproximadamente 100% dos resíduos florestais e madeireiros podem ter novas funções em outros fluxos de referências e outras cadeias produtivas.

Fonte energética: Energia potencial química, devido às agregações moleculares; biomassa, álcool, óleos vegetais, lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas e florestais; resíduo urbano e a inclusão da biomassa como fonte de energia potencial química, se deve ao fato dela ser transformada em energia útil, porém, poderia ser considerada como energia solar pelo modo como é produzida (ACIOLI, 1994).

Produto florestal: de acordo com os princípios da ACV, produto é todo e qualquer bem ou serviço de uma atividade. Com base no exemplo dado, produto florestal pode ser cadeia produtiva florestal, cadeia de suprimento ou cadeia de valor de base florestal[1] para a geração de energia e seus benefícios, como por exemplo, as emissões de GEE evitadas pelo uso de fonte energética renovável. Como produto florestal podem ser considerados os diversos produtos, coprodutos e resíduos florestais – madeireiros e não madeireiros gerados.

Produto florestal madeireiro primário: todos os produtos oriundos da madeira de pinus com crescimento do meristema secundário, apresentando componentes lenhosos (lignocelulósicos) em suas estruturas e que não recebem nenhum tipo de processamento, por exemplo, troncos vivos e mortos, com e sem casca, galhos vivos e mortos, nós de galhos e raízes. Esses produtos podem ser tratados, processados e transformados na própria área florestal[2].

Produto florestal madeireiro secundário: todos os produtos florestais madeireiros primários que, ainda na área florestal de pinus, recebem um segundo processamento, por exemplo, descascamento das toras de pinus, esquadrejados,

[1] Os termos "produtos de base florestal" e "produtos de base industrial madeireira" serão determinados como produtos florestais. Entretanto, quando houver necessidade, os mesmos serão empregados distintamente.
[2] A definição do local onde o produto é processado é obrigatória, pois determinará os seus processos e fluxos elementares.

transformação em tábuas, secagem, vigas, pranchões, cavacos, carvão, contudo, precisam receber um primeiro processamento na floresta.

Produto florestal não madeireiro – conceito restrito: todos os produtos não lenhosos oriundos diretamente das árvores de pinus, por exemplo, cascas (sem característica lenhosa), acículas, pinhas e pinhões, sementes, resinas, gomas, essências, extrativos aromáticos, medicinais e alimentares.

Produto florestal não madeireiro - conceito amplo: além dos relacionados como produtos florestais não madeireiros sob o conceito restrito, inclui-se nesta categoria os serviços ambientais e serviços ecossistêmicos[1] da floresta, como água, solo, ar, biodiversidade, paisagem, estoque de carbono, controle de temperaturas, umidades relativas do ar, bem-estar e turismo.

Produto industrial madeireiro primário: produtos provenientes de toras de pinus que recebem algum tipo de processamento em uma unidade industrial diferente da área florestal, e tem sua forma física e característica natural alteradas em algum nível, por exemplo, peças individuais classificadas como lâminas, tábuas (pranchões, sarrafos, caibros, pranchas, ripas, ripões, vigas, pontaletes)[2], podendo ser secos ou úmidos, rústicos ou lixados, esquadrejados, chanfrados, limpos, livres de nós e defeitos, porém, não são reagregados, isto é, não recebem colagem, uniões, fixações a outras peças. Nesta categoria também podem ser enquadrados os cavacos oriundos da moagem de toras, galhos, raízes, copas de árvores; produtos desagregados em picadores, pó de serra, maravalhas, costaneiras e aparas, desde que tenham sido gerados ou produzidos em uma unidade industrial.

Produto madeireiro secundário: após os processamentos primários, os produtos podem receber novos tratamentos, sendo desagregados na forma de fibras e reagregados como celulose e papel, por colagem direta (*finger joint*, painéis sólidos etc.) ou colagem indireta (painéis laminados, OSB). Podem ainda ser transformados em outros produtos como cavaco a partir de sobras ou rejeitos de processos (costaneiras, aparas etc.). Esses últimos podem ser empregados para a produção de energia direta ou novamente processados para formar compósitos como pellets, briquetes, papel e painel de MDF. Cada um desses produtos apresenta sistemas de produto específico, com fluxos e processos elementares diferenciados, e podem ser definidos como madeireiros terciários.

Produto madeireiro terciário: oriundos do processamento secundário por meio do retorno, reciclagem ou reprocessamento dos resíduos a partir da reagregação de partículas, fibras, compósitos de madeira e dos acabamentos dados a um produto, tipo pintura, textura, envernizameto e outros.

Coproduto florestal: para a ACV, coproduto é qualquer um entre dois ou mais produtos procedentes do mesmo processo elementar ou sistema de produto

[1] Serviços ambientais são atividades antrópicas que visam aumentar os benefícios gerados ao meio ambiente (CHOMITZ *et al.*, 1999), e serviços ecossistêmicos são processos ecossistêmicos capazes de sustentar a vida (DAILY, 1997).

[2] Estas denominações derivam de acordo com a cultura regional e o conhecimento popular e, por isso, a sua aplicação pode variar de uma região para outra.

(ABNT, 2009a; 2009b). De acordo com essa definição, coproduto florestal pode, por exemplo, ser um ou todos os produtos produzidos entre a tora e a geração de energia renovável. Ou seja, cascas, acículas, galhos, cavacos, materiais oriundos da colheita e empilhamento das toras de pinus, mix de biomassa de pinus, que não foram utilizados para a geração de energia renovável, e que podem ser considerados como material para estoque de carbono no solo e ou nos materiais não colhidos.

Coproduto industrial madeireiro: no setor florestal, a definição de coproduto é a mesma descrita no item coproduto florestal. Contudo, como coproduto industrial madeireiro, pode-se incluir todos os produtos gerados nos diferentes processamentos primários, secundários e terciários das toras e matérias-primas florestais, incluindo a geração de energia renovável, as cinzas das caldeiras, o vapor da caldeira utilizado em processos de secagem de produtos, ou pó de serra, serragem, maravalha, aparas, cavacos etc. Na elaboração da ACV, todos esses coprodutos podem ser definidos como emissões sólidas ou gasosas, se não forem reaproveitados, sendo definidos como "resíduos de saídas". Contudo, se forem utilizados para produzir outros produtos industriais madeireiros, como pellet, briquete, celulose, MDF e OSB, serão considerados coprodutos ou matérias-primas de "entradas de processos".

Cadeia de produto florestal[1]: é definida por todas as atividades que geram produtos e coprodutos na floresta, podem ser madeireiros e não madeireiros. Os produtos da cadeia florestal podem ser primários, secundários ou terciários, desde que não tenham sido retirados da floresta para receber processamentos mecânicos, físicos ou químicos em unidades industriais.

Cadeia produtiva florestal: para definir a cadeia produtiva florestal é preciso diferenciar as "florestas nativas" das "plantações florestais comerciais". A cadeia produtiva de florestas nativas inclui, por exemplo, todas as atividades de legalização da floresta, identificação de espécies, quantificação, elaboração e aprovação do plano de manejo florestal, manejo de cipós e colheita de árvores selecionadas. Para a cadeia produtiva de plantações florestais comerciais é possível citar, por exemplo, todas as atividades relacionadas à aquisição da terra, insumos, matérias-primas para o preparo da área de implantação florestal, produção de mudas florestais, plantio, manutenção, colheita e transporte dos produtos gerados até o seu local de consumo. Para ambas as cadeias, os conceitos de produtos madeireiros e não madeireiros são aplicáveis, ou seja, as funções respectivas podem ser produção de toras de madeira, ou produção de gomas e resinas, e turismo. Esse conceito restringe-se à relação direta dos fatores sociais, ambientais, tecnológicos e econômicos dos processos produtivos de produtos que apresentam remuneração.

Cadeia produtiva industrial madeireira: envolve as atividades específicas de aquisição de matérias-primas, insumos, energia, mão de obra; transporte e

[1] A partir deste ponto do trabalho o termo "produto" refere-se a produtos, coprodutos, materiais (resíduos), madeireiros e não madeireiros, bem, serviços e, portanto, somente o termo produto será empregado.

movimentação de máquinas interna e externa correlacionadas, gestão, secagem, armazenamento; transformação, processamento, tratamento e beneficiamentos da madeira, cogeração de energia em unidades industriais, considerando todas suas fases produtivas e todos os produtos gerados. Considera e restringe-se à relação direta de materiais, atores, tecnologias e recursos envolvidos nos processos produtivos dos produtos que apresentam remuneração.

