

ESTUDIOS SOBRE ECOLOGÍA DE FUEGO EN LA REGIÓN CHAQUEÑA OCCIDENTAL DE ARGENTINA

Sandra Josefina Bravo⁶

El actual escenario de cambio climático y del uso de la tierra, conduce a nuestro planeta a una serie de alteraciones en los regímenes de disturbios, que conllevan a situaciones social y ambientalmente inaceptables (Turner, 2010). El fuego juega un rol vital en el mantenimiento de muchos ecosistemas y de las comunidades que de ellos dependen (Keeley & Fotheringham, 2001). Sin embargo, la falta de conocimientos sobre factores ecológicos claves para el funcionamiento de ecosistemas, algunas poco eficientes políticas de conservación, la explotación intensiva de recursos naturales y cambios en la distribución de las poblaciones humanas han promovido incendios de características catastróficas, que producen no solo pérdidas económicas, sino de vidas humanas, de comunidades y unidades de paisajes.

El conocimiento de la variabilidad histórica en el régimen de disturbios es una herramienta valiosa al momento de evaluar el estado de conservación y la capacidad de producción de bienes y servicios de las comunidades vegetales. Este conocimiento representa además una información indispensable para delinear pautas de manejo ecológico y sustentable de estas unidades. Por esta razón, diferentes organizaciones internacionales dedicadas a la conservación de la naturaleza y sus recursos han destinado sus esfuerzos durante estas últimas dos décadas a estudiar los patrones o regímenes de fuego naturales en distintas regiones del globo. The Nature Conservancy (Shlisky *et. al.*, 2007) consideró que sólo el 25 % de los ecosistemas terrestres conservan aún sus regímenes de fuego intactos, y que de 200 eco-regiones estudiadas, el 58% y el % 8 presentan regímenes de fuego degradados y muy degradados respectivamente. Según esta

⁶ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: sjbravo@unse.edu.ar

prestigiosa organización, la relación entre la degradación de los regímenes de fuego y la pérdida de biodiversidad es estrecha.

Los regímenes de fuego son un componente dinámico dentro de la ecología de las comunidades vegetales y éstos experimentan variaciones temporales y espaciales directamente relacionadas a los cambios a nivel de clima y en la estructura de estas comunidades (Johnson *et al.*, 2001; Kunst *et al.*, 2006). Los cambios en la disponibilidad de agua a escala global están produciendo un incremento en la recurrencia de fuegos de comportamiento extremo, lo que ha sido atribuido en parte a un control climático sobre la producción de combustibles y por otra parte, a los cambios en las probabilidades de ignición causados por modificaciones en los usos de la tierra (Swetnam y Baisan, 1996; Grau y Veblen, 2000; Bravo *et al.*, 2010; Aráoz y Grau, 2010, Pivello, 2011).

La Región Chaqueña Occidental de Argentina está caracterizada por un clima semiárido marcadamente estacional, con un promedio anual de lluvias de 560 mm, concentradas durante los meses del verano. El período de sequedad se extiende desde el mes de Abril hasta Octubre, con meses caracterizados por una marcada amplitud entre las temperaturas diurnas y nocturnas. La temporada de fuego dentro de la Región Chaqueña Occidental de Argentina coincide con la extensa temporada de sequedad, acompañada de vientos calientes de dirección Norte y Noreste que promueven la recurrencia de incendios (Kunst y Bravo, 2003).

Históricamente el fuego ha sido empleado en la Región Chaqueña Occidental de Argentina como una herramienta para el manejo de pastizales desde tiempos precolombinos, también para la guerra, para la caza, para la comunicación entre tribus (Soares, 1990; Kunst *et al.*, 2009). Estos fuegos han sido en parte responsables del balance entre comunidades por herbáceas y leñosas (Morello y Adámoli, 1974), de modo tal que la vegetación nativa consiste en un mosaico de pastizales edáficos, sabanas y pastizales pirógenos, bosques y arbustales (Bucher, 1980; Lopez de Casenave *et al.*, 1995; Araujo *et al.*, 2008).

Como en otras regiones semiáridas del mundo, el uso ganadero intensivo y la aplicación excesiva de quemas no prescritas en ambientes de pastizales y sabanas, han contribuido al deterioro de la capacidad productiva. Los bosques chaqueños sean visto ligados entonces a la ganadería, con una creciente

disminución de la cobertura y de la fragmentación de hábitats (Zak *et al.*, 2004; Cabido *et al.*, 2005; Britos y Barchuk, 2008).

Este escenario ambiental representó el motor para estudios sobre la ecología de fuego dentro del Chaco Occidental que incluyeron análisis del régimen de fuego dentro de sus unidades de vegetación, evaluaciones sobre la capacidad de resiliencia de sus comunidades, la relación entre el clima y la recurrencia de estos eventos y las consecuencias productivas en comunidades dominadas por leñosas. Estos estudios vincularon a instituciones académicas como la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero e instituciones dedicadas a brindar asistencia científica y tecnológica como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Santiago del Estero. El objetivo de este capítulo es comunicar una síntesis de los trabajos realizados en ecología de fuego en el Chaco Occidental de Argentina.

Estudios sobre parámetros de regímenes de fuego

Frecuencia de fuegos

La frecuencia de fuego es considerado el parámetro de los regímenes de fuego de mayor influencia en la estructura y dinámica de comunidades vegetales ya que influye en la capacidad de supervivencia de las especies y en la tasa de acumulación de combustibles (Agee, 1993). La determinación de la frecuencia de fuego dentro de una comunidad vegetal requiere la aplicación de técnicas dendroecológicas y dendrocronológicas para el fechado de lesiones originadas por el fuego en la madera de leñosas. Estas técnicas requieren especies longevas con la existencia de anillos de crecimiento anuales y con habilidad para sobrevivir a fuegos recurrentes (Schweingruber, 1988; Kitzberger *et al.*, 2000; Grau *et al.*, 2003).

