

ECOLOGÍA Y USO DEL FUEGO EN LA REGIÓN CHAQUEÑA ARGENTINA: UNA REVISIÓN

Carlos Kunst

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero
Jujuy 850 G4200CQR. Santiago del Estero. ARGENTINA

email: ckunst@santiago.inta.gov.ar

Sitio web: www.inta.gov.ar/santiago

Boletín del CIDEU 10: 81-105 (2011)

ISSN 1885-5237

‘...una de las armas mas terribles de los indígenas es el fuego. Tienen gran cuidado de conservar durante todo el año puntos determinados sin quemar, ya para ampararse del fuego en una defensiva, ya para triunfar con el fuego en una agresión que emprenden ... Y si bien generalmente hacen quemazones en cierta época para la caza de animales, o para arralar sus bosques, o para preparar sus tierras de sementeras, es también costumbre de ellos anunciarse con humareda’.

E. Castro Boedo. 1873. *Estudio sobre la navegación del Bermejo y colonización del Chaco.* Buenos Aires. Citado por J. Morello, IDIA 1970.

‘...el humo era el incendio de la pradera a la que los indios prenden fuego casi siempre en el punto en donde se detienen... como señal para cualquiera otra tribu...para encontrar, cuando pasen por el mismo sitio, pasto fresco y abundante...’

Amadeo Jacques (1858). *Una excursión al Chaco.*

‘Los ganaderos queman todos los años’

Hieronymus J. 1874. *Observaciones sobre la vegetación de la Provincia de Tucumán.* Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Exactas de Córdoba, Tomo I: 185-234.

‘...Incluso la palabra Chaco en todas sus acepciones lleva implícito el concepto de perturbación del manto verde con uso del fuego’.

Morello (1970). *Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco argentino.* IDIA 276: 31-52.

1. El fuego y el Chaco

El fuego ha estado presente siempre en el Chaco. Los pueblos originarios lo usaron extensivamente para la guerra, caza y para preparar la vegetación para la agricultura, tal como lo indican las citas bibliográficas del comienzo. La primera mención del uso del fuego para la ganadería en el Chaco proviene de Hieronymus (1874), un naturalista alemán contratado por el gobierno argentino para realizar un inventario de la flora y fauna locales. Este científico señala que el objetivo de la quemas por parte de los ganaderos era ‘crear’ forraje verde en la primavera temprana, debido a que eliminaba el tejido muerto y seco de la estación invernal. Hieronymus(1874) condenaba el uso el fuego, porque se ‘perdían’ especies de pastos valiosos al quemarse sus individuos jóvenes, y también por una interacción negativa con el pastoreo y pérdidas de nutrientes del suelo. Tortorelli (1947) compartía esta visión negativa y condenaba el uso del fuego en combinación con la ganadería, por el daño potencial a los bosques nativos. Por el contrario, Papadakis (1951), un ecologista del Ministerio de Agricultura, recomendaba el uso del fuego para controlar especies arbustivas en ambientes de pastizal chaqueños. Posteriormente, Morello y Saravia Toledo (1959); Morello (1968) y Morello y Adamoli (1974) reconocían al fuego como un factor ecológico que contribuía mantener el equilibrio entre comunidades leñosas (arbustales, bosques) y herbáceas (sabanas, pastizales) en el Chaco y sugerían investigación en el uso del fuego para manejo del campo natural.

Las ideas y conceptos brevemente expuestos señalan la contradicción existente sobre el fuego desde hace mucho tiempo. Como en todo el mundo, la cuestión de fondo, fuego es malo-fuego es bueno no se resuelve debido a teorías y visiones discrepantes sobre la sucesión vegetal, valores económicos y ecológicos, uso de

tipos de vegetación, etc. (Feuillade *et al.*, 2011 a y b).

En ambientes naturales el fuego es un disturbio o perturbación que elimina biomasa vegetal y puede ser caracterizado mediante su intensidad, severidad, frecuencia, tiempo de retorno y otros atributos (Sousa, 1984; Brown, 2000; White and Jentsch, 2001; Platt y Connell, 2003). El fuego es equivalente a otros disturbios naturales tales como plagas, inundaciones, herbivoría de la fauna silvestre; y disturbios antrópicos como pastoreo, poda y raleo en plantaciones forestales industriales. Los disturbios o perturbaciones son parte de los ecosistemas y deben tenerse en cuenta cuando se trata la sustentabilidad de los mismos. Las diferencias en la percepción de las perturbaciones se originan en su espectacularidad, frecuencia, tiempo de retorno y en visiones humanas. Naveh (2004) señala que investigación en las características de los disturbios es esencial para el manejo de sistemas complejos como los naturales.

En la región chaqueña argentina, como en otras regiones de la Argentina y del mundo, el fuego es un evento ecológico recurrente, que actuando con distinta frecuencia e intensidad modela el paisaje, junto al clima y la fisiografía (Morello, 1970; Morello y Adamoli, 1974; Trabaud, 1992; Wright y Bailey, 1982).

A pesar de ser percibido durante muchos años como un agente dañino y destructor, en la actualidad se considera al fuego como un disturbio natural, y como tal, contribuye a la sustentabilidad de muchos ecosistemas (Stuart Chapin *et al.*, 1996). Este cambio a nivel conceptual se debe a que evidencia científico-técnica demuestra que el fuego es esencial en el reciclado de nutrientes dentro de algunos ecosistemas (Trollope, 1984); en el mantenimiento de la diversidad de especies (Kunst *et al.*, 2003); en la renovación de ambientes estancados por la excesiva acumulación de material senescente, y para el mantenimiento del

hábitat de muchas especies de fauna, entre otros efectos (Wright y Bailey, 1982; Bucher, 1982; Keeley, 1987; Agee, 1993; Brown y Kapler Smith, 2000; FAO, 2008; Myers, 2008; Cochrane, 2009; Montiel y Kraus, 2010).

Dentro de este enfoque moderno y amplio, se habla del 'régimen' y/o 'ecología de fuego' para una región. El régimen es una descripción del rol que tiene el fuego en un ecosistema en particular y suele incluir una descripción de su frecuencia, intensidad, estación en la que se producen las quemadas, extensión de áreas afectadas y de sus efectos en el suelo y la vegetación (Agee, 1993; Glitzenstein *et al.*, 1995). Otros autores emplean los términos 'ecología de fuego' al referirse a las mismas características (Wright y Bailey, 1982; Defossé, 1996).

El objetivo de este artículo es revisar y analizar la información disponible sobre régimen de fuego en la región chaqueña y contribuir así a la comprensión del fenómeno y de su papel en la ecología de los ecosistemas chaqueños. Los conceptos e información discutida en este capítulo pueden aplicarse a la llanura chaqueña. El régimen y ecología del fuego en el Chaco Serrano no será analizado en el presente trabajo por tratarse de un ambiente de relieve quebrado, en el cual el comportamiento del fuego varía notablemente con respecto a los fuegos de llanuras, a pesar de que también allí es un fenómeno frecuente (Cabido y Zak, 1999).

2. Características ambientales del Chaco

El Chaco es una gran llanura ubicada en el noroeste de Argentina y países vecinos con pendiente gradual hacia el este-sureste (Fig. 1). Hacia el norte y el este los límites de la región chaqueña en la Argentina están constituidos por los ríos Pilcomayo y Paraná, respectivamente; al oeste las serranías de Tucumán y Salta y el límite sur es más bien teórico y sería la isoterma anual de 20-22 °C (Bruniard, 1978; Bucher, 1982, Fig. 1).

El clima de la región chaqueña está determinado por la interacción entre las masas de aire de origen polar y los centros de baja y alta presión localizados en el invierno y verano, respectivamente, en el centro del país. Durante todo el año el anticiclón del Pacífico sur produce masas de aire frías y húmedas que penetran en la Argentina desde el sur de la Patagonia, debido al menor desarrollo altitudinal de los Andes a estas latitudes, y recorren sin obstáculos la llanura argentina. En invierno, un centro de baja presión se ubica en el centro norte del país, desviando hacia el este las masas de aire. En verano, este centro se desplaza hacia el oeste y es reemplazado en la zona por un centro de alta presión que no interfiere con el pasaje de las masas. Estas, al chocar con aire caliente, generan lluvias frontales intensas (Bolettacom. *personal*, Boletta, 1988). Así, el invierno es seco y frío, la primavera seca y calurosa y el verano húmedo y caluroso. La temperatura media del mes más frío (Julio) es de 13,3 °C. Las heladas pueden alcanzar los -10 -12 °C en algunos inviernos en la parte central. La fecha probable de primera helada se presenta en Mayo y la última en Octubre.

Las precipitaciones se concentran en el verano y principios de otoño (régimen monzónico). La temperatura del aire del mes más cálido (Enero) es 26 °C. La precipitación media anual alcanza los 1000 - 1200 mm a orillas del río Paraná, descendiendo hasta los 300 - 500 mm en el centro de la región (la diagonal árida) y vuelve a aumentar en las estribaciones de las serranías. Existe una marcada variabilidad de las precipitaciones entre años y dentro de cada año.

La región Chaqueña posee suaves ondulaciones, resultantes de la divagación y del ciclo anual de inundaciones y secas de los ríos Salado, Dulce, Pilcomayo y Bermejo. A un nivel de percepción equivalente a una escala ~ 1:50000, los procesos geomorfológicos causados por el divagar de los ríos y del agua de lluvia (terrazas, planicies y meandros; Morello,

1970; Bucher, 1982) determinan las características de los suelos, tales como material original y textura. Pueden distinguirse así tres sitios ecológicos: el alto, la media loma y el bajo (Morello, 1970; Kunst *et al.*, 2006). Los suelos del alto son de textura gruesa y están poco desarrollados mientras que en el bajo, la textura es fina y el desarrollo del suelo es mayor (Peña Zubiate *et al.*, 1978).

La vegetación nativa de la región chaqueña es un mosaico de bosques, parques, sabanas y arbustales (Frenguelli, 1940; Ragonese, 1941; Morello y Saravia Toledo, 1959; Adámoli *et al.*, 1972; Morello y Adámoli, 1974; Kunst *et al.*, 2006). La fisonomía vegetal y la composición botánica varían de acuerdo los sitios ecológicos descriptos: los bosques de *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado) y *Aspidoperma quebracho blanco* (quebracho blanco) se ubican en los altos, las sabanas de *Elionorus muticus* se ubican en los sectores bajos y los parques en las medias lomas (Fig. 2). Los arbustales y los bosques bajos son ubicuos y resultantes generalmente de la sobretala y sobrepastoreo de las sabanas y bosques.