Cadeia de suprimento: este conceito envolve os diversos "atores de fornecimento" de materiais, matérias-primas, insumos, energia, combustível, transporte e mão de obra; "transformadores" e "fabricantes" de produtos; "transportadores" e "distribuidores" dos produtos; e, consumidores. De modo geral, a cadeia de suprimento segue um fluxo de produção e emprego de serviços, desde a aquisição de materiais para a extração da matéria-prima, produção, processamento, consumo, até a destinação final, gerando custos e possíveis receitas. Portanto, a definição de ator da cadeia de suprimento varia a cada produto e processo elementar. (Figura 3)



Figura 3. Fluxos de cadeia de atores para suprimento a serviços florestais.
Os autores, 2017.

Cadeia de valor florestal: envolve todos os produtos florestais. São todas as fases que um produto, bem ou serviço, recebe ao longo de seu processo produtivo, considerando os seus agentes e fatores produtivos, os atores sociais envolvidos e afetados, diretos e indiretos, por sua cadeia produtiva, agregando benefícios e gerando receitas diretas e indiretas, ganho e aumento na qualidade de vida tanto dos profissionais envolvidos, quanto da sociedade que é afetada pelas atividades do produto. Apresenta um conceito mais amplo do que o conceito de cadeia produtiva, pois inclui no processo os impactos negativos e positivos diretos e indiretos, tanto para os fatores econômicos, como sociais e ambientais. Considera todos os resultados gerados pelas políticas de gestão, produção e governança da unidade empresarial, suas relações com os governos locais, sociedade, meio ambiente e desenvolvimento econômico local e regional.

Cadeia de valor industrial madeireira: conceito amplo da cadeia produtiva industrial madeireira, pois considera todos os fatores sociais, ambientais, tecnológicos, culturais e financeiros diretamente envolvidos no processo produtivo e também os afetados por suas atividades produtivas. Por exemplo, uma comunidade no caminho de transporte da madeira até a indústria é afetada por essa atividade; a sociedade que recebe benefícios por meio de impostos e geração de serviços indiretos, dando sustentabilidade às operações da empresa e

à qualidade de vida dos seus atores diretos e indiretos, por exemplo, a padaria, o supermercado, a farmácia, muitas vezes não pertencem a cadeia de suprimento de um produto, porém a sua existência e permanência na cidade é afetada pelas atividades industriais madeireiras e às vezes, só são garantidas devido à aquisição de seus produtos pelos trabalhadores diretos e indiretos da indústria madeireira.

Ciclo de vida: de acordo com a ACV o ciclo de vida de um produto contempla as fases de extração da matéria-prima, processamento e industrialização, uso e descarte final, apresentando estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, considerando as entradas de materiais, energia, mão de obra e recursos investidos, e as saídas de produtos, emissões e receitas.

Ciclo de vida florestal: em "florestas nativas", representa as fases de sucessão ecológica de uma floresta em uma determinada área, com estágios contínuos de desenvolvimento e maturação, desde o surgimento de seus primeiros indivíduos até o estabelecimento do seu clímax. Em "plantações florestais comerciais", representa todas as fases operacionais necessárias para o estabelecimento do número inicial de plantas, ou seja, desde a produção da muda, preparo do terreno, suas diversas atividades silviculturais, de manutenção do povoamento, de desbaste e colheita florestal, até o corte final desse povoamento. Um ciclo florestal pode ter tempo de vida indeterminado.

Ciclo de vida de produto florestal: foi visto anteriormente que é possível ter produtos florestais madeireiros e não madeireiros. Esses últimos podem ser restritos ou amplos, de acordo com a definição e a função da floresta. O ciclo de vida de um produto florestal madeireiro pode considerar como ponto inicial a árvore; as toras colhidas; as tábuas obtidas das toras e móveis confeccionados a partir das tábuas. Uma vez confeccionado um produto móvel, para fins de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) do produto, é preciso definir o tempo de vida do produto, por exemplo, 20 anos, tempo de duração média de um móvel, ou pode ser estendido até o seu descarte final, período pós uso. Se for considerado o período de pós uso, então, deve-se considerar as possibilidades de reuso, reciclagem, transformação em matéria-prima para geração de energia ou mesmo a sua disposição final em um aterro sanitário ou no meio ambiente. Conforme o delineamento estabelecido para o sistema de produto, haverá diferentes funções, unidades funcionais, fluxos de referência e processos elementares a serem considerados na ACV, por exemplo:

Exemplo 1

Função da ACV: produzir toras de pinus;

Unidade Funcional: produzir 1m³ de toras de pinus;

Fluxo de referência: 1,5 toneladas de madeira em pé para produzir 1m³ de toras de pinus.

Exemplo 2

Função da ACV: secar tábuas de madeira sólida;

Unidade funcional: 1 m³ de tábuas de madeira solida seca;

Fluxo de referência: 300 kg de biomassa (cavaco) necessários para secar 1 m³ de tábuas de madeira sólida.

Exemplo 3

Função da ACV: produzir mesa de quatro lugares;

Unidade funcional: 1 mesa de 4 lugares com tábuas de madeira solida seca;

Fluxo de referência: 1,5 m³ de tábuas de madeira sólida seca para produção de 1 mesa de 4 lugares de madeira sólida.

Fluxo de produto: é a entrada ou saída de produtos provenientes de ou com destino a um outro sistema de produto. Na cadeia produtiva florestal e industrial madeireira é fácil perceber os diferentes serviços e bens envolvidos em cada uma das atividades de um produto, ou de todos os diferentes produtos gerados como função do sistema de produto, que podem ser reciclados, reutilizados, ou ainda ter sua energia recuperada. Na função do exemplo de estudo da ACV deste capitulo, "gerar energia renovável" todos os processos de transformação da tora ou mix de biomassa até a energia renovável, são fluxos de produto, uma vez que geram diferentes produtos.

Fluxo elementar florestal: é o material ou energia retirado do meio ambiente e que entra no sistema em estudo sem sofrer transformação prévia por interferência humana; ou material ou energia que é liberado no meio ambiente pelo sistema em estudo sem sofrer transformação subsequente por interferência humana. Adequando a definição para este estudo, o fluxo elementar florestal é o processamento da tora de pinus, seu empilhamento e carregamento até o picador, não houve transformação do produto. O processo de moagem da tora de pinus ou mix de pinus passa a compor outro fluxo elementar florestal, pois sofre transformação, porém inclui o transporte até o pátio de pré-armazenamento, e o seu descarregamento. Uma vez armazenado no pátio, o cavaco pode sofrer contaminação por produtos diversos, sofrer reações químicas de decomposição, misturar-se a outros cavacos enquanto estiver em armazenamento ou sendo transportado via esteiras até a entrada da caldeira, o que caracteriza diferentes fluxos elementares e a modificação do produto. A entrada na caldeira para geração de energia renovável, significa a transformação do cavaco em calor, ou seja, novo fluxo elementar. Neste exemplo é possível observar quatro fluxos elementares com entradas e saídas de massa, de energia e de recursos distintos para cada um deles.

Fluxo elementar industrial madeireiro: utilizando a definição de fluxo elementar descrita no item anterior, pode-se definir como fluxo elementar

industrial madeireiro cada um dos processos de transformação da tora, primários ou não, desde o descascamento, esquadrejamento, produção de pranchas, ripas, sarrafos, da produção dos coprodutos cavacos, produção de painéis e cogeração de energia. Neste caso os fluxos elementares dependerão do desenho de cada um dos sistemas de produto que a unidade industrial definir, podendo variar em grandes quantidades.

Fluxo de energia: nas cadeias florestais e industriais madeireiras os fluxos de energia podem ser diversos, para cada uma de suas atividades e produtos gerados, por exemplo, combustíveis consumidos para colheita e transporte de toras, processamento de cavaco, transporte de trabalhadores, energia elétrica para operação de máquinas industriais e atividades de escritório. Numa ACV, o fluxo de energia é toda a entrada e saída de um processo elementar ou sistema de produto quantificada em unidades de energia, podendo ser chamado de "entrada de energia" e de "saída de energia".