Los estudios sobre la aptitud de leñosas para estudios de frecuencia de fuegos dentro del Chaco Occidental de Argentina incluyeron inicialmente 4 especies arbóreas y 2 especies arbustivas consideradas representativas de su flora nativa (Bravo *et al.*, 2001a; 2006; 2008). Previamente se relevaron datos históricos sobre supervivencia de leñosas frente a fuegos accidentales (Dalla Tea *et al.*, 1987) y se

realizaron ensayos a campo con quemas prescritas para evaluar la capacidad de supervivencia frente a fuegos de diferente severidad (Kunst *et al.*, 2000; Kunst, 2009).

Se caracterizaron las lesiones por fuego en leñosas expuestas a fuegos accidentales mediante estudios exomorfológicos y anatómicos (Figura 1; Bravo *et al.*, 2010a;). Estos estudios indicaron que *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis lorentzii*, *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Acacia aroma* y *Acacia furcatispina* son especies aptas para estudios dendroecológicos sobre regímenes de fuego ya que tienen una capacidad de supervivencia a fuegos de diferente severidad y anillos de crecimiento anuales (Bravo *et al.*, 2008). Las arbóreas representan las especies más resistentes aún a fuegos de mayor severidad, gracias a la protección de la corteza y poseen una mayor habilidad para recubrir las heridas que las arbustivas. Estas últimas, si bien presentan una mayor sensibilidad, permiten captar fuegos superficiales de baja severidad que pueden no ser registrados por especies muy resistentes, de corteza gruesa. Por estas razones, la primera cronología de fuego en una sabanas del Chaco Occidental se obtuvo a partir de 4 especies de diferente sensibilidad al fuego: *A. quebracho-blanco*, *S. lorentzii*, *A. aroma* y *A. furcatispina* (Bravo *et al.*, 2001b). Actualmente se evalúa la potencialidad de incluir otras especies arbóreas y arbustivas en estudios dendroecológicos sobre regímenes de fuego (*Prosopis pugionata*, *Ziziphus mistol*, *Celtis tala*, *Schinus sp*) (Figura 2).

La primera cronología de fuegos en sabanas chaqueñas (Figura 3 A) permitió establecer una elevada recurrencia de fuego entre los años 1925 -1996, con un intervalo medio de retorno de fuego de 2-3 años. Se evidenció un cambio temporal en la frecuencia de fuego detectable a partir de la década del 70 (Figura 3 B; Tabla 1).

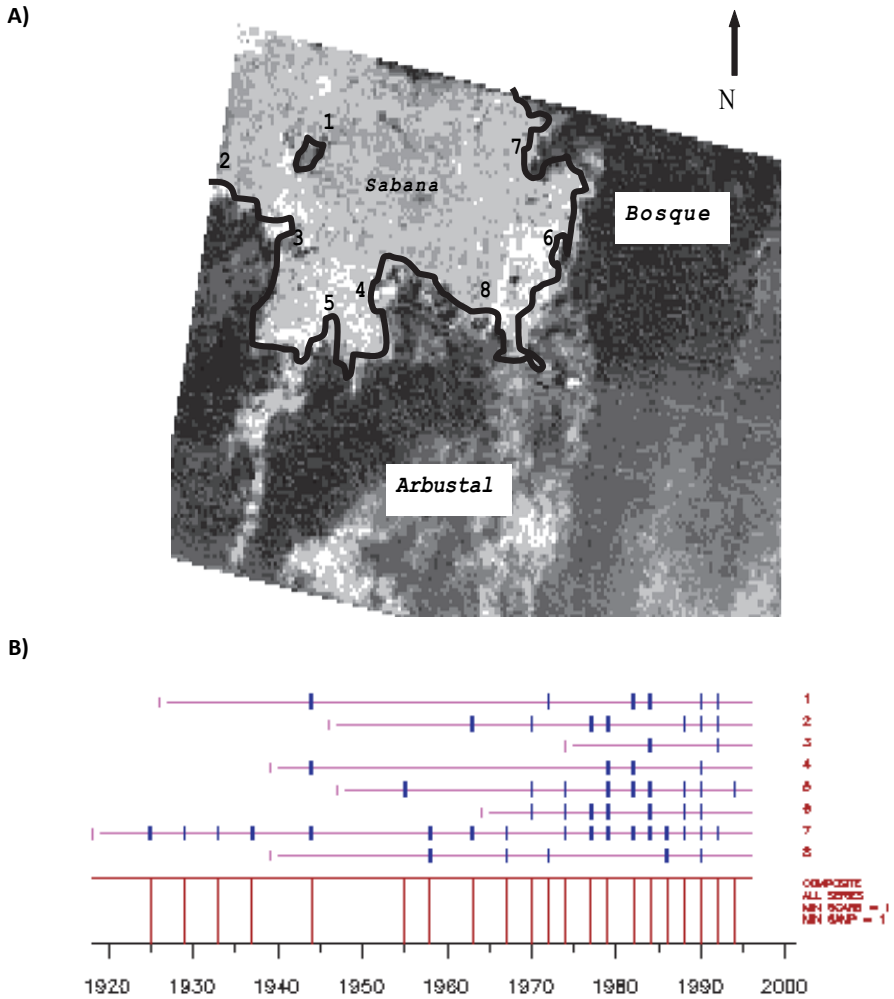


Figura 3. A) Localización de sitios de muestreo para frecuencia de fuegos, Chaco Occidental de Argentina. **B)** Cronología de fuegos (líneas horizontales representan a sitios de

muestreo, líneas verticales: registros de fuegos, barra horizontal: cronología de fuegos compuesta con la información de todos los sitios).

Tabla 1. Datos estadísticos de intervalos medios de retorno de fuego (IMRF) para una sabana de *E. muticus* del Chaco Occidental de Argentina. IMRF=intervalo medio de retorno de fuego.