3. Ecología y régimen del fuego

El fuego como disturbio frecuente en la región chaqueña contribuye a la creación de espacios abiertos y es considerado responsable del equilibrio entre comunidades de leñosas y herbáceas (Morello y Adámoli, 1974; Adámoli *et al.*, 1972, 1990).

3. 1. Origen del fuego

En el pasado, los indios quemaban con gran frecuencia para cazar, guerrear o para hacer más habitable los alrededores de sus viviendas (Morello y Saravia Toledo, 1959; Morello 1970; Lorea y Kunst, 2011). En la actualidad, la mayoría de los incendios están ligados a la actividad ganadera o agrícola (Bordón, 1993; Grau *et al.*, 2005). Existe evidencia que los rayos pueden originar fuegos de gran magnitud, especialmente en áreas serranas (Kunst, observación personal).

3.2. Tipos y modelos de combustibles chaqueños

Los '*modelos de combustible*' se definen por el tipo de combustible que propaga el fuego o que ejerce el mayor control sobre su comportamiento (Rothermel, 1983). Los combustibles se caracterizan en función de sus diámetros (Tabla 1), que determinan sus tiempos de retardo, es decir el tiempo en que equilibran su contenido de humedad con la humedad relativa del aire (Rothermel, 1983). Los pastizales, sabanas, parques, arbustales y bosques constituyen los diferentes modelos de combustible de la región chaqueña.

Los combustibles finos (diámetro < 0,5 cm) están compuestos por las gramíneas y latifoliadas herbáceas nativas. El calor de combustión de las gramíneas nativas varía entre 15900-16400 kJ. k sobrepastoreo g⁻¹, similar al informado para otras especies a nivel mundial (Tabla 1). En los parques, sabanas y pastizales predominan los combustibles finos, con cargas que varían entre 4000-10000 kg. ha⁻¹ de materia seca.

Los bosques y arbustales presentan además de combustibles finos, combustibles medianos y gruesos en pie o en el suelo. Las especies de árboles y arbustos que comprenden los combustibles medianos y gruesos de la región chaqueña poseen un poder calorífico similar al de los combustibles finos, pero se caracterizan por su elevado peso o densidad específica comparada con especies leñosas de otros ecosistemas (Tabla 2). Las cargas de combustible fino en bosques y arbustales es menor que en la media loma y el bajo; oscilando ente 0-1000 kg. ha⁻¹ de materia seca. Barrionuevo (1997) informa para bosques de quebracho colorado y blanco del sector semiárido del Chaco una carga de combustible de 214 ton. ha⁻¹ incluyendo troncos de árboles y mantillo; sin considerar arbustos y copas de árboles.

Por sus características físicas (tamaño, compactación, etc.) es difícil una ignición directa de los combustibles medianos y

gruesos, pero es posible la transmisión del fuego de un modelo de combustible a otro debido a la disposición ‘en escalera’ o en estratos de algunos de ellos (ej. ramaje basal en quebracho colorado, musgos y arbustivas). La presencia de terpenos y sustancias volátiles en especies nativas entre ellas *Larrea divaricata* (jarilla), *Lippia turbinata* (poleo) y *Schinus spp.* a estos combustibles características particulares y facilita la propagación del fuego de un modelo de combustible a otro (Tortorelli, 1947, Nuñez *et al.*, 2006, Rueda *et al.*, 2011; AUS, 2011, Moriconi, 2009; Kunst *et al.*, 2012).

3.3. Componentes del régimen de fuego

3.3.1. Época de quemas

La *temporada de fuego* en la región chaqueña está asociada directamente con el patrón climático: comienza en junio - julio, luego que las primeras heladas ‘fuertes’ acondicionan el combustible – particularmente el herbáceo- y finaliza con las primeras lluvias importantes que ocurren durante octubre – noviembre y que generan el aumento la humedad relativa del aire y la producción de nuevo tejido vegetal (Fig. 3).

Las especies de gramíneas que componen los pastizales y sabanas de la región (géneros *Elionorus*, *Pappophorum*, *Heteropogon* y *Botrichloa*) presentan en su gran mayoría síndrome fotosintético C4, producen y acumulan biomasa (combustible fino) durante la primavera, verano y otoño con una magnitud que oscila entre 1000 y 10000 kg MS. ha⁻¹, dependiendo de la subregión y del grado de uso (Kunst *et al.*, 2006). El crecimiento no se detiene mientras haya humedad disponible en el suelo pero cesa abruptamente con las heladas, que contribuyen a la acumulación de material senescente necesario para la quema.

A fines de invierno - principios de primavera generalmente soplan en la región vientos de dirección norte-noreste, con velocidades que pueden alcanzar los 60 km. h⁻¹ (INTA EEA Santiago del Estero,

Observatorio Meteorológico, comunicación personal). La humedad relativa del aire durante esta época puede llegar al 20 % al mediodía y entre las 13 y 16 hs. (Fig. 4). Bajo estas condiciones ambientales los fuegos son intensos y se propagan fácilmente. La estructura del paisaje chaqueño, caracterizado por pastizales en bajos rodeados de ‘paredes’ de bosques, genera un ambiente propicio ya que el viento se canaliza en ellos y acelera la velocidad de avance del frente de fuego (Fig.2).

Las quemas se originan y se propagan primero en las sabanas y pastizales. El fuego se detiene generalmente en el ecotono entre bosque y sabana, donde existe un aumento de la cobertura de especies arbustivas y una disminución del combustible fino, razón por la que se la denomina franja ‘guardafuego’ (Bordón, 1983; Adámoli *et al.*, 1990). En condiciones climáticas extremas, estos fuegos pueden extenderse a los bosques, generándose incendios de copa (Tortorelli, 1947; Mariot, comunicación personal).

3.3.2. Intensidad y severidad del fuego

La intensidad es la cantidad de energía liberada por el frente de fuego, mientras que la severidad es el efecto del fuego sobre el ecosistema (Alexander, 1982). Estos dos atributos se utilizan para caracterizar el comportamiento de un fuego, información clave desde el punto de vista ecológico (Hély *et al.*, 2003, Belgili y Saglam, 2003). Por lo tanto, todos los fuegos no son iguales (Tabla 2).

Observaciones realizadas en quemas prescriptas indican que en sabanas chaqueñas el largo de llamas supera ampliamente 2-3 m en fuegos frontales y condiciones ambientales promedio lo que representa una intensidad de fuego elevada. A pesar de ello, la severidad de los mismo puede ser media a baja debido a que el efecto sobre el suelo fue muy bajo (Kunst *et al.*, 2000).

El fuego causa lesiones o cicatrices en las leñosas, y la altura del fuste a la que se

presentan es considerada un indicador confiable de la intensidad del fuego (Ryan y Steele, 1989; Bravo, 2006). El análisis de la distribución de alturas de cicatrices en leñosas presentes en los ecotonos entre bosques y sabanas chaqueñas sugiere que la mayor parte de los fuegos en los mismos poseen intensidad media a elevada (Bravo *et al.*, 2001).

En bosques y arbustales, donde los combustibles de tipo mediano y grueso aumentan su participación, la intensidad y severidad de un fuego pueden ser muy altas y producir esterilización de suelos y cambios irreversibles en algunas comunidades vegetales (Morello, 1970). El largo de llamas puede superar los 6-7 m y la columna de convección 10 - 20 m de altura (Abatedaga, com. personal). Este hecho se debe a las altas cargas de combustible que pueden estar presentes y al peso específico de las maderas de las especies leñosas chaqueñas.

3.3.3. Frecuencia de fuego

Se define a la *frecuencia de fuego* como el número de incendios que se producen en un lapso determinado de tiempo (Wright y Bailey, 1982; Agee, 1993). La mayor parte de los trabajos relacionados al tema se refiere al número de incendios por año, pero su magnitud suele ser de orden decimal en algunos ambientes debido a que una frecuencia anual de incendios no es común por insuficiente acumulación de combustible en ese período. Debido a ello se utiliza el concepto de *Intervalo Libre de Retorno de Fuego* (ILRF), que representa el período de tiempo promedio transcurrido entre dos incendios sucesivos, y refleja más claramente su frecuencia.

En ecotonos entre bosque y sabana de *Elionorus muticus* en el Chaco Occidental de Argentina, Bravo *et al.*, (2001) estimaron una frecuencia de 0,179 fuego.año⁻¹ y un valor medio de ILRF de 3-4 años, en base a una función probabilística de Weibull para el período 1923-1996. Bordón (1993) informa para sabanas bajo uso ganadero una frecuencia

anual de incendios en las zonas más húmedas del Chaco, originada por la aplicación de quemados con el fin de favorecer el rebrote de los pastos y control de leñosas. Morello (1970) indica que los graminales y pajonales de los esteros deben estar sometidos a perturbaciones periódicas de fuego (1 fuego por año) e inundación para mantenerse en el tiempo. Las citadas frecuencias e ILRF se encuentran dentro del rango de probabilidades propuesto para sabanas y pastizales a nivel mundial: 1-2 años en zonas húmedas y 4-8 años en zonas áridas (Leigh y Noble, 1981; Wright y Bailey, 1982; Trollope, 1984 a; Glitzenstein *et al.*, 1995).

No se disponen de datos de frecuencia e ILRF en bosques chaqueños, aunque Morello (1970) sugiere que la 'cumbre no inflamable' posee una muy baja frecuencia de fuego. La quema de bosques de madera dura solo ocurriría en condiciones climáticas extremas (Morello, 1970).

3.3.4. Cambios temporales del régimen de fuego

Las actividades del Hombre y los cambios climáticos son las principales fuentes de variación del régimen de fuego en distintas regiones del mundo. Dentro de la región Chaqueña, ciclos de lluvia por debajo de lo normal, el advenimiento de la ganadería; el exceso de carga animal, el emplazamiento de puestos y caminos que modifica el escurrimiento de agua y también el uso irrestricto de fuego combinado con el pastoreo fueron las principales causas de los cambios en el régimen natural de fuego ocurridos a partir fines del siglo XIX y principios del siglo XX (Morello y Saravia Toledo, 1959; Sarmiento, 1963; Morello, 1970; Morello y Adámoli, 1973; Adámoli *et al.* 1972 y 1990).