Alocação: repartição de fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outro sistema de produto. De acordo com o exemplo definido na seção 2.2, anterior, é feita a seguinte alocação, com base na divisão de massa: a plantação de pinus é manejada em regime de manejo de sete anos, com produção de $350 m^3.ha^{-1}$ (metros cúbicos por hectare), sendo $230 m^3.ha^{-1}$ de toras e $120 m^3.ha^{-1}$ de mix de biomassa de pinus.

Critério de corte: especificação, dos limites que definem a exclusão de dados de um estudo. Os critérios de corte são definidos em termos de fluxos de material ou fluxo de energia ou, ainda, do nível de significância ambiental associado a processos elementares ou a sistemas de produto. No exemplo apresentado na seção 2.2 foi definido como critério de corte para este trabalho, somente o uso do fluxo de massa.

2.4.3. Alocação de fluxos e liberações

Poucos processos industriais fornecem apenas um produto. De fato, a maioria dos processos industriais fornece mais de um produto, e esses processos reciclam as matérias-primas, definidos como produtos intermediários ou descartados. Devido à essa condição deve-se proceder a alocação das entradas aos múltiplos produtos e sistemas de reciclagem (ABNT, 2009a).

A soma das entradas e saídas de um processo elementar que é alocada deve ser igual a soma das entradas e saídas antes da alocação. Sempre que a alocação ocorrer deve ser realizada a análise de sensibilidade para explicar as consequências da substituição da abordagem selecionada (ABNT, 2009b).

Os procedimentos da alocação contemplam alguns passos. O primeiro é tentar não realizar a alocação. No segundo, uma vez que a alocação não pode ser evitada,

as entradas e saídas devem ser divididas entre seus produtos e funções, buscando refletir as relações físicas subjacentes entre eles. No terceiro passo, quando uma relação física não puder ser estabelecida ou usada como base para a alocação, então as entradas devem ser alocadas entre os produtos e as funções, de modo a refletir as relações entre eles, por exemplo, dados de entrada e saída podem ser alocados entre produtos proporcionalmente ao seu valor econômico (ABNT, 2009a).

Em processos que apresentam saídas na forma de coprodutos e resíduos é necessário calcular a razão entre eles, normalização, uma vez que, as entradas e saídas devem ser alocadas apenas à parcela de coprodutos. Uma vez que o inventário é baseado em balanço de material entre entrada e saída, os procedimentos de alocação devem se aproximar ao máximo das relações fundamentais entre entradas e saídas e suas características. Os procedimentos de alocação também se aplicam às situações de reuso e reciclagem (ABNT, 2009b).

3. Considerações finais

Analisando os relatórios do FSC, IBÁ e CERFLOR/PEFC observa-se diferenças em seus números apresentados por essas diferentes Organizações, o que reforça as observações de Klein *et al.* (2015), Zanghelini *et al.* (2014), Willers e Rodrigues (2012) sobre a insuficiência e deficiência dos dados existentes, tanto para o setor florestal, como para outros setores. Essas diferenças confirmam a necessidade de desenvolver e aprofundar estudos de ACV em processos produtivos florestais, considerando a regionalização dos dados, as tecnologias produtivas e as funções dos diversos produtos florestais existentes.

Os conceitos e definições florestais empregados no setor florestal brasileiro e mundial, possuem abordagens e especificações distintas para os diversos programas e ferramentas gerenciais, com algumas convergências e divergências de significados. Assim, definir adequamente a função de uma floresta e de seus produtos pode melhorar a geração e qualidade dos dados regionais e nacionais do setor florestal; pode evitar a dupla contagem de dados nos diferentes e complementares fluxos e processos elementares de um sistema de produto; e, ainda, pode contribuir para a confiança dos dados do setor florestal e os resultados obtidos nos estudos de ACV.

A geração de dados e de base de dados florestais adequados à ACV ainda é um grande desafio para os profissionais de ACV no Brasil e no mundo. Porém, os estudos em ACV florestal são fundamentais para avançar nos processos de gestão ambiental e sustentável das cadeias de produtos florestais.

A identificação adequada da função da floresta e de seus produtos, bens e serviços, permitirá qualificar e quantificar seus impactos social, ambiental e

econômico, e subsidiará a elaboração de políticas públicas, as decisões empresariais e as escolhas dos consumidores dos produtos florestais, madeireiros e não madeireiros, seja no seu uso direto ou indireto como a seleção da fonte de matéria-prima para a geração de energia renovável, considerada nesse trabalho.

É importante a continuidade das pesquisas de ACV no setor florestal, com desenvolvimento de metodologias, métodos específicos de avaliação do impactos dos processos produtivos para as realidades brasileiras, a fim de obter banco de dados mais robustos e abrangentes para as diversas formações, composições e produtos florestais brasileiros.

Referências

ACIOLI, J. L. Fontes de energia. Brasília. 1994. 138p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – ABNT/NBR ISO 14041:2004 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. 25 pag. 2004

___. ISO 14040:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. 21 pag. 2009 (a).

___. ISO 14044:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. 21p. 2009 (b).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013. 148 p.: il. color; 21 cm. 2013.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 (Ano Base 2015). Lages. 2016.

BAILIS, R.; RUJANAVECH, C.; DWIVEDI, P.; VILELA, A. O.; CHANG, H.; MIRANDA, R. C. Innovation in charcoal production: a comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. Energy for sustainable development. v.17. n.2 p .189-200. 2013.

BRASIL. CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Resolução nº 4.327, de 25 de abril de 2014. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2014/pdf/res_4327_v1_O.pdf>. Acesso em: 09/10/2017.

___. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. Negociações da agenda de desenvolvimento pós-2015: elementos orientadores da posição brasileira. Brasília-DF, 2014. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/ODS-pos-bras.pdf>. Acesso em: 07/07/2017.

___. Política externa: objetivos do desenvolvimento sustentável. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/134-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>. Acesso em: 07/07/2017.

BARRANTES, L. S.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; UGAYA, C. M. L. Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil. V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida – I CBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; AMORIN, M.; COSTA, J. V.; BITTENCOURT, E. Análise da qualidade energética de resíduos madeiráveis ao longo de seis meses de armazenamento. Congresso Brasileiro de Bioenergia, 2004. Campo Grande, MS. 2004.

Programa Brasileiro para Certificação Florestal / Programme for the Endorsement of Forest Certification – CERLOR/PEFC. Programa Brasileiro de Certificação Florestal e a atuação do Programa para o Reconhecimento dos Esquemas de Certificação Florestal no Brasil. Câmara Setorial de Florestas Plantadas. 2015. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas /documentos /ca maras-setoriais/florestas-plantadas/anos-anteriores/cerflor.pdf. Acesso em 10/05/2017.

CHOMIITZ, K.M.; BRENES, E.; CONSTANTINO, L. Financing environmental services: the Costa Rica experience and its implications. The Science of the Total Environment, Amsterdam, v.20. p. 157-169. Oct. 1999.

CONSELHO DE MANEJO FLORESTAL/ FOREST STEWARDSHIP COUNCIL – FSC. Padrão FSC. Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: padrão harmonizado entre as Certificadoras FSC-STD-BRA-01-2014 V1-1 PT. Versão 1-1. 2014.

DAILY, G. C.; ALEXANDER, S.; EHRLICH, P. R.; GOULDIER, L.; LUBCHENCO, J.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A.; POSTEL, S.; SCHNEIDER, S. H.; TILMAN, D.; WOODWELL, G. M. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystem. Issues in Ecology. Washington. v.1. n.2. p. 1-18, 1997.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (Brasil). Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxemburg. Publications Office of the European Union; 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. How to Feed the World in 2050. 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs /expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em 10/08/2017.

___. State of the world´s Forests 2016. Forest and Agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome. FAO. 2016.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL – FSC. FSC-STD-40-004 V2-1 POR. Norma para certificação de cadeia de custódia FSC. 2011.