Área de estudio	Período (años)	IMRF (años)	Mediana (años)	Rango (años)	DS (años)	Número de intervalos
Sabana de <i>Elyonorus muticus</i>	1925-1996	3.38	3	2 - 11	2.17	20

Frecuencia de fuego y factores climáticos

El aumento en la frecuencia de fuego a partir de 1970 resultó evidente al analizar los intervalos promedios de retorno de fuego, con IMRF para el período 1925-1970= 5.63 años y un IMRF 1971-1996= 2.22 años (Bravo *et al*, 2010b). El Análisis de épocas Superpuestas (Software FHX2) permitió establecer la relación entre la frecuencia de fuego y variables climáticas (temperaturas y precipitaciones). Los resultados demostraron una marcada relación la disponibilidad de agua y la frecuencia de fuego (Figura 3). Al analizar los 21 fuegos fechados dentro de la cronología, el Análisis de Épocas Superpuestas indicó que precipitaciones significativamente por encima del promedio anual, se produjeron dos años antes de la ocurrencia de fuego, sumado a un período de escasa disponibilidad de agua en el año anterior al evento (Figura 4 A).

Los años de fuegos generalizados, que afectaron por lo menos al 50 % de los sitios de muestreos, ocurrieron en años con precipitaciones significativamente por encima de la media. Estos resultados sugieren un control climático sobre la producción de combustibles para la quemar; a mayor disponibilidad de agua, mayor producción de combustibles y mayor frecuencia de fuegos. La extensa temporada de fuego, coincidente con la época de sequedad dentro del Chaco Occidental (~7 meses) parece asegurar la suficiente desecación de combustibles para la ocurrencia de fuego, en años con buena disponibilidad de combustibles finos (Bravo *et al*, 2010b).

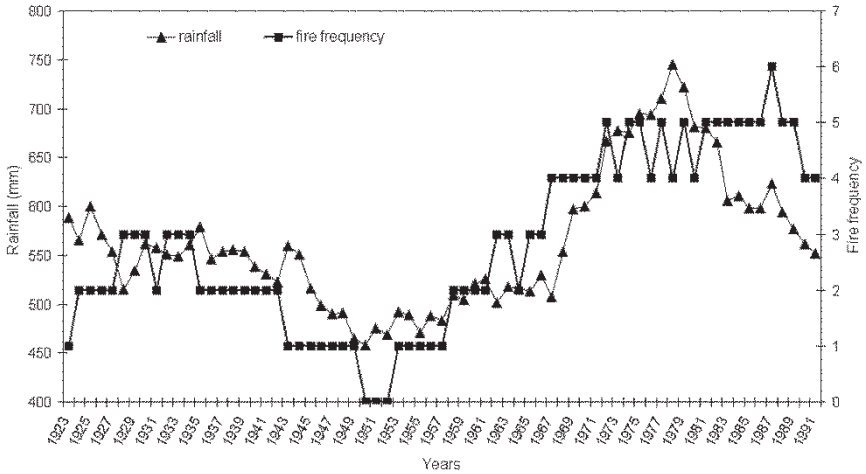


Figura 3. Relación entre precipitación y frecuencia de fuegos por décadas teniendo en cuenta fuegos que afectaron el 25 % de los sitios de muestreo en una sabana de *E. muticus*.

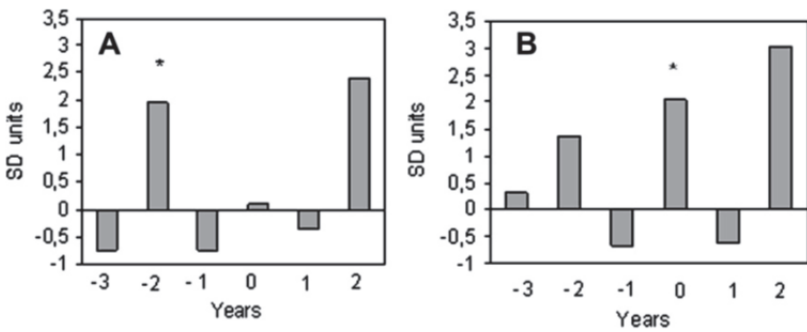


Figura 4. Relaciones entre los eventos de fuego y precipitaciones anuales en ventanas móviles extendidas desde 3 años previos al evento a 2 años después, desde 1925 a 1996, en una sabana de *E. muticus*. Las barras describen desviaciones de los valores medios esperados en unidades de desviación estándar, basados en Análisis de Épocas Superpuestas. A- Fuegos que afectaron al menos 25 % de los sitios de muestreo B- Fuegos que afectaron al menos 50 % de los sitios de muestreo.

Intensidad y severidad de fuegos

La intensidad hace referencia al calor liberado por el frente de avance del fuego y es un parámetro directamente relacionado a la carga de combustibles y a la física y al comportamiento del fuego. La severidad es uno de los parámetros del régimen de fuego cuyo concepto ha sido recientemente debatido, para diferenciarlo de la intensidad. La severidad es el efecto de la intensidad de fuego sobre los seres vivos y tiene influencia directa en el daño que éste puede ocasionarles y en la supervivencia. La severidad de fuegos pasados se estimaba con frecuencia a partir de parámetros indirectos como la extensión de las áreas afectadas, el número de árboles afectados, el número de cicatrices o lesiones por fuego identificadas o fechadas para cada evento (Ryan y Steel, 1989; Dansereau y Bergeron, 1993).