Los disturbios citados generaron arbustales y bosques secundarios, con escasa cantidad de combustible fino y poca posibilidad de ser quemados (Sarmiento, 1963; Renolfi, 1993; Kunst *et al.*, 2003). Evidencia sobre la presencia de mayor proporción de comunidades herbáceas, y

por ende de fuego proviene de distintos ámbitos. Así, descripciones de algunos tipos de suelos de la región indican que los mismos se desarrollaron bajo una cobertura importante de gramíneas (Zuccardi y Fadda, 1971). Otra evidencia la suministran testimonios y relatos de antiguos viajeros (Moussy, 1853) y la contradicción entre topónimos e imágenes antiguas de la región y situación actual (Morello, 1970).

A fines del siglo XX, el abandono de las estancias, la disminución de la carga animal y la aplicación irracional de quemados para producir el rebrote de los pastos hicieron aumentar nuevamente la frecuencia de fuego: en la década de 1990 más de 100.000 ha. se quemaron en la zona suroeste de Santiago del Estero (Monti, comunicación personal). Actualmente se observan fuegos destinados a la habilitación de tierras para agricultura (DiBella *et al.*, 2006). En la actualidad, la introducción de gramíneas subtropicales del género *Panicum* y *Cenchrus* puede traer aparejado un cambio profundo en el régimen de fuego, debido a su gran potencial de producción de materia seca y los posibles cambios en el comportamiento de fuego (Williams y Baruch, 2000; Platt y Gottschalk, 2001; McDonald y McPherson, 2011).

4. El fuego en sabanas y pastizales

Un efecto general del fuego en comunidades herbáceas es controlar la invasión de leñosas y mantener el paisaje de sabana y pastizal (Morello y Adámoli, 1973). También produce cambios menos visibles pero sí importantes en el ciclo de nutrientes, la presencia/ausencia de especies y el equilibrio entre gramíneas y latifoliadas (González *et al.*, 2002; Kunst *et al.*, 2003). Algunas características sugieren que estas comunidades son fuego - dependientes. El follaje de *Elionorus muticus*, gramínea dominante en las sabanas del sector central de la región, es abierto, fino y contiene terpeno citral lo que le otorga gran inflamabilidad (Burkart, 1969). *Elionorus muticus* (aíbe) florece profusamente solo después de un fuego (Kunst, observación

personal) y otras como *Heteropogon contortus*, presente también en estas sabanas, necesitan de este fenómeno para perdurar en el tiempo (Tothill *et al.*, 1969). Las comunidades puras de *Trithrinax campestris* estarían asociadas a fuegos frecuentes (Luti *et al.*, 1979). En sectores más húmedos del Chaco *Trithrinax biflabellata* genera incendios de gran intensidad y severidad (Morello y Adámoli, 1973).

Brown (2000) propone una clasificación de los regímenes de fuego en función de su severidad. De acuerdo a la misma, los pastizales y sabanas de la región chaqueña poseen un régimen de fuego tipo 'reemplazo de la comunidad', ya que el fuego elimina toda la parte aérea de la vegetación presente, cambiando sustancialmente su composición botánica durante un lapso variable de tiempo (Kunst *et al.*, 2003). El 'pastizal de quemados', un tipo de pastizal del Chaco occidental que se origina en los claros causados por los incendios de bosques y donde predominan los géneros *Trichloris*, *Setaria* y *Digitaria* es totalmente 'fuego dependiente' (Morello y Saravia Toledo, 1959; Morello y Adámoli, 1973).

Casillo *et al.* (2011) informan que la interacción de precipitaciones por arriba del promedio y fuego favorece el componente herbáceo de las sabanas del Chaco. A nivel de especie, la información sobre efecto del fuego es fragmentaria. Kunst *et al.* (2003) indican que luego de un fuego se incrementa la diversidad α del estrato herbáceo de sabanas de *Elionorus muticus*. Especies anuales, especialmente leguminosas herbáceas pertenecientes a los géneros *Indigofera*, *Rynchosia* y *Desmanthus*, necesitan aparentemente la apertura del canopy producida por el fuego para poder germinar y cumplir su ciclo. Renolfi (1993) informa que la interacción fuego y sequía reduce la cobertura de pastos de la sabana más que el fuego en sí mismo. Las especies leñosas de las sabanas pertenecen a los géneros *Acacia*, *Prosopis* y

Aspidosperma. El efecto del fuego sobre leñosas se tratará en la sección siguiente.

5. El fuego en bosques y arbustales.

El encendido de bosques y arbustales ‘puros’ no es tan fácil como en sabanas y pastizales y se produce generalmente de manera indirecta a través de especies con follaje muy inflamable como *Schinus* spp (molle), *Aloysias* spp, *Larrea divaricata* (jarilla) y la palmera *Trithrinax campestris* que suelen ubicarse en los ecotonos entre bosques y pastizales (Tortorelli, 1947; Morello y Adámoli, 1973; Kunst, obs. personal) formando ‘escaleras de combustible’ por donde el fuego asciende a las copas.

El régimen de fuego de bosques y arbustales podría ser definido como ‘mixto’, produciéndose fuegos de reemplazo total, pero con poca frecuencia (Tálamo, 2000) y otros, mas frecuentes y que generan un reemplazo parcial de la comunidad leñosa (Brown, 2000). La abundancia de combustible fino y medio, sumado a la presencia de especies con componentes inflamables (taninos, gomas y terpenos) en sus tejidos determinan, junto a las condiciones ambientales, el tipo de incendio.

En general los estudios de efectos del fuego sobre leñosas se basan en la observación de daños en áreas quemadas por fuegos fortuitos y/o accidentales, no a través de ensayos manipulativos (Rivera, 2004). Ello limita las conclusiones debido a que se ignoran las características del fuego (ej. intensidad, condiciones meteorológicas, cantidad y tipo de combustible quemado, comportamiento del fuego). La capacidad de las leñosas de sobrevivir al fuego está brindada por dos características: el espesor de su epidermis y la capacidad de generar rebrotes basales (Bravo *et al.*, 2001; Barchuk, 2006). Las especies de los géneros *Acacia* y *Prosopis* poseen bajo espesor de corteza, que no posee capacidad de aislación, y calor emitido por el fuego afecta al cambium y al follaje, provocando la muerte de la estructura aérea de la planta.

Entre las especies arbóreas del Chaco, solo el quebracho blanco es capaz de generar espesores de corteza mayores a 1-1,5 cm (Bravo *et al.*, 2001), considerado universalmente el umbral de resistencia al fuego (Wright y Bailey, 1982).

Rivera (2004) informa que el quebracho blanco es similar ecológicamente a otros árboles de sabanas y bosques áridos del mundo, donde el fuego cumple un rol importante. Esta especie responde muy bien a eventos de fuego debido principalmente a su capacidad de rebrotar a partir del cuello de la raíz y secundariamente a partir de raíces laterales, así como a otro rasgo de su historia de vida como la corteza gruesa corchosa que aísla los tejidos vivos del efecto detrimental del fuego. Existe una muy rápida y eficiente respuesta poblacional del quebracho blanco a los incendios y esta especie no sería perjudicada por los incendios periódicos (cuando no están combinados con el sobrepastoreo), y aún podría ser favorecida en algunos casos por este disturbio. Sin embargo, fuegos de alta intensidad producen una elevada mortalidad tanto de plantas jóvenes como de árboles adultos (Rivera, 2004).

El fuego produce la muerte de la estructura aérea de *Acacia aroma*, *Prosopis nigra* y otras especies arbustivas y leñosas. Las leñosas poseen yemas ubicadas en la zona próxima al cuello, debajo del suelo, una adaptación que les permite rebrotar y reconstruir la canopia luego de disturbios como el fuego (Bravo *et al.*, 2011). El fuego aplicado con una frecuencia e intensidad adecuadas, no elimina las leñosas sino que reduce el dosel de las mismas (Wright y Bailey, 1982; Kunst *et al.*, 2000).

6. Efecto del fuego sobre el suelo

Los efectos generales del fuego sobre suelos de la región chaqueña se corresponden a los observados en suelos de otras regiones y está asociado al régimen de fuego, específicamente a su severidad (Albanesi y Anríquez, 2003). González *et al.* (2002) informan que en una sabana

sometida a un IMRF de 3-4 años no se observó disminución del carbono y nitrógeno orgánicos totales del suelo con respecto a áreas no quemadas. Se observó diferencia significativa con áreas quemadas todos los años, donde se observa una disminución significativa de estos atributos del suelo (González *et al.*, 2002).

7. El fuego y la fauna silvestre.

Existen pocos estudios sobre el efecto del régimen de fuego sobre la fauna silvestre del Chaco. En general, la investigación está orientada a las aves (Politi, 2003; Albanesi, 2008). Los resultados indican un efecto positivo o neutro de bajas frecuencias de fuego, pero muy negativo cuando la frecuencia y severidad de fuegos es muy alta (Politi, 2003; Albanesi 2008).

8. Uso del fuego – fuego prescripto

Históricamente, el fuego en la región se emplea con dos fines: el control de leñosas y para promover el rebrote de los pastos, eliminando tejido vegetal muerto y seco. La propuesta de emplear el fuego para alcanzar objetivos agronómicos no es nueva en la región chaqueña: ya Papadakis (1951) proponía su estudio y uso en ganadería de cría. Aunque esta recomendación fue repetida por Morello y Adámoli (1974), solo recientemente se han realizado avances significativos en el tema (Kunst *et al.*, 2000, 2001, 2002, 2012; Bravo *et al.*, 2001; Casillo *et al.*, 2006, 2011). Actualmente se lo emplea también para eliminación de residuos leñosos luego de tratamientos mecánicos (rolados) y la reducción del canopeo en pajonales, previa a la aplicación de herbicidas totales tipo glifosato. Se recomienda el empleo del fuego en reservas naturales, ya que aumenta la diversidad de aves al crear diversidad de estructuras y favorece la presencia de pastos (Politi, 2003). A nivel internacional, el manejo de fuego ha tomado una importancia considerable (FAO, 2006; Montiel y Kraus, 2010).

8.1. La ventana de prescripción

En una situación práctica, con un modelo de combustible ya determinado, el

comportamiento del fuego esta regido por tres parámetros principales: la temperatura del aire, la velocidad del viento a 1,5 m de altura sobre el nivel del suelo y la humedad relativa del aire (Rothermel, 1983). Esta última es el factor más importante para determinar el comportamiento del fuego. Se define como *ventana de prescripción* a una manera práctica de visualizar las distintas condiciones ambientales y el comportamiento del fuego asociado. En ella se definen cuatro cuadrantes que representan cada uno un comportamiento del fuego distinto, desde muy peligroso e inmanejable hasta fácilmente controlable con herramientas de mano (Fig. 5).