___. FSC-DIR-40-004 POR. Diretiva para a certificação de cadeia de custódia FSC. 2014.

___. FSC. Facts & Figures. Forest for all forever. August 4, 2017.

GAUDREAULT, C.; WIGLEY, T. B.; MARGNI, M.; VERSCHUYL, J.; VICE, K.; TITUS, B. Addressing biodiversity impacts of land use in life cycle assessment of forest biomass harvesting. WIREs Energy and Environment. v.5. n.6. p. 670 -683. 2016.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE; UNIDES NATIONS/GLOBAL COMPACT; WORLD BUSINESS CONCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - GRI/UN/WBCSD. Guia dos ODS para as empresas: diretrizes para implementação dos ODS na estratégia dos negócios. 17 p. 2015. Disponível em: <http://cebds.org/wp-content/uploads/2015/11/Guia-dos-ODS.pdf>. Acesso em: 07/07/2017.

HECK, P. Material flow management: examples from Germany. Institute for Applied Material Flow Management. Taipei. 2008. 127p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório Ibá. São Paulo. Brasil. 2016.

___. Relatório Ibá. São Paulo. Brasil. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Statistic & balances. Paris: OECD/IEA. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy outlook, 2013 – Executive Summary. França. IEA. 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Key world energy trends excerpt from: world energy balances. 2016.

KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBWE-BLASCHKE, G. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Wood and Other Renewable Resources. In.: International Journal Life Cycle Assessment. v.20. p. 556–575. 2015.

LANGER, M.; JUNIOR, A. C.; AMARAL, K. G. C.; ALMEIDA, S. T.; OLIVEIRA, J. M.; CARRARO, N. L.; RAMIREZ, P. K. S.; UGAYA, C. M. L. Conjuntos de dados da produção de palma para a realidade brasileira. V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida - VCBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.

LOPES, R. J. F.; OLIVEIRA, I. L.; KOVALESKI, J. L.; SILVA, A. S. Análise do ciclo de vida de produtos como técnica de apoio a gestão ambiental e industrial. 2011. Disponível em: <http://pg.utfpr.edu.br/expout/2011/artigos/7.pdf>. Acesso em 20/08/2017.

PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate lci of residential wood building materials. Wood and fiber science. v.37. Corrim Special Issue. p. 18–29. 2005.

ROCHA, S. H.; CHAVES NETO, A. Environmental indicators in Brazilian forestry companies. International Journal of Applied Science in Technology, v. 4. n. 5, p. 55-65. USA. October 2014. Disponível em: <http://www.ijastnet.com/journals /Vol_4_No_5_October_2014/6.pdf>. Acesso em: 07/07/2017.

ROCHA, S. H. Análise comparativa dos valores de ações de empresas com e sem responsabilidade social configurada: um enfoque em empresas florestais brasileiras. 277 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39934>. Acesso em: 07/07/2017.

SCHLÖR, H; HAKE, J. F. R. Sustainability assessment cycle. The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015. Energy Procedia. 75p. 2641-2648. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. CERTIFICAÇÃO FLORESTAL. Disponível em: http://www.florestal.gov.br/snif/producaoflorestal/ certificacaoflorestal?print1&tmpl=component. Acesso em 04/06/2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e números do Brasil florestal. 2006. 105p.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. Guidelines for life-cycle assessment: a code of "practice". Sesimbra: Ed. Consoli, F *et al.* Pub. Setac. 1993. Workshop 31/3 – 3/4/1993.

STCP. Mercado Florestal. Tendências para os próximos anos para as florestas plantadas. 2016.

STRAKA, T. J.; LAYTON, P. A. Natural resources management: life cycle assessment and forest certification and sustainability issues. Sustainability v.2. p. 604 - 623. 2010.

THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT/THE WORLD BANK GROUP - IBRD. Planning for a low carbon future. Low Carbon Growth Country Studies Program: lessons learned from seven country studies. Energy Sector Management Assistance Program, USA. Carbon Finance-Assist Program World Bank Institute, USA. Department for International Development, UK. 2012.

UGAYA, C. M. L. Avaliação do ciclo de vida de produtos – Cap. 9. Gestão ambiental / Paulo José Adissi, Francisco Alves Pinheiro e Rosangela da Silva Cardoso. – 1.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

UNITED NATIONS. GENERAL ASSEMBLY. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Resolution, September 2015 (a). Disponível em: <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang =E>. Acesso em 07/07/2017.

___. Sustainable development goals: 17 goals to transform our world. 2015 (b). Disponível em: http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/. Acesso em: 07/07/2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. Life cycle management: a business guide to sustainability. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. Division of Technology Industry and Economics. 2007. 51p.

___. Guidelines for social life cycle assessment of products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service. 2009. 103p.

___. Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. 2011. 65p.

___. Uncovering pathways towards an inclusive green economy: a summary for leaders. Coord. Angeline Djampou. 2015.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. Production / Produção. São Paulo. v.23. n.2. p.436-447. 2013.

WILLERS, C.D., RODRIGUES, L.B.A Critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. International Journal of Life Cycle Assessment. 2013. p. 1-9.

ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment. International Journal Life Cycle Assessment. V. 17. 2012. p. 373:376.

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; GALINDRO, B. M.;. ALVARENGA, R. A. F.; SOARES, S. R. A Aplicação da avaliação do ciclo de vida no Brasil na última década. IV Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida. São Bernardo do Campo. SP. 2014.

Capítulo 15

Experiências em ensino, pesquisa e extensão: o Programa de Educação Tutorial (PET) - Engenharia Florestal - UFPR

Camargo Angelo, A.[1]



Figura 1. Visita realizada na Amazônia brasileira. Fevereiro de 2017.

[1] Professor Associado. Tutor do grupo PET. Departamento de Ciências Florestais. Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná (UFPR)

No curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná o programa foi iniciado em 1.993, por iniciativa do Prof. Sylvio Pellico Neto.

O "PET" (Programa de Educação Tutorial) é um programa do governo federal brasileiro. As atividades são desenvolvidas por grupos de estudantes, com tutoria de um docente, organizados a partir de formações em graduação nas instituições de ensino superior do país. A filosofia do programa busca seguir o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão e da educação tutorial.

De acordo com o "Manual de orientações básicas" (Brasil, 2006), um grupo tutorial se caracteriza pela presença de um tutor com a missão de estimular a aprendizagem ativa de seus membros, através de vivência, reflexões e discussões, num clima de informalidade e cooperação.

O método tutorial permite o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico entre os bolsistas, em contraste com o ensino centrado principalmente na memorização passiva de fatos e informações, e oportuniza aos estudantes tornarem-se cada vez mais independentes em relação à administração de suas necessidades de aprendizagem.

A ação do grupo e a dedicação ao curso permitem desenvolver a capacidade de trabalho em equipe, a compreensão de características individuais, bem como a percepção da responsabilidade coletiva e do compromisso social. A inserção do grupo dentro do curso permite que estas capacidades se disseminem para os alunos do curso em geral, oportunizando um processo de mútuo aperfeiçoamento.

Breves palavras sobre o histórico do "PET"

De acordo com Dessen (1995), o idealizador do programa foi o Professor Cláudio de Moura Castro, ex diretor da CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior). O programa foi inspirado em outras experiências educativas, como um programa semelhante da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) na década de 1.950. Também serviram de inspiração os denominados "Honours programs" de universidades norte-americanas, bem como iniciativas de Oxford e Cambridge no Reino Unido.

A partir de ideias semelhantes é que foi criado o programa especial de treinamento em 1979. O objetivo era incentivar o surgimento de grupos de estudo que se dedicassem ao trabalho intelectual em tempo integral, sob a orientação de um professor tutor, num ambiente que favorecesse o envolvimento, a participação e a troca de ideias e experiências entre alunos e professores.

O programa alterou o seu nome em 2004, de "Programa especial de treinamento", para "Programa de educação tutorial". O número de grupos e de alunos ampliou-

se significativamente desde então, de 3 grupos (em 3 instituições) em 1979, para 842 grupos em 121 instituições de ensino superior do país em 2.016

O grupo da Engenharia Florestal da UFPR conta atualmente com 12 alunos bolsistas e 6 alunos voluntários, de diferentes períodos do curso.

Exemplos de Projetos conduzidos pelo PET Engenharia Florestal – UFPR

1) *Projeto "Arboreto"*



Figura 2. Visita de alunos na área do projeto Arboreto da UFPR. Junho de 2017.