La altura de las cicatrices o marcas de fuego sobre el fuste de las leñosas se relaciona directamente con la longitud de las llamas, considerado el principal indicador de intensidad del fuego (Agee, 1993; Dickinson y Johnson, 2006, Cochrane, 2009). La altura de las lesiones ha sido considerada una técnica apropiada para estudios sobre severidad de los fuegos pasados en especies del Chaco Occidental, la altura promedio de las lesiones por fuego en las leñosas de sabanas fue de 1.5 m, lo que sugiere fuegos de severidad media a elevada durante el período 1925 - 1996 (Bravo *et al.*; 2001b). Estos resultados coinciden con datos obtenidos a partir de quemas prescritas dentro del mismo ambiente (Kunst *et al.*, 2000; 2011). Si se asignan las alturas de lesiones a clases de intensidad de fuego, los resultados sugieren que la severidad puede haberse incrementado entre 1970 y 1996, ya que los incendios fechados en la sabana de *E. muticus* en este período afectaron también mayores alturas de fustes (Bravo, 2006) (Figura 5).

Dentro de bosques secundarios de especies de *Prosopis*, en la Provincia de Santiago del Estero, se han registrado fuegos hasta una altura de 6 m, lo que indicaría la existencia de incendios de copa que suelen ocurrir bajo condiciones ambientales extremas (Bravo *et al.*, 2001a). El perímetro de las lesiones en el fuste, considerado por algunos autores como un indicador confiable de la intensidad de fuegos que las originaron, puede resultar afectado por características de los ejemplares, como el volumen del fuste y el espesor de la corteza, por lo tanto, solo es confiable si se ajusta previamente teniendo en

cuenta los rasgos morfológicos de las especies y su respuesta a quemadas de intensidad conocida.

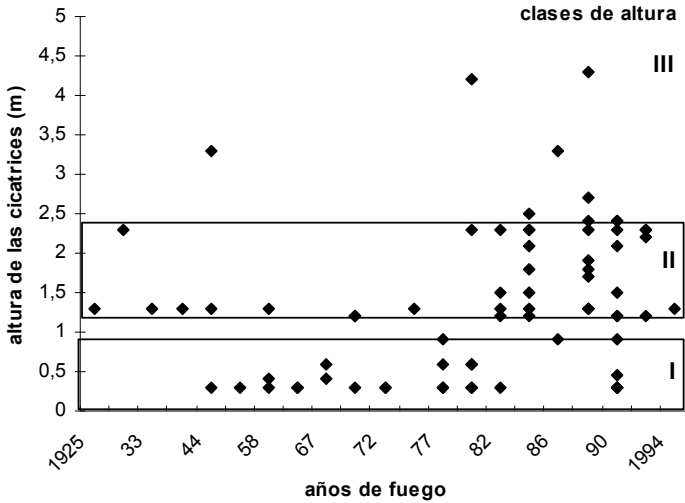


Figura 5. Altura de las cicatrices y marcas de fuego en árboles y arbustos en sabanas de *E. muticus*, Región Chaqueña, Argentina. Clase I: fuegos superficiales baja intensidad, Clase II: superficiales de mediana intensidad, Clase III: fuegos intensos.

Las quemadas prescritas y las experiencias en laboratorio son una herramienta interesante y necesaria para la interpretación de datos de severidad de fuegos obtenidos a campo y de las estrategias de regeneración, ya que brindan la potencialidad de relacionar la respuesta de las plantas a las variables conocidas del comportamiento del fuego como la intensidad, velocidad de avance, tiempo de residencia, largo de llama entre otros (Dickinson y Johnson, 2001).

Respuestas de Leñosas al Fuego

La evaluación de las respuestas de especies y comunidades vegetales en incendios accidentales han generado un gran número de trabajos en los cuales se comparan

las comunidades afectadas con áreas no quemadas de una misma región, desde aspectos tan variados como la biodiversidad, cambios estructurales, mortalidad, invasión de exóticas, entre otros. Sin embargo, los parámetros de comportamiento del fuego no son conocidos con exactitud y son frecuentemente estimados a partir de comunicaciones orales del personal de asistencia para las tareas de extinción o de pobladores locales. Si bien los datos generados por este medio son valiosos, al momento de evaluar los efectos y dar predicciones sobre la capacidad de regeneración deben ser cautelosos, ya que el comportamiento y la intensidad de los fuegos no han sido medidos durante el desarrollo mismo de las quemas.

A lo largo de las dos últimas décadas se han llevado a cabo estudios con quemas prescritas o con fuegos simulados, con la finalidad de relacionar más concretamente las características y comportamiento de fuego con la respuesta de las leñosas (Vega *et al.*, 2000; González Rosales y Rodríguez Trejo, 2004; Kennard y Putz, 2005). Estos estudios han contribuido notablemente a la construcción de modelos predictivos sobre la mortalidad de las especies frente a fuegos de diferentes comportamientos. Las respuestas de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental a fuegos prescritos han arrojado resultados muy interesantes, que indican la importancia de rasgos estructurales adaptativos sobre la mortalidad.

Las características estructurales de los bosques chaqueños, con un sotobosque mixto y denso, hicieron necesarios trabajos previos de logística dentro del área del ensayo, para evitar los escapes de fuegos y la aplicación de quemas prescritas sobre superficies reducidas. El fuego se aplicó en parcelas de superficies 2x2 m, con diferentes cargas de combustibles y en dos épocas diferentes dentro de la temporada de fuegos de la región: Julio y Octubre. Los fuegos se encendieron con antorchas de goteo y se midieron previamente las cargas de combustibles, para obtener dos niveles de intensidad de fuegos, a partir de 2 niveles de cargas de combustibles (4.000 KgMs/ha y 8.000 KgMs/ha). En ejemplares juveniles (DAP<15 cm) de las tres especies de leñosas más representativas del Chaco Occidental: *A. quebracho-blanco*, *S. lorentzii* y *Z. mistol*, se midieron dos tipos de respuestas al fuego con respecto al tiempo transcurrido desde el disturbio: a) a corto plazo (2 días después de la quema): altura de carbonización de fustes y b) a largo plazo (4 meses después de la quema) producción de rebrotes y mortalidad (Bravo *et al.*, 2009) (Figura 6).