8.2. Objetivos de las quemas prescriptas

(a) Control de leñosas

Existen en la región chaqueña distintos tipos de sabanas y pastizales. Su presencia está determinada localmente por un gradiente de topografía y humedad (Morello, 1970) y regionalmente por otras características como el relieve, el sistema de drenaje, tipo de suelo y el promedio anual de precipitaciones. Los servicios que generan las sabanas y pastizales en su estado original es forraje para el ganado doméstico, entre otros.

El sobrepastoreo, la ausencia de fuego y/o su baja intensidad causan el reemplazo gradual de las sabanas y pastizales por formaciones vegetales arbustivas de baja altura, densas, de escasa oferta de forraje y baja receptividad animal. Este fenómeno se produce a nivel mundial (Craig, 1997; van Auken, 2000). En la región chaqueña las formaciones arbustivas están compuestas por leñosas de los géneros *Acacia*, *Celtis* y *Schinus*, con predominio de diferentes especies según la zona. Estos arbustales o fachinales limitan seriamente la oferta de forraje, el tránsito y la accesibilidad (Kunst *et al.*, 2012).

El fuego en la sabana se emplea para mantener la dominancia de gramíneas y/o el pastizal debido a la susceptibilidad de las leñosas al fuego. De acuerdo a las

características del fuego y al diámetro de ramas y troncos, la leñosa puede quedar muerta en pie o consumirse totalmente. La importancia de los residuos muertos en pie queda de manifiesto en la definición de Feldman (1976) de maleza leñosa: *‘aquellas especies cuya estructura permanece en pie aún después de muerta, limitando el acceso y el tránsito’*. Este material puede ser consumido en sucesivas quemas.

Las especies leñosas del Chaco están adaptadas al régimen de fuego de la región, por lo tanto, éste rara vez produce la muerte total de los individuos. Así, Wright y Bailey (1982), Trollope, 1986 a y b; Trollope y Tainton (1986), y Kunst *et al.* (2000) informan que menos del 2% de las plantas pertenecientes a los géneros *Prosopis* y *Acacia* mueren completamente luego de un fuego. El fuego, actuando con una frecuencia e intensidad adecuadas, no elimina las leñosas, sino las que las ‘controla’ (Kunst *et al.*, 2000).

Para que el fuego ejerza un control eficiente de las leñosas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Wright y Bailey, 1982; Trollope, 1984 a y b; Trollope y Tainton, 1986; Kunst *et al.*, 2000; Casillo *et al.*, 2006 a):

- los diámetros de troncos y ramas no deben superar los 3 cm y su altura no debe ser superior a los 2-2,50 m,
- los fuegos deben poseer una intensidad superior a los 2000 kW.m⁻¹, es decir que la cantidad de combustible presente debe ser igual o superior a los 3000 –4000 kg MS.ha⁻¹. A mayor intensidad de fuego, mayor daño a la estructura aérea de las leñosas, especialmente por efectos convectivos (Ansley *et al.*, 1998). Con esta intensidad, el largo de llamas es mayor a los 3 m, lo que indica la necesidad de trabajar con buenos cortafuegos.
- estado fenológico y fisiológico de la(s) leñosa(s) apropiado para alcanzar el objetivo del tratamiento.

Las condiciones ambientales para generar fuegos prescritos con las características que se mencionan arriba se ubican en el extremo más severo de los cuadrantes de prescripción (Fig. 5): es decir:

Temperatura del aire entre 20 y 30 °C,

Velocidad del viento entre 12-25 km.h⁻¹, y

Humedad relativa del aire entre 25 y 35 %.

Esto obliga a extremar las normas y prácticas relacionadas a la seguridad para evitar una expansión del fuego sin control.

El estado fisiológico de las leñosas cambia a lo largo de la estación de quema debido a la variación de las condiciones ambientales. En el otoño y comienzos del invierno, las arbustivas se encuentran en receso vegetativo. Durante la primavera se desencadena la etapa de brotación y floración (Fig. 6). Kunst *et al.*, (2000) informan que el mejor control con fuego de *Acacia aroma* (tusca) se obtiene en quemas tardías, cuando las reservas de energía de las plantas se encontrarían en un nivel mínimo producto de la migración de las mismas hacia la parte aérea para reconstruir el canopeo después del período de receso vegetativo. Se considera cumplido el objetivo de control cuando se produce el menor número de rebrotes pos-fuego y la mayor reducción del canopeo de las plantas. Un solo fuego puede no ser suficiente para controlar las leñosas y reducir su interferencia en actividades agronómicas. Un intervalo de fuego semejante al existente en otras áreas de pastizales naturales de la región (3-4 años, Bravo *et al.*, 2001) sería lo recomendable, ya que no afectaría las propiedades del suelo (González *et al.*, 2002).

(b) Eliminación de tejido muerto y seco

Este uso del fuego es el más antiguo a nivel universal y data de épocas prehistóricas (Danckwerts, 1989; Craig, 1997). La acumulación de biomasa seca en los pastizales y sabanas de climas estacionales no tiene valor como forraje y es rechazada o poco consumida por el

ganado. Por otra parte, el exceso de mantillo y/o material muerto impide la entrada de luz solar al suelo, limitando el reciclaje de la materia orgánica y la germinación de semillas, lo que incide negativamente en la diversidad de sabanas y pastizales (Kunst *et al.*, 2003). En especies subtropicales es también común la acumulación de cañas que impiden la accesibilidad al forraje. El uso de desmalezadoras puede ser impedido por la presencia de árboles y/o arbustos aislados o en isletas.

El fuego puede ser una herramienta útil para eliminar el exceso de material senescente debido a la rapidez de su aplicación y bajo costo. Si el objetivo es solo la eliminación de biomasa seca y muerta, no es necesario emplear fuegos de alta intensidad que pueden ser peligrosos de manejar por los potenciales escapes. Un fuego ‘frío’, es decir de baja intensidad, ubicado en el sector considerado de menor peligrosidad de la ventana de prescripción permite lograr los objetivos deseados, con las siguientes condiciones meteorológicas:

Temperatura del aire no mayor a 20 °C,

Velocidad del viento entre 12-25 km.h⁻¹, y

Humedad relativa del aire entre 40-60 %.

La época propicia de aplicación de fuego en la región chaqueña es a Junio-Agosto (principios a mediados de la temporada de fuego, o luego de una lluvia que aumente la humedad relativa del aire. El impacto del fuego sobre la calidad de la oferta de forraje es significativo. Cornacchione *et al.* (2001) informan un 16 % de proteína bruta en áreas quemadas en comparación con 7-8 % en sectores sin tratar (Fig. 7).

La acumulación de biomasa se presenta generalmente en el centro-este y sur de la región chaqueña, en los bajos submeridionales y en los bañados de los ríos Dulce y Salado. En estos lugares, la dominancia del ‘pajonal’ puede ser controlada mediante la aplicación de fuego, como en otros lugares del país. Las prescripciones son similares a las expresadas, considerando apropiada la

quema en manchones para reducir la dominancia de pajas, promover ‘forraje’ y al mismo tiempo manejar el pastoreo. La frecuencia de quema recomendable es un fuego cada 3-4 años. Quemas anuales significarían un cambio radical el régimen de fuego, con riesgo de deterioro de suelo y la vegetación.

(c) Eliminación de residuos de rolados

El pasaje de un rolo puede ser la opción adecuada cuando el fuego y descanso de pasturas no resultan efectivas para recuperar la oferta de forraje de las pasturas naturales degradadas por exceso de densidad y cobertura de leñosas (Kunst *et al.*, 2008). El rolo es un cilindro de metal de 1,3-1,5 m diámetro y 2-3 m de largo, que se llena de agua hasta los 2000-2500 kg y es arrastrado en sentido horizontal por topadoras y/o tractores duales, aplastando la vegetación leñosa y generando una sucesión secundaria. El ‘rolado’ es generalmente acompañado con la siembra de especies subtropicales, principalmente *Panicum maximum* cv *trichoglume* cv Gattonpanic y Green panic. El fuego puede ser empleado para completar este desmonte selectivo, eliminando los residuos leñosos, facilitando tránsito y accesibilidad, y para control de arbustivas luego de unos años. Los árboles que quedan luego del rolado deben mantenerse, de lo posible, intactos o sufrir daño mínimo.

Los ‘rolados’ representan una problemática especial en el manejo del fuego por la mayor carga de combustible por unidad de superficie y la complejidad, ya que se presentan combustibles gruesos, medianos y finos que puede alcanzar en conjunto 10-30 ton.ha⁻¹ (Platt y Gottschalk, 2001; Kunst observación personal). Los fuegos pasan automáticamente a poseer mayor intensidad y severidad.

La investigación en el manejo de fuego en estos ambientes aún está en desarrollo, pero conviene enunciar algunas recomendaciones:

- Si el rolado posee objetivos ganaderos, evitar de ‘voltear’ o aplastar demasiados árboles para no aumentar la carga de combustible grueso.

- Esperar que los residuos se degraden. Los restos vegetales aún verdes poseen mayor cantidad de sustancias aromáticas, lo que otorga al fuego mayor intensidad y severidad.

- Seleccionar el momento apropiado de quema para reducir parcialmente la carga de combustibles medianos y gruesos. El consumo depende del diámetro del residuo y del contenido de humedad del mismo (McPherson y Wright, 1986). Estudios de la dinámica del contenido de humedad indican que la época mas apropiada para quemas prescriptas con objetivo de reducción de carga sería hacia principios de la temporada de fuego (junio-julio), debido a su mayor contenido de humedad (Fig. 8, Kunst *et al.*, 2006 a y 2006 b).

- Quemar por bloques de tamaño mediano (50-100 has), evitando grandes superficies en las cuales el fuego puede tornarse inmanejable.

- Quemar en los cuadrantes menos severos de la ventana de prescripción.

Las técnicas de ignición a emplear dependen de las circunstancias climáticas y la continuidad del combustible. No existe una recomendación específica al respecto.

(d) Control de la cobertura de pajas

El objetivo del fuego en este caso es la reducción de la biomasa de la especie dominante. Un fuego en retroceso en el cuadrante más severo de la prescripción puede cumplir con esos objetivos.

8. 3. Manejo después de aplicado el fuego

El manejo de las áreas quemadas con posterioridad a la aplicación del fuego es esencial para amortiguar los efectos negativos y obtener el máximo beneficio de los positivos. La bibliografía y la

experiencia sugieren que para los objetivos (a), (b) y (c) citados anteriormente el descanso es un elemento fundamental a fin de que los pastos rebroten sin interferencia, las plántulas se desarrollen sin problemas y el suelo vuelva a ser cubierto (Wright y Bailey, 1982). Existe controversia en ganaderos sobre el período de descanso para el objetivo (b), pero el mismo debe aplicarse por lo menos durante la primera parte de la estación de crecimiento.