O projeto envolve o estabelecimento de áreas experimentais com diferentes espécies arbóreas de interesse econômico e ambiental. Tais áreas foram implantadas em uma fazenda experimental da UFPR, bem como em propriedades rurais parceiras do projeto.

Um dos objetivos deste projeto é propiciar em uma mesma iniciativa ações de ensino, de pesquisa e de extensão. A pesquisa envolve, por exemplo, a investigação de espécies potenciais para as regiões centro-sul e norte do estado do Paraná e a comparação do crescimento destas em diferentes sítios, sob diferentes tratamentos aplicados.

O ensino é contemplado pelo uso das áreas em que o projeto se estende para realização de aulas práticas para o ensino médio, graduação e pós-graduação e pelo desenvolvimento de cursos voltados aos agricultores da região. O componente de extensão é contemplado no projeto pela inserção de arboretos em pequenas e médias propriedades rurais, pela realização de visitas técnicas como "dias de campo".

Os arboretos constituem-se em coleções de árvores de diferentes espécies, com propósito de tornar espécies com potencialidade econômica e ambiental conhecidas por um público mais amplo.

Por outro lado, os acadêmicos terão a oportunidade de executar pesquisas relacionadas a estas espécies arbóreas de interesse dos produtores rurais. Este contato com os produtores rurais é importante para o amadurecimento dos acadêmicos e para uma percepção mais adequada das demandas existentes e das realidades sociais.

O curso recebeu melhorias pela implantação e manutenção de uma área experimental com a participação de professores e alunos, tornando-se uma experiência aplicada sobre o exercício profissional.

Diversas disciplinas estão tendo à disposição uma área onde podem realizar aulas práticas. A instituição está se beneficiando pela visitação e o interesse já demonstrados por cursos e instituições diversos.

Os benefícios sociais estão ocorrendo através da formação de recursos humanos mais qualificados, mas também através dos esforços de extensão, por meio de áreas implantadas junto a produtores rurais, e também pela visitação destes nestas áreas. A redação dos resultados está abrangendo desde a iniciação científica, passando por artigos em periódicos até cartilhas e livros didáticos.

2) *Projeto: Seminário Anual*

A atividade consiste na organização de ciclos anuais de palestras, versando em cada ano sobre diferentes temas ligados à temática florestal. A atividade normalmente é organizada pelo PET em conjunto com a coordenação do Curso de Engenharia Florestal, Empresa Junior de consultoria (Coplaf) e do Centro Acadêmico de Engenharia Florestal.

Os objetivos da realização destes seminários envolvem a aquisição de experiências com o processo de estruturação e organização do evento por parte do grupo pet, bem como o processo de aquisição e troca de conhecimentos durante os dias do evento através da presença de profissionais conceituados do setor.

A estruturação da atividade se dá com a participação de todo o grupo, envolvendo desde a definição do tema, formatação do evento, realização de contatos com palestrantes, obtenção de patrocínios e apoios, elaboração e execução do processo

de divulgação, organização do processo de credenciamento, organização da logística durante os dias do evento, organização de agenda e de tesouraria e, por fim, reuniões de avaliação de todos esses processos.



Figura 3. Auditório durante a realização de um seminário promovido pelo pet. Maio de 2012.

Toda essa sequencia pode propiciar aprendizado em diversos aspectos, envolvendo a gestão de tempo, a atribuição de responsabilidades e a necessidade de trabalho em grupo. Por outro lado, o contato com profissionais diferentes propicia vivencias e aprendizados distintos, que contribuem com o amadurecimento dos acadêmicos no que se refere á sua futura profissão. O último evento realizado, no ano de 2015, contou com a participação de mais de 180 inscritos.

3) *Projeto "Mentor"*

A atividade é realizada a partir de encontros com um grupo de estudantes recém ingressados na UFPR, com intuito de passar informações referentes à estrutura desta universidade, à sua rotina e as possibilidades dentro dela. O planejamento envolve a realização de reuniões semanais. Os alunos têm a oportunidade de conhecer nestes encontros os serviços oferecidos dentro da universidade como

bolsas, auxílios, e obtém informações sobre oportunidades existentes como academia, assistência médica, além de diferentes laboratórios e projetos que são realizados pelo PET. Além destas atividades também são realizadas palestras ou videoconferências com alunos que tiveram a oportunidade de realizar intercâmbios em outros países.



Figura 4. Viagem realizada pelo projeto mentor. Fevereiro de 2014.

Nesta atividade destacam-se dois objetivos principais: um destes objetivos é a inserção dos novos acadêmicos no curso de Engenharia Florestal, propiciando a estes alunos uma verdadeira imersão na instituição que acabaram de ingressar, conhecendo o seu funcionamento, as suas estruturas e os locais com possibilidade de participação em exercícios práticos ligados á profissão. O outro objetivo inerente é a atuação dos integrantes do grupo pet, organizando as atividades e os grupos, permitindo com isso o exercício de condução de grupos.

Neste projeto as atividades são realizadas de diferentes maneiras. Em sala de aula são realizadas palestras e discussões, bem como são feitas atividades práticas no

campus Jardim Botânico da UFPR, e em outros locais através da realização de viagens com temáticas técnicas.

Este projeto tem propiciado uma integração mais efetiva dos acadêmicos recém ingressados na universidade, permitindo assim um melhor aproveitamento destes através de melhor conscientização do que é a instituição, a sua estrutura e forma de funcionamento, bem como as oportunidades de estágio e de trabalho, antecipando exercícios profissionais futuros.

4) *Projeto "Visitec"*



Figura 5. Visita a Amazônia brasileira. Fevereiro de 2017.

A atividade consiste no planejamento e execução de roteiros por diferentes regiões do país, buscando o contato com diferentes vivências profissionais e realidades sociais. Os alunos participam desta atividade desde o planejamento, que exige contato com diferentes empreendimentos, como, por exemplo, empresas de base florestal, unidades de conservação, órgãos públicos, profissionais autônomos, associações de produtores, dentre outros.

A atividade se dá inicialmente através da constituição de uma equipe organizadora, responsável pela elaboração de um roteiro que contemple os propósitos do projeto. Na sequencia, são realizados contatos e iniciativas necessárias para a

efetivação das diferentes etapas desses respectivos roteiros. Após a execução dos roteiros, são realizadas reuniões almejando refletir sobre as diferentes etapas, seus êxitos e suas dificuldades.

O projeto visitec visa ao aprendizado "in loco", visando propiciar aos acadêmicos as vivências em diferentes contextos profissionais. As visitas realizadas proporcionam contato não apenas com os locais de exercício da profissão, mas com profissionais que estão exercendo de formas bastante distintas a engenharia florestal. Além disso, os acadêmicos têm a oportunidade de conhecer diferentes regiões do país. A título de exemplo, nos últimos cinco anos foram realizadas pelo grupo 4 viagens para a Amazônia brasileira, 1 para o pantanal e 1 para o nordeste brasileiro, dentre outras expedições mais curtas.

Durante o ano de 2.016 foi realizada uma expedição de 16 dias para a Amazônia brasileira. Na região de Manaus (AM) foram visitados o INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) e o CIGS (Centro de Instrução de Guerra na Selva). Na região de Santarém foram realizadas visitas ao SFB (Serviço Florestal Brasileiro) e ICMBio (Instituto Chico Mendes).



Figura 6. Visita técnica a Botucatu-SP. Agosto de 2016.

O contato com a paisagem local, bem como com a comunidade se deu através de uma viagem em embarcação regional pelo rio amazonas, até Santarém (PA). A

etapa posterior ocorreu em uma comunidade ribeirinha no interior da Floresta Nacional do Tapajós. Tal projeto tem propiciado um aprendizado muito significativo junto aos estudantes, uma vez que além dos conhecimentos técnicos, agrega uma ampliação sobre a visão de mundo dos participantes.

5) *Projeto: "Visita a Colégios"*

Este projeto consiste na realização de palestras em colégios da rede pública e privada. O propósito destas palestras é discutir algumas das principais questões ambientais, divulgar o exercício profissional do Engenheiro Florestal, bem como divulgar a UFPR. Esta divulgação tem ampliado a percepção de que estudar em uma universidade pública pode ser acessível.