Las repuestas de las leñosas estudiadas estuvieron condicionadas por caracteres específicos como el espesor y densidad de las cortezas, el banco de yemas (Bravo *et al.*, 2003; 2011; 2012) y del comportamiento de fuego (intensidad y carga de combustibles). Las especies arbóreas manifestaron alta tolerancia al fuego, probablemente debidas a combinaciones de espesores y densidades de corteza (datos aún no publicados). Las mediciones de supervivencia a corto plazo resultaron menos confiables que las de largo plazo, y se vieron afectadas por caracteres de las cortezas. Especies de menor densidad de cortezas manifestaron mayores alturas de carbonización pero baja mortalidad, lo que sugiere la necesidad de contemplar este carácter al momento de realizar las evaluaciones postfuego a corto plazo.

El patrón de rebrotes estuvo relacionado a la carga de combustibles, a la severidad del fuego y a las características del banco aéreo de yemas (Bravo *et al.*, 2009; 2011). Las quemadas tardías y aquellas realizadas con altas cargas de combustibles resultaron de mayor severidad y parecen influir en el tipo de rebrote (basales o epicórmicos). Las quemadas tempranas con bajas cargas de combustibles permiten un rápido recubrimiento a partir de brotes epicórmicos, pero éstos se verán expuestos a condiciones ambientales post quemada menos favorables (frío y sequías) (Figura 7). Las quemadas tardías produjeron predominantemente rebrotes basales formados a partir de yemas adventicias, en la base de la planta, lo que sugiere un efecto de pérdida de yemas por la mayor severidad de estas quemadas (datos aún no publicados).

La mortalidad de los ejemplares juveniles frente a fuegos prescritos de intensidad media a elevada fue baja (5% en *A. quebracho-blanco*, 8% en *S. lorentzii* y 10 % en *Z. mistol*) reafirmando el papel protector de la corteza en la supervivencia al fuego en estas especies (datos no publicados).

El fuego en ambientes productivos

La incidencia de fuegos en ambientes sujetos a explotación forestal, tanto bosque nativos como plantaciones, es considerada siempre negativa debido a que produce daños en la estructura de las leñosas, que persisten mucho tiempo después del evento (Sutherland and Smith, 2000). A pesar de ello, fuegos antropogénicos son comunes en estos ambientes, con una frecuencia

estrechamente relacionada con el clima y a los esfuerzos puestos en las tareas de gestión de combustibles.

Una demanda común después de la ocurrencia del fuego es la valoración de las pérdidas y el pronóstico de mortalidad secundaria al evento. El cumplimiento efectivo de esta demanda se alcanza solo a partir del conocimiento sobre rasgos estructurales y del ciclo de vida de las especies en cuestión. Esto se debe a que el grado de afectación por fuego es dependiente de la adaptación de las especies, ya que esta puede limitar el efecto aún de fuegos severos. El espesor de corteza, la altura de carbonización y el diámetro son las variables que influyen marcadamente la probabilidad de supervivencia (Catry *et al.*, 2009).

En estudios sobre efecto del fuego sobre el fuste en leñosas nativas del Chaco Occidental de Argentina, se han identificado dos tipos de lesiones: cicatrices y marcas, diferenciadas por el porcentaje de daño promedio al perímetro del tallo y la discontinuidad en el crecimiento y producción de madera en el área de la lesión (Bravo *et al.*, 2001a; 2006; 2008). Las cicatrices son heridas de mayor magnitud, que desencadenan alteraciones importantes en la sección del fuste, con cambios en la anatomía del leño formado en respuesta al daño, adyacente a la lesión (Figura 2 A). Las marcas representan lesiones de menor magnitud, que no producen interrupción del crecimiento ni cambios en la sección del fuste pero que originan respuestas anatómicas semejantes a las cicatrices, pero de escaso desarrollo (Figura 2 A, B, C). Han sido descritas también para *Prosopis kuntzei* (Giménez *et al.*, 1997) y *Prosopis caldenia* (Medina, 2008). Como consecuencia de las lesiones por fuego se forman columnas de leño decolorado, altamente sensibles al ataque de patógenos (hongos e insectos) que pueden constituir un factor de mortalidad secundaria a largo plazo (Figura 8).

Para limitar el ataque de patógenos, las especies compartimentalizan las lesiones mediante la secreción de sustancias de distinta naturaleza química, según la especie (Bravo *et al.*, 2001a; 2006). La compartimentalización de las lesiones por fuego, en las especies de leñosas nativas del Chaco estudiadas es eficiente ya que el daño queda restringido al leño decolorado (Bravo *et al.*, 2001a; 2006). El ataque de patógenos en ellas no está estrictamente relacionado a daños ocasionados por fuego. Las lesiones por fuego disminuyen la calidad de la madera en las especies estudiadas, no solo por el volumen del fuste que resulta no aprovechable para usos de mayor valor, sino también por las alteraciones

anatómicas del leño formado después del fuego. Estas alteraciones permiten definir una zona de barrera, un leño anómalo con menor proporción de tejidos lignificados y una mayor proporción de tejido parenquimático (Bravo *et al*, 2001a; Bravo, 2010 b) que pueden influir en sus propiedades tecnológicas. Sin embargo, es conveniente resaltar que el material de estudio proviene de bosque nativo y que los fuegos que generaron las lesiones fueron accidentales o naturales.