9. Reflexiones finales.

El ambiente chaqueño posee características que lo hacen proclive al fuego. El clima, caracterizado por inviernos secos y fríos y primaveras secas y calurosas reúne las condiciones ambientales necesarias para la ocurrencia de incendios. El paisaje chaqueño, compuesto por sabanas y pastizales alternando con bosques y arbustales determina por sí mismo un modelo de combustible efectivo para la iniciación y propagación del fuego. El rol del fuego en el ecosistema chaqueño sería interactuar con esas características climáticas y estructurales para mantener el equilibrio entre comunidades herbáceas y leñosas. El régimen de fuego de sabanas y pastizales sería de reemplazo total de la comunidad, mientras que en comunidades leñosas sería mixto. La intensidad y severidad de los fuegos puede muy alta, debido a las características químicas y altas cargas de combustible.

La marcha del clima, en años previos y aquellos en los que ocurren las quemas, determina la carga de combustible y la intensidad de los incendios. Estos reemplazan total o parcialmente las comunidades, produciéndose, en ambientes dominados por herbáceas, un retorno a la comunidad de partida en un período de tiempo que no suele exceder los 5 años. La estabilidad de las comunidades de bosques y arbustales en relación al fuego representa una línea de investigación futura indispensable para la comprensión del papel que tiene este disturbio como modelador del paisaje.

El fuego 'crea' forraje y áreas aptas para la ganadería, al facilitar el acceso y el tránsito de personas y animales. Pero el fuego debe aplicarse sabiamente, con

objetivos y técnicas específicas, evitándose los extremos más peligrosos de la prescripción, y trabajando con normas de seguridad necesarias.

10. Referencias bibliográficas

- Adámoli, J.; Sennhauser, E.; Acebo, J. y Rescia, A. 1990. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *J. Biogeography* 17: 491-500.
- Adámoli, J., Neumann, R.; de Colina, A. R. y Morello, J. 1972. El Chaco aluvional salteño. *RIA Serie* 3, 9: 165 - 237.
- Agee, J. 1993. Fire ecology of Pacific northwest forests. Island Press, Covelo, Ca.
- Albanesi, A.; Anríquez, A. 2003. Efecto del fuego sobre el suelo. Cap. 3, en Kunst, C., Bravo, S. y Panigatti, J. L. (eds). 2003. Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA. 330 p.
- Albanesi, S. 2008. Avifauna de ambientes con distinta historia de fuego en la Sierra Chica de Córdoba, Argentina. Tesina de Grado. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Escuela de Biología.
- Alexander M. 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canadian Journal of Botany* 60: 349 - 357.
- Anderson, D. L.; Bonvissuto, G.; Brizuela, M.A.; Chiossone, G.; Cibils, A.F.; Cid, M.S.; Feldman, I.; Fernandez Grecco, R.C.; Kunst, C.; Oesterheld, M. 2011. Perspectives on Rangeland Management Education and Research in Argentina. *Rangelands* 33(1):2-12
- Ansley, R.; Jones, D.; Tunnell, T.; Kramp, B.; Jacoby, P. 1998. Honey mesquite canopy responses to single winter fires: relations to herbaceous fuel, weather and fire temperatures. *International Journal of Wildland Fire* 8: 241-252.
- AUS (AUSTRALIAN WEEDS AND LIVESTOCK). 2011. Información sobre el género *Schinus*. Consultado 18/8/2011 en <http://www.weeds.mangrovemountain.net/data/Schinus%20spp%20-%20Pepper%20tree.pdf>.
- Barchuk, A.; Iglesias, M.; Oviedo, C. 2006. Rebrote basal de *Aspidosperma quebracho-blanco* en estado de plántula: mecanismo de persistencia en el Chaco Árido. *Ecología Austral* 16: 197-205.
- Barrionuevo, S. 1997. Inventario de combustibles en el bosque nativo de la región chaqueña occidental (Argentina). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Santiago del Estero.
- Belgili, E.; Saglam, B. 2003. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management* 184: 201-207.
- Boletta, P. 1988. Clima. Chap. 1, p. 7-21. In: R. Casas (compilador): Desmonte y habilitación de tierras en la región chaqueña semiárida. F.A.O., Santiago, Chile. 306 p.
- Bordón, A. 1983. Comentarios e ideogramas sobre la vegetación de la Pcia. del Chaco emergentes de una muestra de descripciones de vegetación en relación a series de suelo. Bol. No 86, INTA EERA Saénz Peña.
- Bordón, A. 1993. Notas sobre incendios en la región chaqueña con base en una encuesta para información sintética sobre incendios de campos. p. 69-74. In: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (ed.): Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. 180 p. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina.
- Bravo, S.; Kunst, C.; Giménez, A.; Moglia, G. 2001. Fire Regime of a *Elionorus muticus* Spreng Savanna, Western Chaco Region Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 10: 65-72.
- Bravo, S.; Kunst, C.; Basualdo, M.; Leiva, M.; Ledesma, R. 2011. Characterization of aerial bud bank in native woody species of Argentine Chaco region. In: Feldman, S.; Oliva, G.; Sacido, M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina. ISBN 978-987-23175-1-5.
- Bravo, S.; Kunst, C.; Grau R. 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.; Kunst, C.; Grau, R.; Aráoz, E. 2010. Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas. *Journal of Arid Environments* 74: 1319-1323.

- Britton, C.; Wright, H.; Dahl, B.; Ueckert, D. 1987. Management of tobosagrass rangeland with prescribed fire. Manage. Note 12. Dept. of Range and Wildlife. TTU, Lubbock, Texas, USA.
- Brown, J. 2000. Introduction and fire regimes. Cap. 1, p1-7. En: J Brown y J Kapler-Smith: Wildland Fire in Ecosystems: Effects of fire on flora. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station GTR RMRS GTR 42, Vol. 2. 257 p.
- Bruniard, E. 1978. El gran Chaco argentino. Un ensayo de interpretación geográfica. Instituto de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nac. del Nordeste, Geografía 4: 1-259.
- Bucher, E. 1982. Chaco and Caatinga. South American arid savannas, woodlands and thickets. En: B. Huntley y B. Walker: Ecology of tropical savannas. Ecological studies 42: 48-79.
- Burkart, A. 1969. Flora ilustrada de Entre Ríos Parte II: Gramíneas. INTA. Colección Científica Tomo VI, parte 2. Bs. As.
- Cabido, M.; Zak, M. 1999. Vegetación del norte de Córdoba. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales de Córdoba, Córdoba.
- Casillo, J.; Kunst, C.; Ledesma, R.; Godoy, J. 2006a. Control de *Celtis* spp (tala) mediante fuego prescripto. Actas Ecofuego 185-188.
- Casillo, J.; Kunst, C.; Semmartin, M. 2011. Effects of fire and water availability on the emergence and recruitment of grasses, forbs and woody species in a semiarid Chaco savanna. Austral Ecology, DOI: 10.1111/j.1442-9993.2011.02306.x
- Casillo, J.; Kunst, C.; Ledesma, R.; Godoy, J. 2006b. Dinámica temporal de la temperatura en la superficie y a 1 cm de profundidad del suelo en quemas en sabanas del Chaco semiárido. Memorias Ecofuego. p. 126.
- Cornacchione, M.; Kunst, C.; Argañaraz, M. 2001. Prácticas de control del fachinal: II. Efectos sobre la calidad del forraje disponible. Memorias 1er Congreso de Pastizales Naturales. Asoc. Arg. Manejo Pastizales Naturales 84-85.
- Craig, A. 1997. A review of information on the effects of fire in relation to the management of rangelands in the Kimberley high-rainfall zone. Tropical Grasslands 31: 161-187.
- Cheney, N.; Gould, J.; Catchpole, W. 1993. The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire spread in grasslands. Int. Journal of Wildland Fire 3: 31-44.
- Cheney, N.; Gould, I. 1995. Fire growth in grasslands fuels. International Journal of Wildland Fire 5: 237-247.
- Cochrane, M. 2009. Tropical Fire Ecology. Springer Praxis Books in Environmental Sciences.
- Danckwerts, J.; Teague, W. 1989. Veld management in the Eastern Cape. Pasture Research Section, Stutterheim, Southern Africa.
- DeBano, L.; Neary, D.; Ffolliott, P. 1998. Fire's effects on ecosystems. J. Wiley and Sons. Inc, NY, USA 333 p.
- Defossé, G. 1996. Introducción a la Ecología de Fuego. Cap.1, p. 1- 8, En : C Kunst y F Moscovich. Fuego prescripto: Introducción a la Ecología de Fuego y Manejo de Fuego Prescripto. INTA-UNSE.
- Devoto, F.; Rothkugel, M. 1945. Aplicaciones de las maderas argentinas y demás productos forestales. Pub. Misc. 186, Dirección de Informaciones, Ministerio de Agricultura de la Nación.
- Di Bella, C.; Jobbágy, E.; Paruelo, J.; Pinnock, S. 2006. Continental fire density patterns in South America. Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.) 15: , 192–199
- ENC (Encyclopedia of Southern Fire Science). 2009. Article Fire Behavior. (verified December 2009 at <http://fire.forestencyclopedia.net/p/p354>).
- FAO. 2006. Fire management: voluntary guidelines. Principles and strategic actions. Fire Management Working Paper 17.Roma
- Feldman, I. 1976. Consideraciones acerca de una definición de una maleza leñosa. p. 60-61. Resúmenes VII Reunión Argentina de Malezas y su Control Vol. 4.