Figura 7. Visita a colégios públicos. Agosto de 2013.

Através desta atividade são exercitadas habilidades como a organização do evento, realização de contato com professores da rede de ensino, escolha de datas, locais e especificação de públicos. Os acadêmicos têm a oportunidade de falar em público e expor a sua visão sobre a própria profissão. Além disso, são divulgados aspectos sobre o funcionamento de uma universidade pública, tornando essas informações acessíveis para um público eventualmente menos favorecido por razões socioeconômicas ou geográficas.

6) *Projeto: "Jornal"*

A atividade consiste na elaboração de um jornal destinado à comunidade acadêmica com temas relevantes para a sua formação. O jornal busca complementar elementos ministrados em sala de aula, bem como tratar de questões contemporâneas, relevantes para o público do curso em questão, assim como o de demais interessados.

A atividade foi executada inicialmente através da definição das pautas e dos temas a serem tratados no jornal, seguido das atribuições e divisão de tarefas para que os objetivos sejam adequadamente alcançados. Os acadêmicos elaboram os temas, que são revisados e discutidos junto ao grupo. A participação de colaboradores, sejam alunos, professores ou pós-graduandos em algumas matérias servem para ampliar o relacionamento entre estes componentes. Outro aspecto ressaltado é o exercício da habilidade de redação por parte dos integrantes, envolvendo análise crítica sobre os temas tratados.

7) *Projeto: "Floresta Escola"*

As atividades deste projeto são destinadas prioritariamente a alunos do 5° ano do ensino fundamental. Entretanto, também já foram atendidos funcionários da rede pública e professores. As atividades são realizadas em um espaço próprio localizado no campus Jardim Botânico da UFPR, dentro de um remanescente florestal, bem como nas próprias escolas. O projeto consiste no desenvolvimento de atividades de educação ambiental, através de trilhas, palestras e oficinas ministradas pelos acadêmicos participantes.

A atividade foi fundamentada no planejamento e realização de trilhas educativas, empregando para tal a equipe do pet e alunos colaboradores da UFPR. Estas trilhas possuem um roteiro pré-definido, onde são evidenciados diferentes tópicos relacionados á temática ambiental.

Com esta atividade foi promovida a conscientização de crianças e de professores da rede pública, sobre questões ambientais pertinentes. Ao mesmo tempo, a iniciativa abre as portas da UFPR para a comunidade externa. A partir do início do ano de 2016 este projeto tornou-se independente do PET.

8) *Projeto: "Feira de Profissões"*

A atividade consiste em organizar um estande e uma sala com informações sobre o curso, como parte da "Feira anual de profissões" promovida pela UFPR. Nesses locais são empregados diferentes materiais, vídeos e banners, que auxiliam nas explicações sobre o curso. Além disso, são realizadas palestras voltadas para a

divulgação do curso de engenharia florestal, tanto por representantes do PET como pela coordenação do curso de graduação.

O estande conta com diversos elementos que procuram retratar as diferentes facetas do curso, envolvendo desde questões mais ligadas a aspectos de produção de base florestal até aqueles voltados para a conservação de recursos naturais. Além da participação de integrantes do PET, interagem e colaboram alunos do centro acadêmico de engenharia florestal, da empresa júnior, e demais alunos voluntários.



Figura 8. Estande de Engenharia Florestal na Feira de profissões da UFPR. Agosto de 2013.

Esta iniciativa almeja contribuir com o aumento do interesse pela área de Engenharia Florestal, trazendo maior número de candidatos ao vestibular anual. A longo prazo, a ação visa a uma melhoria na qualidade de ensino do curso de Engenharia Florestal, por conta de um número maior de candidatos por vaga, elevando a sua qualidade.

9) *Projeto: "PET Cultura"*

O processo de formação de um acadêmico deve envolver, além da sua capacitação técnica, a ampliação de horizontes e de perspectivas em relação aos diferentes aspectos da vida. Este projeto almejou alcançar esses propósitos através de atividades extracurriculares, com ênfase na exibição de obras relevantes do cinema, presença em peças teatrais e espetáculos de música. Além disso, tais atividades também propiciaram um maior contato entre os membros do grupo, permitindo uma maior coesão.

A atividade se realiza através da reunião do grupo em diferentes lugares (universidade, residência de integrantes, teatro, cinema), com o propósito de assistir a diferentes produtos culturais. Por outro lado, a reunião também almeja consolidar o espírito de grupo, através da vivencia coletiva. Além dessas iniciativas, são promovidas discussões onde ocorrem debates sobre temas contemporâneos, aspectos socioeconômicos importantes, o papel do próprio pet e da universidade em relação a sociedade, dentre outros, visando ampliar o espírito crítico dos participantes.



Figura 9. Reunião do grupo PET Engenharia Florestal. Abril de 2015.

10) *Projeto: "Participação em Feira Agropecuária"*

A atividade consiste no planejamento e da organização de um estande que é montado em uma feira agropecuária. Esta ação se realiza em conjunto com

técnicos extensionistas da Emater-PR. A exposição em questão reúne grande número de produtores rurais. Nesta feira os acadêmicos buscam aproximar o público das atividades que envolvem atividades de base florestal, despertando o interesse e permitindo acesso aos produtores de estratégias e tecnologias adequadas a cada contexto.

O grupo define quais os elementos que constituirão o estande, qual será a forma de exposição dos elementos, quais serão os materiais de apoio e como será a divisão de tempo e de atribuições para as diferentes tarefas. Um dos resultados alcançados é a imersão dos acadêmicos em um universo distinto ao qual estão mais acostumados.

11) *Projeto: "Pet Solidário"*



Figura 10. Ação do grupo junto a crianças. Agosto de 2014.

Este projeto visa despertar uma maior sensibilidade nos acadêmicos e participantes para as necessidades de camadas menos favorecidas da população. Através dessas ações busca-se promover reflexões nos participantes, sobre sua própria condição social, sobre o seu papel em nossa sociedade, e sobre as possibilidades que existem em se praticar ações que podem contribuir com o próximo.

A atividade se realiza através de campanhas de arrecadação de bens que serão distribuídos junto a comunidades carentes, bem como ações pontuais como a que foi realizada na Fazenda Canguiri da UFPR, voltada para filhos de funcionários e colaboradores da fazenda.

Os participantes destas atividades demonstram um desenvolvimento de potencialidades normalmente negligenciadas por muitas pessoas na atualidade: o desenvolvimento da sensibilidade, da percepção da necessidade de cuidar do próximo, ou mesmo da manifestação de posicionamentos críticos em relação a fatos da vida cotidiana do país.

12) *Projeto: "Pet Cursos"*

Este projeto visa ao planejamento e oferta de cursos extracurriculares com o propósito de aprimorar a formação dos acadêmicos. A atividade se dá inicialmente através da elaboração de uma lista de cursos prioritários por parte do grupo. Em seguida são realizados contatos com profissionais que teriam a possibilidade de ofertar tais cursos para um contingente de alunos do PET, bem como para acadêmicos não participantes deste grupo. Tais cursos podem representar um complemento importante na formação dos acadêmicos.

Considerações Finais:

A experiência com o programa de educação tutorial tem sido gratificante tanto para alunos como para os professores envolvidos. O conjunto rico de oportunidades e de experiências promove em todos um crescimento profissional e pessoal. Diferentes habilidades e aprendizados são exigidos, dentre eles a organização de atividades, priorização de tarefas, relacionamentos interpessoais e interinstitucionais, bem como o importante aprendizado de realização de trabalhos em grupo.

Como as atividades não se limitam ao universo "intra-grupo", ocorre ainda no programa a oportunidade de vivenciar as experiências de outros grupos, através de eventos que reúnem grupos "pet" de uma determinada região ou mesmo de todo o país.

Entre os desafios e dificuldades, estão aquelas inerentes à necessidade de recursos para a realização de todas as atividades planejadas. Por outro lado, tal dificuldade exige a criação de soluções por parte do grupo, o que pode também ser mais uma oportunidade de aprendizado.

Um desafio comum a estes grupos é a manutenção da qualidade das atividades com o processo natural de transição de seus integrantes. Componentes mais experientes inevitavelmente precisam ser substituídos, seja por finalizarem a graduação ou por outros fatores. Tal dinâmica, por sua vez, tem propiciado mais

uma nova chance de aprendizado, que é exatamente transmitir aos novos integrantes os ensinamentos necessários para a condução do grupo.