Estado actual y conclusiones

En diferentes regiones del mundo donde el fuego es un factor ecológico inherente a la dinámica misma de sus ecosistemas, actualmente se evalúa la posibilidad de gestionar los combustibles con fuego, para disminuir la probabilidad de grandes incendios forestales. La región Chaqueña argentina, presenta extensas áreas de pastizales y sabanas dedicados a la actividad ganadera, para la cual se emplea el fuego en carácter no prescripto, con el consiguiente deterioro de las áreas de bosques que limitan con ellas. Si bien el fuego parece constituir un pulso ecológico frecuente en estos ambientes, la frecuencia y la severidad de fuegos accidentales, sumado al escenario de cambio climático que afecta a nuestro planeta imponen la necesidad de continuar las investigaciones en ecología de fuego, a escala de especies y comunidades vegetales y animales. Estas investigaciones podrían ser claves en la evaluación de la potencialidad de aplicación de quemas prescriptas en ambientes dominados por especies leñosas, que actualmente se encuentran sujetos a actividades productivas ganaderas y forestales. La determinación de los objetivos de uso de las diferentes unidades de vegetación y los servicios ecosistémicos que brindan es un tema central al momento de evaluar las pautas y herramientas de manejo a nivel regional.

Referencias bibliográficas

- Agee, J. 1993. "Fire ecology of Pacific Northwest Forest". Island Press, Covelo. California.
- Aráoz, E. & H. Grau. 2010. "Fire-mediated forest encroachment in response to climate and land-use change in subtropical Andean Treelines". *Ecosystems* 13: 992-1005.

- Araujo, P.; M. Iturre; H. Acosta; R. Renolffi. 2008. "Estructura del bosque de La María EEA INTA Santiago del Estero". Quebracho, Revista de Ciencias Forestales 16: 5-19.
- Britos, A.H. y A. Barchuk. 2008. "Land use and land cover changes in two Arid Chaco sites, northwest of Córdoba Province, Argentina". Agriscientia XXV (2): 97-110.
- Bravo, S.; A. Giménez y G. Moglia. 2001a. "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; A. Giménez y G. Moglia. 2001b. "Fire regime of *Elionorus muticus* Spreng. savanna, Western Chaco region, Argentina". International Journal of Wildland Fire (10): 65-72.
- Bravo, S.; A. Giménez; C. Kunst y G. Moglia. 2003. "El fuego y las plantas". En: Kunst, Bravo y Panigatti, (Ed.). Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA, 6: 61-70.
- Bravo, S.; A. Giménez y G. Moglia. 2006. "Caracterización anatómica del leño y evolución del crecimiento en ejemplares de *Acacia aroma* y *Acacia furcatispina* en la Región Chaqueña". Bosque 27 (2): 146-154.
- Bravo, S. 2006. "Régimen de fuego en una sabana del Chaco Occidental y sus efectos morfológicos en especies leñosas". Resumen de Tesis Doctoral. Quebracho, Revista de Ciencias Forestales 13: 104-105.
- Bravo, S.; C. Kunst; R. 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; M. Leiva; R. Ledesma. 2009. "Altura de carbonización de fustes en leñosas nativas del Chaco en quemas prescriptas". Actas XXIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, 18-23 octubre.
- Bravo, S.; C. Kunst; R. Grau. 2010. "Fire-rainfall relationship in Argentine Chaco savannas". Journal of Arid Environments 74: 1319-1323.
- Bravo, S. 2010. "Anatomical changes induced by fire-damaged cambium in two native woody species of argentine Chaco region". IAWA Journal 31 (3): 283-292.
- Bravo, S.; C. Kunst; M. Basualdo, M. Leiva, R. Ledesma. 2011. "Assessment of the aerial bud bank of native tree and shrub species of the Chaco region, Argentina". International Rangeland Congress, 4-9 de abril, Rosario, Argentina.

- Bravo, S.; C. Kunst; M. Leiva; R. Ledesma. 2012. "Espesor de corteza y tolerancia al fuego en especies nativas del Chaco en estadio juvenil". Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Santiago del Estero, 9-11 de mayo.
- Bucher, E. 1980. "Ecología de la Fauna Chaqueña". Una Revisión. Ecosur, Argentina: 7 (14)14: 111-159.
- Cabido, M.; M. Zak; A. Cingolani; D. Cáceres y S. Díaz. 2005. "Cambio en la cobertura de la vegetación del centro de la Argentina ¿Factores directos o causas subyacentes?" En: Oesterheld *et. al.* (comp.) La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Ed. Facultad Agronomía UBA. 271-296.
- Cochrane, M. 2009. "Tropical fire ecology. Climate change, land use, and ecosystems dynamics". Springer-Praxis Books in Environmental Sciences. 682 pp.
- Dalla Tea F.; R. Renolfi; H. Pérez; E. Fumagalli y C. Kunst. 1987. "Efectos de un fuego accidental de un bosque de quebracho blanco. Región Chaqueña Occidental, Pcia. de Santiago del Estero". Actas 1º Jornadas Nacionales de Zonas Áridas y Semiáridas, Santiago del Estero. Pgs: 215-217.
- Dansereau P. y Y. Bergeron. 1993. "Fire history in the southern boreal forest of northwestern Québec". Canadian Journal of Forest Research 23(1):25-32.
- Dickinson, M.; E. Johnson. 2001. "Fire effects on trees. In: Forest Fires: Behavior and Ecological Effects". Ed.: Johnson, E and Mishanishi. K. Academic Press. NY, USA. Pp 477-526.
- Giménez, A.; N. Ríos, y J. Moglia. 1997. "Leño y corteza de Itín *Prosopis kuntzei* (Harms) en relación a algunas magnitudes dendrométricas". Investigación Agraria Sistema y Recursos Forestales 6 (1 y 2):163-182.
- González Rosales, A. y D. Rodríguez Trejo. 2004. "Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Distrito Federal, México". Agrociencia 38 (5):537-544.
- Grau, H. y T. Veblen. 2000. "Rainfall variability, fire and vegetation dynamics in neotropical montane ecosystems in north-west Argentina". Journal of Biogeography 27: 1107-1121.
- Grau, H.; T. Easdale y L. Paolini. 2003. "Subtropical dendroecology. Dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems". Forest Ecology and Management 177: 131-143.