- Feuillade, D.; Ledesma, R.; Kunst C. 2011a. Perceptions of integrated management of vegetation fires in Argentina, p. 773. In: Feldman S., Oliva G., Sacido M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina.
- Feuillade, D.; Ledesma, R.; Kunst, C. 2011b. Technology and Pedagogy: Methodology of Technology Dissemination In Fire Ecology, p. 774 In: Feldman S., Oliva G., Sacido M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina.
- Frenguelli, J. 1940. Rasgos principales de fitogeografía argentina. Publicación periódica N° 2, Museo de La Plata, La Plata, Argentina.
- Glitzenstein, J.; Platt, W.; Streng, D. 1995. Effects of fire regime and habitat on tree dynamics in north Florida longleaf pine savannas. *Ecol. Monographs* 65: 441-476.
- Gonzalez, C.; Studdert, G.; Kunst, C.; Albanesi, A. 2002. Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego. *Ciencia del Suelo* 19: 92 - 100.
- Hély, C.; Alleaume, S.; Swap, R.; Shugart, H.; Justice, C. 2003. Safari-2000 characterization of fuels, fire behavior, combustion completeness, and emissions from experimental burns in infertile grass savannas in western Zambia. *Journal of Arid Environments* 54: 381-394.
- Hieronymus, J. 1874. Observaciones sobre la vegetación de la Provincia de Tucumán. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Exactas de Córdoba*, Tomo I: 185-234.
- Jacques, A. 1858. Una excursión al Salado y al Chaco. Emecé Editores, Argentina.
- Keeley, J. 1987. Role of fire in seed germination of woody taxa in California Chaparral. *Ecology*: 68: 2-6.
- Kunst, C.; Cornacchine, M.; Godoy, J. 2001. Prácticas de control del fachinal I: efectos sobre la oferta de forraje. p. 87-88. Asoc. Arg. Manejo de Pastizales Naturales. Memoria 1er Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal, Santa Fé.
- Kunst, C.; Bravo, S.; Moscovich, F.; Herrera, J.; Godoy, J.; Vélez, S. 2000. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescripto. *Rev. Arg. de Producción Animal* 20: 199-213.
- Kunst, C.; Bravo, S.; Moscovich F.; Herrera, J.; Godoy, J.; Vélez, S. 2000. 2003. Fecha de aplicación de fuego y diversidad de herbáceas en una sabana de *Elionorus muticus* (spreng) O. Kuntze (aibe). *Rev. Chilena de Historia Natural* 76: 105-115
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Casillo, J.; Godoy, J. 2006a. Rolados y residuos leñosos: I. Estimación de la carga de combustibles. *Actas Ecofuego* 197-198.
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Casillo, J.; Godoy, J. 2006b. Rolados y residuos leñosos: II. Dinámica del contenido de humedad de combustibles de origen leñoso. *Actas Ecofuego* 217: 219.
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Navall, M. 2008. RBI. Rolado selectivo de baja intensidad. INTA EEA Santiago del Estero Informe Técnico No 57. Santiago del Estero. 139 p.
- Kunst, C.; Monti, E.; Pérez, 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.; Defossé, G.; Godoy, J.; Navarrete, V. 2012. Comportamiento del fuego en un pastizal del sitio ecológico 'media loma', región chaqueña occidental (Argentina). *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA*. En prensa.
- Laterra, P. 2003. Desde el *Paspaleto*: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemas prescriptas. Cap. 9. En Kunst, C.; Bravo, S. y Panigatti, J. L. (eds): *Fuego en los ecosistemas argentinos*. INTA EEA Santiago del Estero.
- Ledesma, R.; Kunst, C.; Bravo, S.; Leiva, M.; Lorea, L.; Godoy, J., Navarrete, V. 2011. Fire intensity and air temperature profiles in experimental burns in Chaco shrublands. p. 456. In: Feldman, S.; Oliva, G.; Sacido, M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina.

- Lopez de Casenave, J.; Pelotto, J.; Protomastro, J. 1995. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semiarid forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 72: 61-69.
- Lorea, L.; Kunst, C. 2011. Historical aspects about fire, herbivory and vegetation types of the Argentine Chaco, p. 442. In: Feldman S., Oliva G., Sacido M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina.
- Luti, R.; Solis, M.; Galera, F.; Muller de Ferreyra, M.; Berzal, M.; Nores, J.; Herrera, M.; Barrera, J. 1979. Vegetación. p. 279-368. En: J. Vázquez, R. Miatello y M. Roqué: *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt, Buenos Aires.
- McPherson, G.; Wright, H. 1986. Threshold requirements for burning downed honey mesquite. *Journal of Range Management* 39: 327-330.
- McDonald, C.; McPherson, G. 2011. Fire behavior characteristics of buffelgrass-fueled fires and native plant community composition in invaded patches. *Journal of Arid Environments* 75: 1147-1154.
- Melillo, A. 1937. Ensayo sobre el poder calorífico de las maderas argentinas. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Tierras, Sección Técnica de Bosques. 55 p. (Dactilografiado).
- Montiel, C.; Kraus, D. 2010. Best practices for fire use – Prescribed burning and suppression fire programmes in selected case-study regions in Europe. *Fire Paradox and European Forest Institute Research Report* 24, Finlandia. 150 p.
- Morello, J. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Vol. I: Objetivos y metodología. Colección Científica Serie Fitogeográfica 10. INTA. Bs. As.
- Morello, J. 1970. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco argentino. *IDIA* 276: 31-52.
- Morello, J.; Adámoli, J. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. 2da Parte. INTA Serie fitogeográfica, N°13.
- Morello, J.; Saravia Toledo, C. 1959. El bosque chaqueño I y II. *Rev. Agronómica del Noroeste Argentino*, 3: 5-81/209-258.
- Moriconi, J.I.; Fernández, E.A.; Martínez, E., Giulietti, A. 2009. Rendimiento de materia seca y composición del aceite esencial de *Lippia turbinata* Griseb. “poleo” (Verbenaceae), en plantas de San Luis (Argentina). *Horticultura Argentina* 28: 34-38.
- Myers, R. 2008. El Programa de Manejo Integral del Fuego del TNC. <http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/forraje/09/Fuego/Charlas/19.pdf>. Consultado 23/nov/2011.
- Navall, M.; Kunst C.; Ledesma, R.; Casillo, J.; Godoy, J. 2005. Efecto de la quema prescrita sobre la regeneración natural de especies forestales en un bosque roado del Chaco semiárido. 3º Congreso Nacional sobre manejo de Pastizales Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias de Oro Verde - UNER y Asociación Argentina para el manejo de Pastizales Naturales. p 80.
- Naveh, Z. 2004. Multifunctional, self organizing biosphere landscapes and the future of our total human ecosystem. *World Futures*, 60: 469–503.
- Nuñez, M.; Sosa, A.; Aguado, M.; Raisman, J. 2006. Caracterización de extractos fluidos de *Lippia turbinata* Griseb. Resumen E-052, Comunicaciones científicas y tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. Consultado 16/08/2011 en: www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/08-Exactas/2006-E-052.pdf.
- Papadakis, J. 1951. Posibilidades agrícolas de La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta, Jujuy, Corrientes, Santiago del Estero, sudoeste de Buenos Aires, sudeste de La Pampa y noreste de Río Negro. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Buenos Aires. 230 p.
- Peña Zubiate, C.; Salazar, J.; Scoppa, C.; Musto, J. 1978. *Carta de suelos de los Departamentos Belgrano y General Taboada, Santiago del Estero*. INTA, Buenos Aires.
- Platt, W.; Gottschalk, R. 2001. Effect of exotic grasses on potential fine fuel loads in the groundcover of south Florida slash pine savannas. *International Journal of Wildland Fire* 10:155-159.

- Platt, W.; Connell J. 2003. Natural disturbances and directional replacement of species. *Ecological Monographs* 73: 507-522.
- Politi, N. 2003. Degradación y fuego en el Chaco árido: implicancia sobre el ensamble de aves. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Posgrado en Manejo de Fauna Silvestre.
- Ragonese, A. 1941. La vegetación de la provincia de Santa Fe (R. A.). *Darwiniana* 5: 369-416.
- Rasmussen, G. ; Scifres, C. ; Drawe, D. 1983. Huisache growth, browse quality and use following burning. *J. Range Management* 36: 337-342.
- Renolfi, R. 1993. Dinámica de una sabana de *Elionorus muticus* Spreng. (aibe) sometida a fuegos fortuitos. p. 171-176. In: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds.): Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. 180 p. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina.
- Rivera, L. 2004. Efecto del fuego y sobrepastoreo sobre las poblaciones de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) en el Chaco árido. Tesis de Maestría, Centro de Zoología Aplicada, Universidad Nacional de Córdoba.
- Rothermel, R. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U. S. D. A. Forest Service General Tech. Report INT-143.
- Rueda, M.; Kunst, C.; Velez, S., Ledesma R. 2011. Range fuels: high calorific value of two shrub species of Chaco Region (Argentina), p. 443. In: Feldman, S.; Oliva, G.; Sacido, M. (ed.) *Diverse Rangelands for a sustainable society. Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina. ISBN 978-987-23175-1-5.
- Ryan, K.; Steele, B. 1989. Cambium mortality resulting from broadcast burning in mixed conifer shelterwoods. p. 108 - 116. *Proc. 10th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Ottawa Canada.
- Ryan, K.; Noste, N. 1985. Evaluating prescribed fires. p. 230-238. En: Lotan, J.; Kilgore, B.; Fischer, W.; Mutch R. (eds.) *Proceedings of the Symposium and Workshop on Wilderness Fire. Intermountain Forest and Range Exp. Station, Missoula, Montana*, GTR INT-182. 350 p.
- Sacido, M. 2003. Fuego prescripto en Pastizales Naturales de la Pampa Deprimida Bonaerense. Cap. 22, en: Kunst, C.; Bravo, S. y Panigatti, J. L. (eds): *Fuego en los ecosistemas argentinos*. INTA EEA Santiago del Estero.
- Sarmiento, G. 1963. Las comunidades vegetales del Chaco semiárido santiagueño. Tesis. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Univ. Nac. de Buenos Aires.
- Sousa, W. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- Stocks, B.; van Wilgen, B.; Trollope, W.; McRae, D.; Mason, J.; Weirich, F.; Potgieter, F. 1996. Fuels and fire behavior dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. *Journal of Geophysical Research* 101: 23541-23550.
- Streeks, T.; Owens, M.; Keith, T.; Whisenant, S. 2005. Examining fire behavior in mesquite-acacia shrublands. *International Journal of Wildland Fire* 14: 131-140.
- Stuart Chapin, F.; Torn, M. y Tateno M. 1996. Principles of ecosystem sustainability. *American Naturalist* 148: 1016-1037.
- Tothill, J. 1969. Soil temperatures and seed burial in relation to the performance of *Heteropogon contortus* and *Themeda australis* in burnt native woodland pastures in Eastern Queensland. *Australian Journal of Botany* 17:269-275.
- Tortorelli L. 1947. Los incendios de bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura de la Nación, Dirección Forestal, Buenos Aires. 235 p.
- Trabaud, L. 1992. Community dynamics after disturbance: short –term change and long-term stability. *Ekistics* 356/357: 287-292.
- Trollope, W.; Tainton, N. 1986. Effect of fire intensity on the grass and bush components of the eastern Cape thornveld. *Journal of the Grassland Soc. of Southern Africa* 3: 37-42.