A natureza diversificada das atividades do PET Engenharia Florestal, envolvendo muito contato com o grupo, viagens e expedições, permite vivenciar realidades bastante distintas àquelas ao qual os participantes estão mais acostumados. Isto se dá por exemplo através de contato direto com comunidades de regiões distintas, permitindo conhecer diferentes visões de mundo, modos de vida, aspectos culturais, organizações sociais distintas e as dificuldades inerentes à cada realidade.

Atividades como essa proporcionam também um contato intenso entre os integrantes do grupo. Ao final do processo, os indivíduos possuem uma história em comum, o que muitas vezes implica em um reforço nos laços, nos vínculos pessoais.

Diante deste conjunto, resultados relevantes em termos de formação técnica e humana podem ser alcançados através da prática da educação tutorial.

Bibliografia

Brasil. 2006. Programa de Educação Tutorial. Manual de Orientações Básicas. Brasília, Ministério da Educação, 25 p.

Dessen, M. A. 1995. O programa especial de treinamento – PET: evolução e perspectivas futuras. Didática, São Paulo. Vol. 30: 27-49.

Capítulo 16

Projeto Arboreto: Ensino, pesquisa e extensão florestal

Camargo Angelo. A.[1]; A. Ferreira Pinto y K. Koch Fernandes de Souza

O estado do Paraná, localizado na região sul do Brasil está entre um dos principais estados com perfil florestal no país. Estes cultivos são tradicionalmente conduzidos em áreas com grandes extensões, porém o perfil do setor vem sofrendo algumas alterações. Um número significativo dos novos agentes produtivos é composta por pequenos e médios produtores com experiência em produção agrícola e pecuária.

Por esse motivo existe demanda pela investigação para ampliar a base florestal que busca atender a esse novo público de produtores. Diante destas questões, surge uma parceria entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR), o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-PR), e a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Esta parceria tem conduzido uma pesquisa denominada de "Projeto Arboreto".

O "Projeto Arboreto" visa o estabelecimento de parcelas de cultivos florestais com espécies potenciais para diferentes regiões do Estado com intuito de acompanhar seu comportamento e desenvolvimento (SOUZA, 2015). Os cultivos florestais foram implantados em propriedades rurais por pequenos produtores no interior do estado do Paraná (na Região Centro-Sul do estado) concomitantemente com uma unidade instalada na Fazenda Canguiri (município de Pinhais) pertencente à Universidade Federal do Paraná (Figura 1).

[1] Professor Associado. Tutor do grupo PET. Departamento de Ciências Florestais. Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná (UFPR)

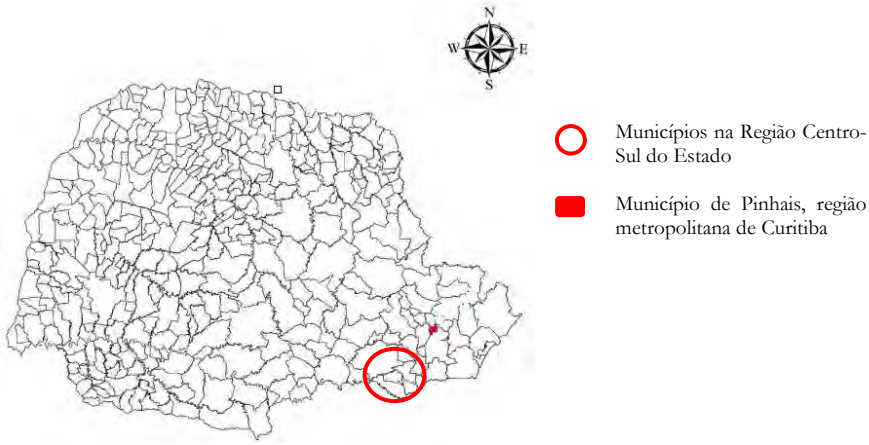


Figura 1. Localização geográfica dos cultivos florestais que compõem o Projeto Arboreto.



Figura 2. Delimitação de área de trabalho junto a produtor rural. Outubro de 2012.

Essa parceria promoveu a aproximação de parte da sociedade científica, representada pela Universidade e produtores rurais interessados na produção florestal. Com isso, permitiu também o intercâmbio de conhecimento entre professores, acadêmicos, técnicos extensionistas e produtores. Tal esforço promoveu um exercício prático de silvicultura e tem complementado a formação acadêmica dos alunos.

Unidades Florestais na região Centro-sul do estado do Paraná

O território Centro-Sul está localizado no Segundo Planalto Paranaense. Apesar de essa região ter tradição na atividade florestal, poucas são as espécies comercialmente exploradas em virtude da condição climática local ser restritiva, em função da ocorrência de geadas.

O clima da região é classificado pelo sistema de Köppen, como sendo do tipo Cfb, ou seja, subtropical úmido sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 10 °C, com mais de cinco geadas noturnas por ano.

A vegetação original da região é classificada como Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) cuja composição florística é fortemente influenciada pelas baixas temperaturas e pela ocorrência regular de geadas no inverno.

Na região Centro-Sul o Projeto Arboreto iniciou com a participação de 11 produtores rurais, os quais cederam cerca de um hectare de área para a implantação do projeto. As espécies foram escolhidas com base nas características climáticas da região, conforme citado anteriormente, e também, com base na demanda apresentada pelos produtores locais. Quatro destas propriedades estão sendo acompanhadas com propósito experimental: duas áreas no município de Paulo Frontin, uma no município de General Carneiro e uma em União da Vitória.

Unidade Florestal na Fazenda Canguiri

A Estação Experimental do Canguiri é uma unidade didático produtiva pertencente à Universidade Federal do Paraná, localizado no município de Pinhais (região Metropolitana de Curitiba). O município de Pinhais localiza-se no primeiro planalto paranaense, à 895 metros de altitude em relação ao nível do mar.

Tal como na região Centro-sul do estado, o clima da Fazenda Canguiri também é Cfb (Classificação Climática de Köppen), mesotérmico com verões frescos e sem estação de seca definida com amplitude de 1 a 40 geadas por ano.



Figura 3. Implantação em atividade de aula. Outubro de 2012.

Projeto Arboreto: Ensino

O desenvolvimento deste projeto possibilitou não somente a pesquisa científica, como promoveu atividades de extensão e de ensino. O trabalho proporcionou o exercício da silvicultura, da extensão rural, de uma vivência acadêmica e prática, complementando a formação discente e docente.

As atividades de ensino ocorreram em todas as etapas do projeto, envolvendo diretamente estudantes de diferentes níveis de formação, com ênfase em alunos de graduação e pós-graduação de Engenharia Florestal das instituições de ensino envolvidas.

Dentre as modalidades de exercício junto a alunos, duas são as mais praticadas: realização de atividades de manutenção da área, feita com alunos componentes do projeto, ou a realização de aulas de campo para disciplinas relacionadas.



Figura 4. Prática de mensuração. Maio de 2015.

Nesse sentido, diversas aulas práticas foram viabilizadas nesta área como aulas de planejamento de plantios florestais, limpeza de área, preparo de solo, correção de solo e fertilização, execução de podas e atividades de manutenção dos plantios. Como as áreas implantadas envolvem não apenas espécies de interesse comercial, mas também ambiental, aulas voltadas para a silvicultura de espécies nativas, bem como à restauração ecológica também tem sido realizadas no local.



Figura 5. Atividade de mensuração. Junho de 2016.

Além de contemplar os alunos de graduação e de pós-graduação, algumas iniciativas de ensino foram implementadas no local com alunos de segundo grau, em especial junto àqueles oriundos de colégios técnicos profissionalizantes ligados á área agrária.

Outro componente a ser ressaltado quanto ao ensino refere-se à geração de informações práticas a partir do projeto, bem como a produção de materiais didáticos originados nas áreas de trabalho.

Projeto Arboreto: Pesquisa

O experimento implantado na Fazenda Canguiri, juntamente com as unidades do interior, tem o intuito de comparar diferentes tecnologias silviculturais a fim de responder questionamentos de ordem prática dos produtores rurais. Dentre as questões constantemente presentes destacam-se àquelas relativas à escolha de espécies, à escolha de material genético, condições edáficas e ao uso de insumos.