- Johnson, E.; K. Miyanishi y J. Bridge. 2001. "Wildfire regime in the Boreal Forest and the idea of suppression and fuel buildup". *Conservation Biology* 15 (6):1554-1557.
- Kennard, D.; Putz, F. 2005. "Differential responses of Bolivian timber species to prescribed fire and gap treatments". *New Forests* 30:1-20.
- Keeley, E. y Fotheringham, C. 2001. "Historic Fire Regime in Southern California Shrublands". *Conservation Biology* 15 (6):1536-1548.
- Kitzberger, T.; T. Veblen y R. Villalba. 2000. "Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica". *Dendrocronología de América Latina*. F. A. Roig (comp.) EDIUNC, Mendoza, Argentina. Pp 17-78.
- 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.; E. Monti; H. Pérez; J. Godoy. 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.; R. Ledesma; S. Bravo; A. Albanesi; A. Anriquez; J. Godoy. 2009. "Fire as a tool for rangeland improvement in Northwestern Argentina". 1st South American Symposium on Fire Ecology and Management, Centro Nacional Patagónico CENPAT, Puerto Madryn, Argentina.
- López de Casenave, J.; J. Pelotto y J. Protomastro. 1995. "Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina". *Forest Ecology and Management* 72:61-69.
- Medina, A. 2008. "Cicatrices de fuego en el leño de *Prosopis caldenia* en Luán Toro, provincia de La Pampa, Argentina". *Bosque* 29(2): 115-119.
- Pivello, V. 2011. "The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present". *Fire Ecology* 7 (1): 24-39.
- Ryan, K. y B. Steel. 1989. "Cambium mortality resulting from broadcast burning in mixed conifer shelterwoods". P. 108-116. Proc. 10th Conference on Fire and Forest Meteorology. Ottawa Canada.
- Schweingruber, F. 1989. "Tree Rings". Basis and Applications of Dendrochronology. Kluwer Academic Publishers. 276 pgs.

- Shlisky, A.; J. Waugh; P. González; M. González; H. Santoso; *et al.* 2007. "El fuego, los Ecosistemas y la Gente: Amenazas y Estrategias para la Conservación Global de la Biodiversidad". Informe Técnico de la Iniciativa Global para el Manejo del Fuego- The Nature Conservancy. Arlington, VA.
- Swetnam, T. y C. Baisan. 1996. "Historical fire regime patterns in the Southwestern United States since AD 1700". Fire Effects in Southwestern Forest. Proceedings of the Second La Mesas Fire Symposium. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR-286. Pg. 11-32.
- Soares, R. V. 1990. "Fire in Some Tropical and Subtropical South American Vegetation Type: An Overview". Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies 84. Ch. 5:63-81. Springer-Verlag. Germany.
- Sutherland, E. y K. Smith. 2000. "Resistance is not futile: The response of hardwoods to fire-caused wounding". Proceedings Workshop on Fire, People and Central Hardwoods Landscape. Pp. 111-115.
- Turner, M. 2010. "Disturbances and landscape dynamics in a changing World". Ecology 91(10): 2833-2849.
- Vega, J.; P. Pérez-Gorostiaga; P. Cuiñas; M. Alonso; M. Fontúrbel; C. Fernández; M. Rozados. 2000. "Patrones espaciales de temperaturas en el tronco y copa de *Pinus pinaster* durante fuegos prescritos". Cuadernos de la S. E. C.F, N° 9: 91-99.
- Zak, M.; M. Cabido; J. Hodgson. 2004. "Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future?". Biological Conservation 120(2004) 589-598.

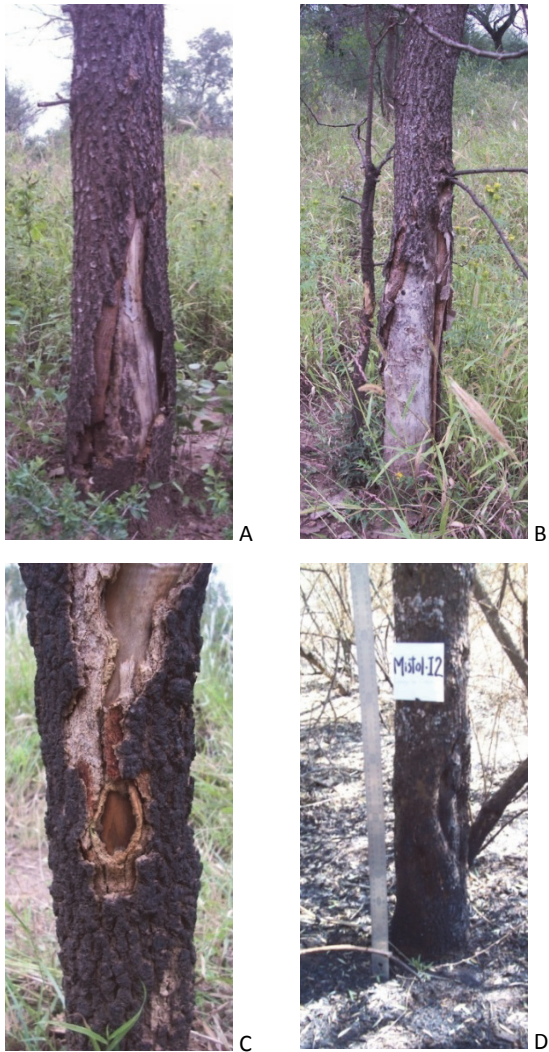


Figura 1. Cicatrices de fuego estudiadas en ensayos con quemas prescritas
A-B- *Schinopsis lorentzii*, C- *Aspidosperma quebracho-blanco*, D- *Ziziphus mistol*.