- Trollope, W. 1984. Fire behaviour. Cap. 9. p. 199. In: P. de V. Booysen and N. Tainton (eds): Ecological effects of fire in South African Ecosystems. Springer Verlag. Berlin. 426 p.
- Trollope, W. 1984. Fire in savanna. Cap. 7. p. 149-197. In: P. de V. Booysen and N. Tainton (eds): Ecological effects of fire in South African Ecosystems. Springer Verlag. Berlin. 426 p.
- Van Auken, O. 2000. Shrub invasions of north american semiarid grasslands. Annu. Rev. Ecol. Syst. 31: 197-215
- Vélez, S. 1997. Informe Poder Calorífico Superior de distintos tipos de combustibles. (dactilografiado) Inst. de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Sgo del Estero.
- White, P.; Jentsch, A. 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. Progress in Botany 62: 399-450.
- Williams, D.; Baruch, Z. 2000. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. Biol Invasions 2:123-140.
- Wright, H.; Bailey, A. Fire ecology in the United States and Canada. J. Wiley and Sons, N. Y., 501 p.
- Zuccardi, R.; Fadda, G. 1971. Los suelos del área de la sierra de Guasayán (Santiago del Estero). Rev. Agr. del Noroeste Argentino 273-307.

Figura 1. El Chaco argentino y sus subregiones (Morello 1968)

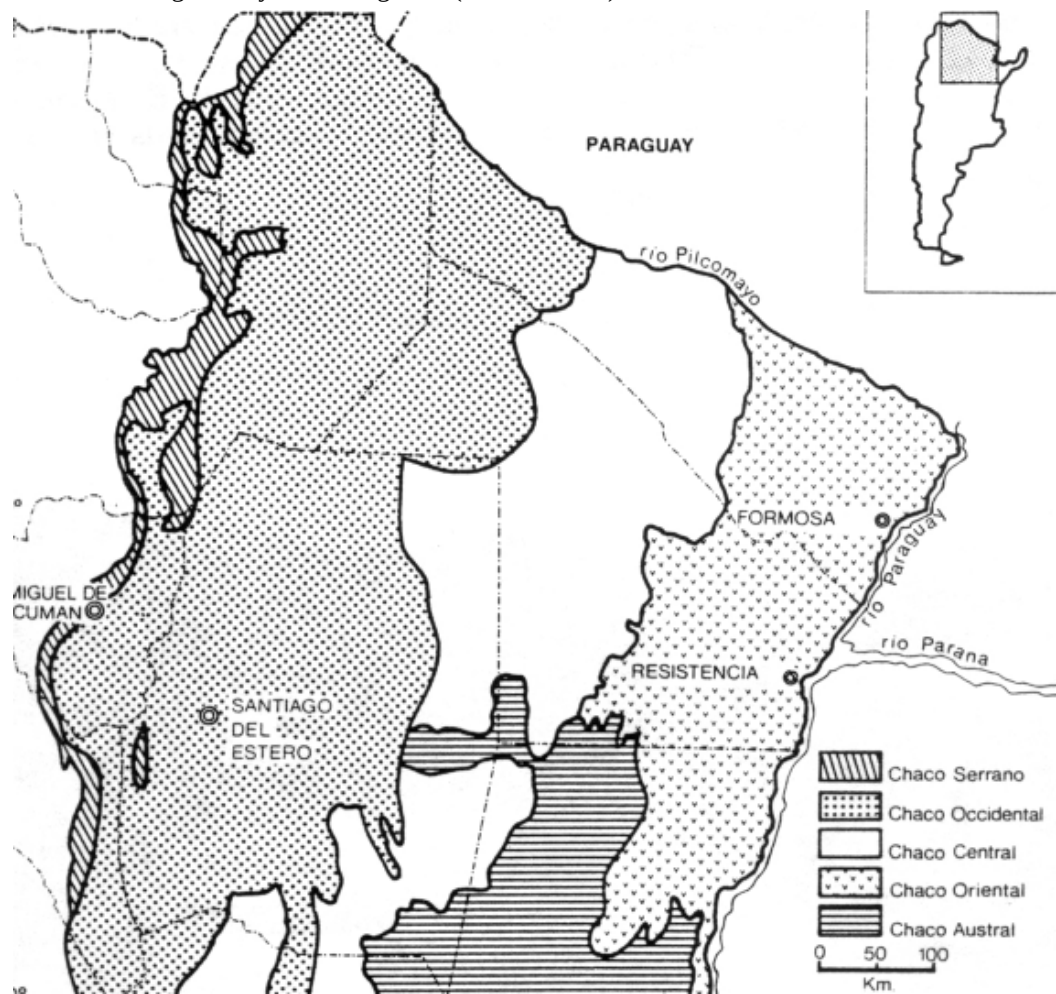


Figura 2. Sitios ecológicos del Chaco = unidades de vegetación y relieve en el Chaco, modificado de Kunst *et al.* (2006).

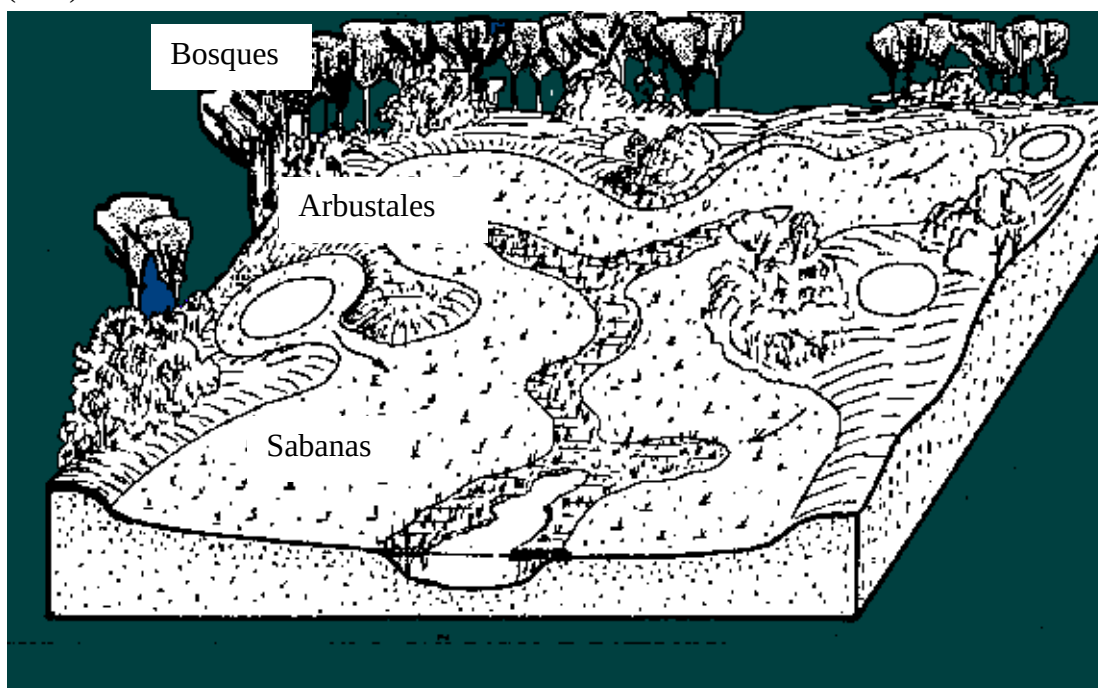


Figura 3. Temperaturas (línea continua), lluvias mensuales (barras verticales) y fechas promedio de las primeras y últimas heladas en el Campo Experimental 'La María', INTA EEA Santiago del Estero. El rectángulo enmarca la temporada de fuego en la zona central de la región chaqueña. Datos climáticos período 1981-1990, Observatorio Meteorológico EEA Sgo del Estero, INTA.

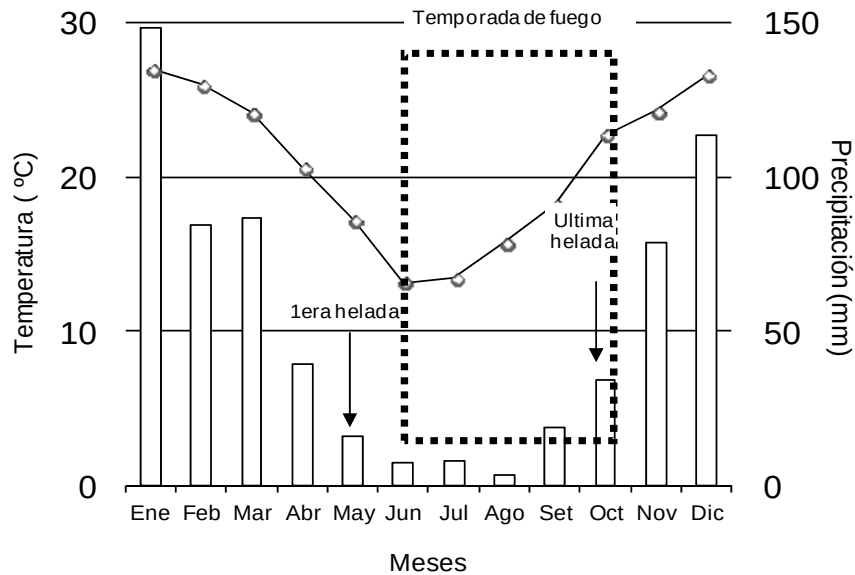


Figura 4. Número de horas promedio con humedad relativa del aire por debajo de 40 % entre Enero y Diciembre, período 1981-1990. Fuente: Observatorio Meteorológico EEA Santiago del Estero, INTA. Campo Experimental 'La María'

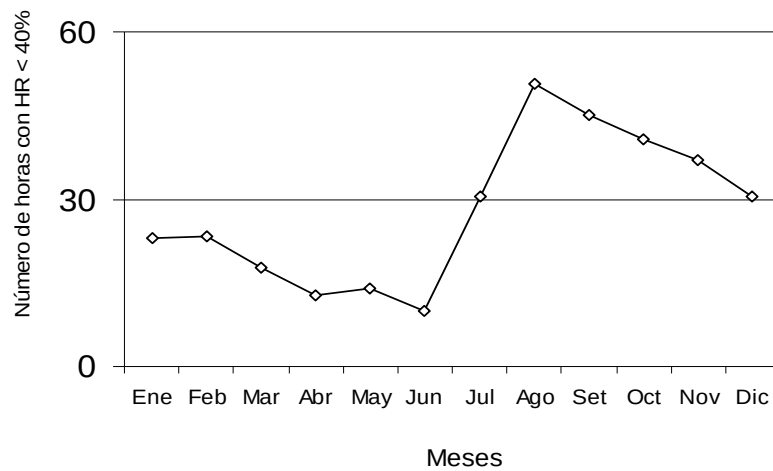


Figura 5. La ventana de prescripción en función de la temperatura (°C) y la humedad relativa del aire (%). El cuadrante inferior derecho representa la situación más peligrosa (baja humedad relativa y alta temperatura), mientras que el cuadrante superior izquierdo el de menos peligro. Fuente: elaboración propia.