Figura 6. Área implantada no interior do estado. Maio de 2015.



Figura 7. Área implantada na Fazenda Canguiri da UFPR. Maio de 2017.

Na Fazenda Canguiri, foram instaladas até o momento 60 parcelas em duas áreas distintas contendo 80 plantas cada uma, em espaçamento 3 x 2 metros. Além destas, foram estabelecidas outras parcelas menores com espécies que demonstram potencialidade econômica ou ambiental, mas são ainda menos difundidas.

As mudas utilizadas no trabalho foram cedidas por diferentes empresas de base florestal. Estas mudas passaram por um período de aclimatação antes de serem efetivamente implantadas. A preparação das áreas se deu de maneira padronizada, iniciando com a demarcação das parcelas, seguida pela limpeza da área, implantação de adubação verde e roçada da adubação verde. Após esta etapa foi realizada a preparação do solo, constituída por subsolagem e gradagem por tratar-se de solo compactado por usos anteriores. Em seguida foi realizada a correção de solo, ao que se seguiu a implantação propriamente dita das mudas, em dezembro de 2012. Após a implantação foram aplicados tratamentos distintos de fertilização de base e de cobertura. A manutenção consistiu em roçada mecanizada nas entre linhas, roçada semimecanizadas na linha e coroamento nas fases iniciais de estabelecimento em campo.

Diferente das unidades do interior, o experimento na Fazenda Canguiri, envolveu a aplicação de fertilizantes de pronta disponibilidade e fertilizante de liberação lenta (FLL) além das testemunhas, sem aplicação de fertilizantes.

Todas as atividades, desde recebimento das mudas, alocação de parcelas, implantação e manutenção tiveram participação efetiva de professores e acadêmicos de graduação e pós-graduação (SOUZA, 2015).

Na Fazenda Canguiri, além da resposta silvicultural em relação às condições edafoclimáticas, as pesquisas desenvolvidas com base nas espécies implantadas envolveram testes de diferentes procedências e origem do material genético, resposta das plantas em relação a fertilizantes e presença e composição de óleos essenciais.

Quanto às espécies florestais, o estudo envolveu o conhecimento de espécies de origens diferentes (espécies oriundas de sementes e propagação vegetativa), espécies tradicionais na região, mas com procedências ainda não testadas, espécies não convencionais para a região, além de espécies nativas com aptidão econômica ou recuperação de áreas degradadas.

As espécies florestais utilizadas na Fazenda Canguiri até o momento foram:

A) Espécies exóticas: *Eucalyptus dunnii* (origem clonal e seminal), *E. benthamii* (origem clonal e seminal); híbrido *Eucalyptus urophylla x grandis* (origem seminal e quatro clones distintos), híbrido *Eucalyptus urophylla* x *globulus*, *E. saligna* (dois clones), *E. camaldulensis* (seminal), *Pinus taeda* (procedência Africa do Sul e Carolina do Norte), *Pinus maximinoi*, *Cryptomeria japonica*, *Liquidambar styraciflua*, *Populus deltoides*, *Taxodium distichum* e *Platanus acerifolia*.

B) Espécies nativas produtoras de madeira: *Araucaria angustifolia*, *Mimosa scabrella*, *Machaerium stipitatum*, *Handroanthus chrysotricha* e *Luehea divaricata*.

C) Espécies nativas produtoras de frutos, folhas ou sementes comestíveis: *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Psidium cattleianum*, *Acca sellowiana* e *Campomanesia xanthocarpa*.

Projeto Arboreto: Extensão



Figura 8. Visita de produtores rurais e extensionistas na Fazenda Canguiri da UFPR. Setembro de 2016.

A extensão universitária é uma ação de uma universidade junto à comunidade, disponibilizando o conhecimento adquirido com o ensino e a pesquisa desenvolvidos.

A parceria deste trabalho junto à Emater – PR assegura a participação e colaboração de profissionais locais desta instituição, o que garante por exemplo uma escolha mais efetiva quanto aos produtores rurais que serão parceiros no trabalho.

Esta escolha conta com a experiência destes técnicos extensionistas locais, que consideram diversos aspectos, dentre outros, a aptidão do produtor rural em relação à prática que será investigada e a representatividade destas áreas dentro de uma determinada região.

Para a efetivação do projeto, foram e ainda são necessárias diversas visitas técnicas aos produtores parceiros localizados no interior do estado. Este processo possibilita aos participantes uma maior experiência no cotidiano dos parceiros de trabalho, agregando novas visões sobre o significado deste trabalho.

Desta forma, os alunos participantes do projeto adquirem uma melhor percepção do contexto regional, dos hábitos, dos componentes culturais e dos desafios e demandas reais que este público apresenta.

Além das visitas de professores e alunos da UFPR nas propriedades rurais, também são realizadas visitas destes acompanhados dos extensionistas regionais, na área conduzida pelo projeto na Fazenda Experimental da UFPR. Tal

experiência mostrou-se valiosa para a troca de aprendizados entre os participantes pelo interesse manifestado por este público.

Outra atividade relevante para os propósitos do projeto foi a realização de "dias de campo" na fazenda da universidade. Estes eventos foram realizados na área do projeto, reunindo mais uma vez professores, pesquisadores, técnicos extensionistas, produtores rurais e estudantes de diferentes níveis de formação.

Além destas ações já mencionadas, o componente de extensão também tem se dado através da realização de palestras voltadas para diferentes comunidades rurais, promovendo o componente florestal nestes empreendimentos, ressaltando a sua importância e as diferentes possibilidades de geração de benefícios nestes locais.



Figura 9. Aspecto da área do arboreto na Fazenda Canguiri da UFPR. Maio de 2017.

Projeto Arboreto: perspectivas futuras

O projeto Arboreto, pela natureza de suas atividades, tem propiciado as diversas experiências já citadas aqui. Mas é importante enfatizar um outro conjunto de aprendizados. Para que as propostas e objetivos do projeto fossem alcançadas, foi necessária a formação de um grupo de trabalho, constituído por professores, alunos, extensionistas e produtores rurais.

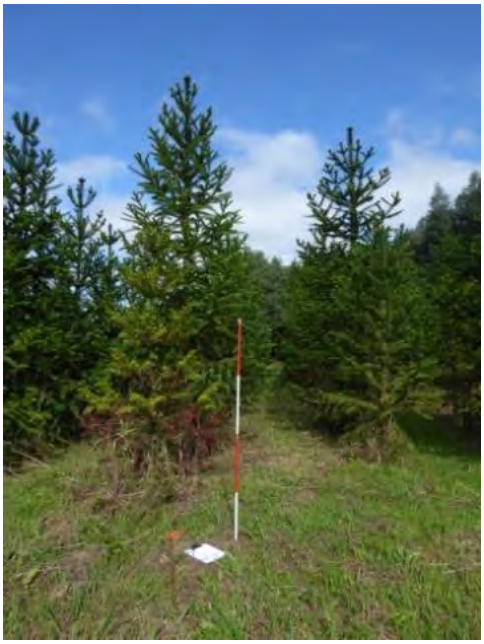


Figura 10. Plantio de *Araucaria angustifolia*. Fazenda canguiri. Junho de 2017.

Devido a esse arranjo, o aprendizado com a implantação e o acompanhamento das atividades foi expressivo, encorajando os participantes na realização de novos esforços.

Na última etapa do trabalho, o projeto foi ampliado para a região norte do estado. Isto permitirá uma visão complementar aos alunos, em função das peculiaridades regionais, tanto em aspectos físico-climáticos como nas diferenças de perfil socioeconômico, inerentes a cada região.

Em função das características de médio e longo prazo das atividades silviculturais, espera-se que uma nova fase de aprendizados se consolidará, seja através das possibilidades de investigação científica, das atividades de extensão junto a produtores, técnicos extensionistas e profissionais, ou ainda pelas práticas de ensino que o projeto tem permitido.

Referência Bibliográfica:

Souza, K. K. F. Efeito da adubação mineral no crescimento e produção de óleo essencial de espécies florestais no primeiro planalto paranaense, Pinhais-PR. Tese de doutoramento (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, Universidade Federal do Paraná). 142 p. 2015.