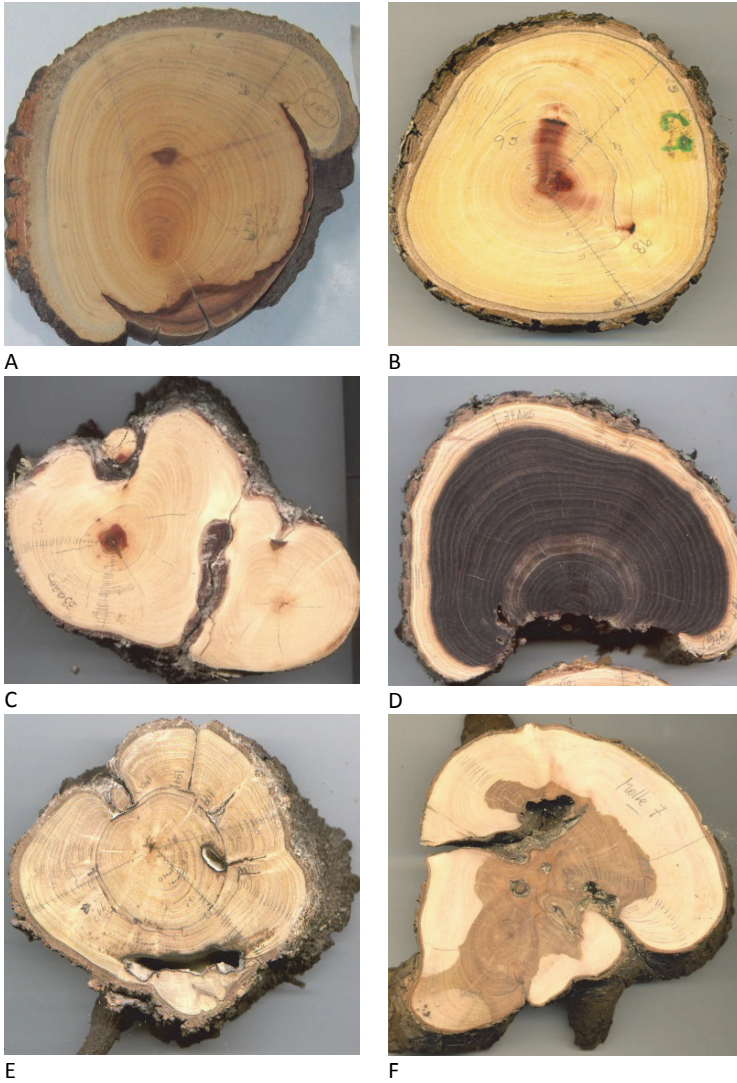


Figura 2. Estudio de cicatrices y marcas de fuego en especies de leñosas nativas del Chaco
A- *A. quebracho-blanco*, B- *S. lorentzii*, C- *Z. mistol*,
D- *A. furcatispina*, E- *Celtis tala*, F- *Schinus molle*.



Figura 6. Ensayos con quemas prescriptas en ejemplares juveniles de leñosas nativas del Chaco Occidental de Argentina, A- Parcela con baja carga de combustibles finos B- Desarrollo de la quema C- Postquema D- Evaluación de altura de carbonización (corto plazo).

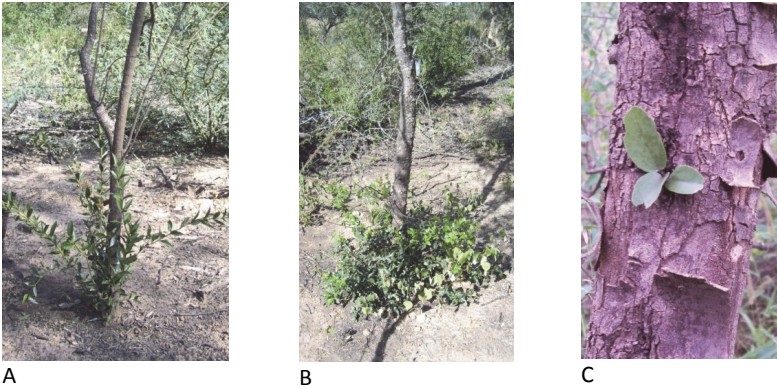


Figura 7. Tipos de rebrotes postfuego en leñosas nativas del Chaco, A- Rebrotos basales en *A. quebracho-blanco*, B- Rebrotos basales en *S. lorentzii*, C- brotes epicórmicos en *Z. mistol*.

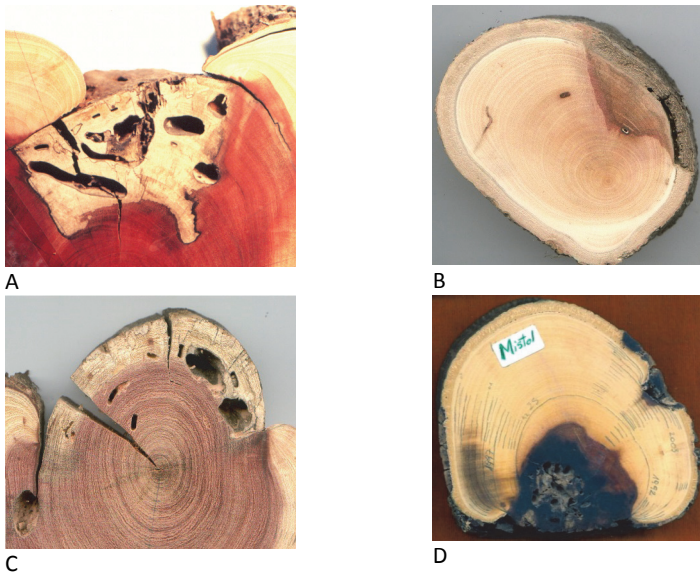


Figura 8. Macroscopía de leño afectado por fuego en especies de leñosas nativas del Chaco Leño decolorado asociado a cicatriz de fuego en *S. lorentzii*. B- Marca de fuego con ataque localizado de hongos en *A. quebracho-blanco*, C- Galería de insectos en leño decolorado de *A. aroma*, D- Compartimentalización de cicatriz de fuego y ataque de insectos en *Z. mistol*.