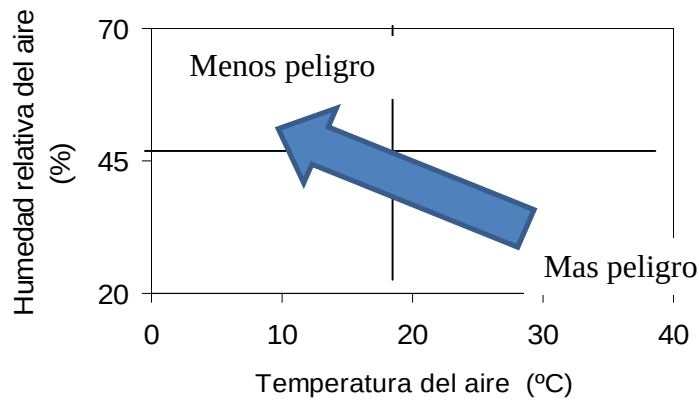


Figura 6. Control de *Acacia aroma* (tusca) en distintas épocas de fuego en la región chaqueña occidental. Control' se define el menor número de rebrotes pos-fuego (NR) y el menor volumen de canopeo (Volumen) observados hasta tres años después de la quema (adaptado de Kunst *et al.* 2000). Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas, $p < 0,05$).

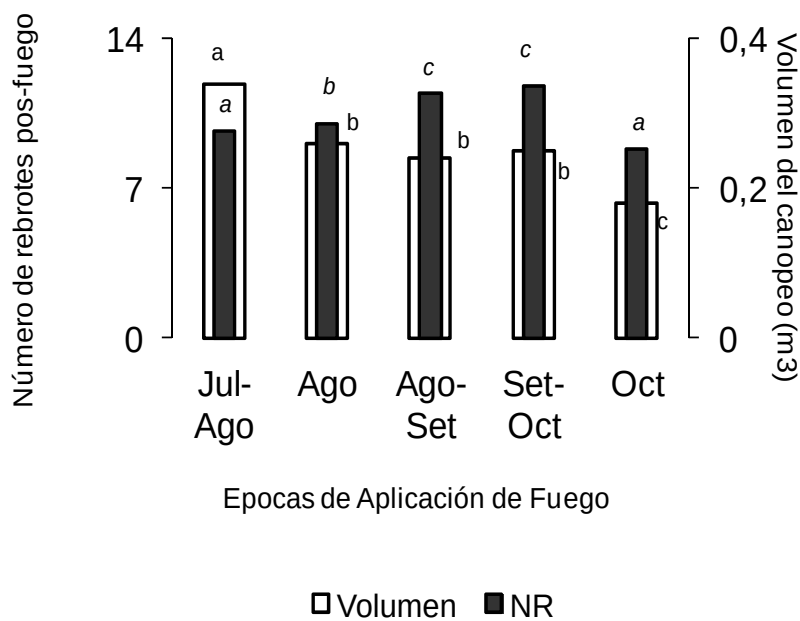


Figura 7. Efecto del fuego sobre la calidad de pasturas naturales en rolados Modificado de Cornacchione *et al.* 2001.

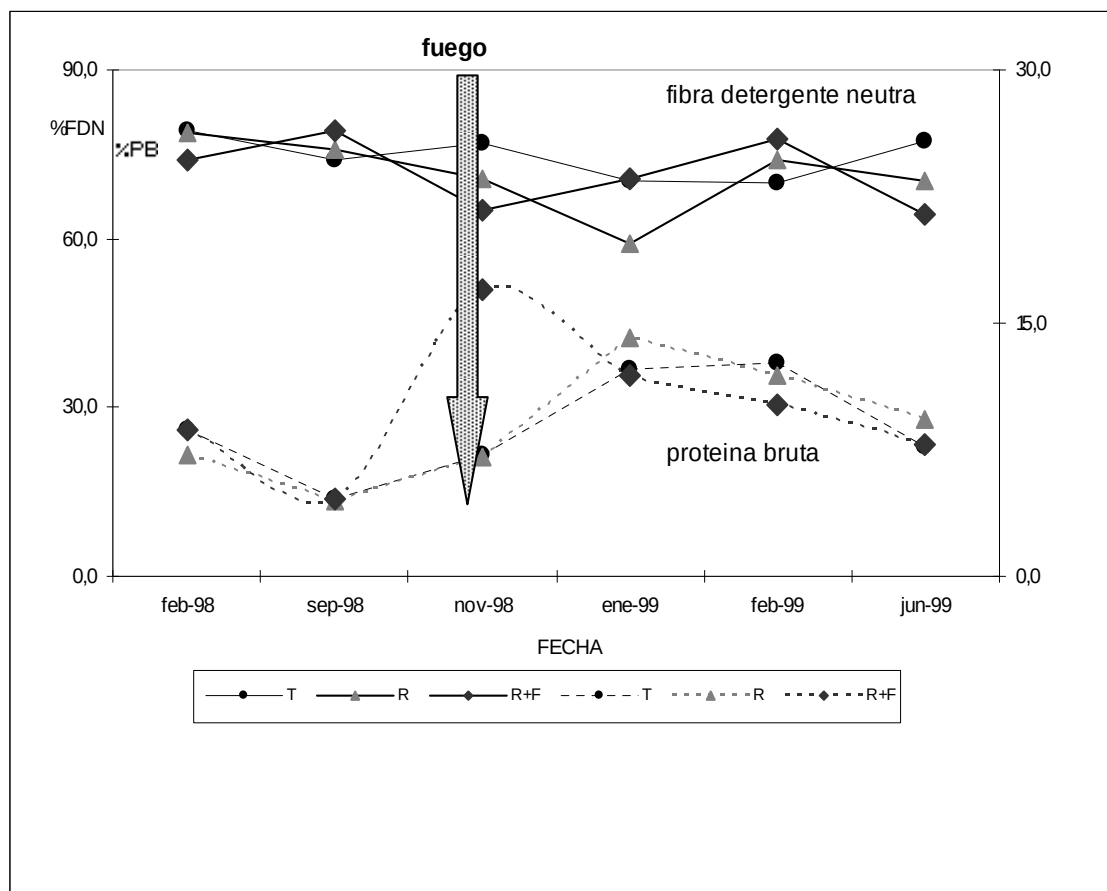


Figura 8. Dinámica del contenido de humedad en tres tamaños de residuos de *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco) en rolado. El cuadro indica la temporada de quema en la región chaqueña. Referencias: Que blan1 :diámetro hasta 2 cm; Que blan2: diámetro entre 2y 5 cm; Que blan 3: más de 5 cm. Campo Experimental 'La María', INTA EEA Santiago del Estero (Kunst *et al.* 2006b).

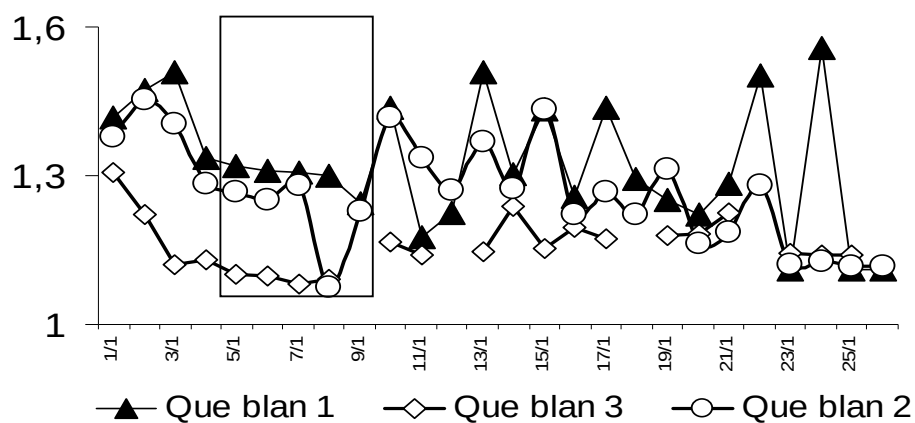


Tabla 1.(a) Poder calorífico de tres gramíneas de la región chaqueña (según Vélez 1997); y (b) Peso específico, poder calorífico absoluto y poder calorífico relativo de especies leñosas nativas de la región chaqueña argentina. Extraído de Melillo (1937) y Devoto y Rothkugel (1945), 8 % de contenido de humedad.

(a)			
Especies	Poder calorífico superior		
	kcal/kg	kJ/kg	
<i>Elionorus muticus</i>	3920	16409	
<i>Setaria globulifera</i>	3670		
<i>Pappophorum pappipherum</i>	3845	16095	

(b)			
Especie	Peso específico	Poder calorífico	
		Absoluto	Relativo
<i>Schinopsis lorentzii</i> (quebracho colorado)	1,185	4,55	5,000
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	0,875	4,75	3,850
<i>Acacia spp</i> (tintitaco)	1,330	4,55	5,650
<i>Prosopis alba</i> (algarrobo blanco)	0,795	4,60	3,400
<i>Prosopis ruscifolia</i> (vinal)	0,785	4,40	3,2
<i>Prosopis nigra</i> (algarrobo negro)		4,5	3,00
<i>Geoffroea decorticans</i> (chañar)	0,653		

Tabla 2. Clasificación de fuegos en función de su intensidad (Adaptado de Rothermel 1983).

Intensidad del frente de fuego (kW*m-1)	Longitud de llamas (m)	Intensidad de fuego
0-258	0-1	Fuegos 'fríos'. Control mediante herramientas manuales. Fuegos prescritos bajo dosel de pino
258-2800	1-3	Fuegos 'calientes'. Control mediante cortafuegos y maquinaria. Fuegos prescritos en pastizales
Más de 2800	Más de 3 m	Fuego en copas de los árboles ('Coronamiento'). Control mediante ataque indirecto.