



CAPÍTULO 1

Panorama actual del cultivo de alfalfa en Argentina

Daniel. H. Basigalup

Evolución del área de siembra y del mercado de semilla fiscalizada

A principios de 2018, el área de siembra de alfalfa se estimaba en cerca de 3,2 millones de hectáreas, de los cuales aproximadamente el 60 % correspondía a alfalfares puros –destinados principalmente a la producción de leche bovina y la henificación– y el restante 40 % a siembras asociadas con gramíneas templadas para la producción de carne en condiciones de pastoreo. No obstante, siguiendo una tendencia que se viene materializando desde hace unos años, el área alfalfada a mediados de 2019 había descendido a poco menos de 3 millones de ha. Si bien no se cuenta con datos oficiales de superficie sembrada, esta disminución es compatible con la cantidad de semilla fiscalizada que se consumió en el país durante el período 2016/2019, según la información de la Cámara de Semilleristas de la Bolsa de Cereales (CSBC) que se ofrece en la Tabla 1 (Zingoni, M. comunicación personal, 2019).

■ **Tabla 1.** Oferta y consumo de semilla fiscalizada de alfalfa peleteada en Argentina durante el período 2016/19. Datos tomados de la CSBC en octubre de 2019.

Temporada	Oferta (t) (*)	Consumo (t)	Carry-over (t)	Valor (USD)
2016/17	8.781	6.147	2.634	46.102.292
2017/18	7.202	4.681	2.521	30.405.769
2018/19	5.732	2.866	2.866	16.623.054

(*) t = toneladas métricas; carry-over = diferencia entre oferta y consumo de cada temporada

A las cifras de la Tabla 1 se suma una cantidad no determinada de semilla de “propia producción” (también llamada de “uso propio”) y otra cantidad –tampoco determinada, pero asumida como importante– de semilla ilegal que vulgarmente se conoce como “bolsa blanca”. Por un lado, esta semilla, generada y comercializada fuera de las normas de fiscalización obligatoria que tiene el cultivo, y por lo tanto sin el rótulo oficial que proporciona el Instituto Nacional de Semillas (INASE), no solo lesiona los intereses legítimos de los obtentores y propietarios de las variedades mejoradas, sino que tampoco asegura la calidad genética y física de la semilla. Es común observar que la “bolsa blanca” es

portadora de una gran cantidad de semilla de malezas, que disminuyen la producción de forraje y aumentan los costos de producción en los lotes implantados con ella. Por otro lado, la mayoría de esa semilla es el resultado de una cosecha secundaria a la producción de forraje, sin prácticas efectivas de polinización, lo que origina una gran cantidad de semilla autofecundada, lo que generará una pastura con una importante población de plantas de escaso vigor; esto último se traduce no solo en menor producción de forraje sino también en menor persistencia. En consecuencia, el supuesto ahorro que significaría usar una semilla más barata (como generalmente es el caso de la "bolsa blanca"), termina generando un costo muy alto por kg de MS (materia seca) producido.

Las causas de la lenta pero firme disminución del área de siembra de alfalfa obedecen a varios factores, entre ellos, el cambio en el uso de la tierra que se dio a partir de 2003/04, donde los mejores suelos se destinaron a la producción agrícola pura, todavía sigue condicionando la disminución de pasturas en gran parte de la región pampeana. El desplazamiento de los recursos forrajeros hacia suelos de menor aptitud planteó dificultades al uso de la alfalfa, que para producir y persistir exige buenos niveles de fertilidad química y adecuadas características físicas.

Concomitantemente, la necesidad de intensificar los niveles de producción en suelos de buena aptitud, a fin de competir con la agricultura, provocó un profundo cambio en los sistemas de producción ganadera, donde el pastoreo directo viene perdiendo relevancia respecto de los sistemas que utilizan un variado grado de confinamiento, desde el total en planteos lecheros intensivos y de engorde a corral (feedlots), a los planteos con base pastoril y suplementación estratégica. En este contexto, el uso de silajes de maíz y sorgo y el empleo de distintos suplementos energéticos y proteicos han desplazado la utilización de las pasturas de alfalfa, al menos en la medida en que se usaban algunos años atrás. Si bien todavía una proporción cercana al 40 % de la producción de leche bovina todavía se lleva a cabo con una base pastoril donde la alfalfa es una parte central de la alimentación, no es menos cierto que ese uso pastoril se está concentrando en tambos de mediana a baja producción (≤ 130 vacas en ordeño) y de superficies promedio no superiores a las 150 ha. Por un lado, en consecuencia, se aprecia una notable concentración de la producción en tambos de gran tamaño,

donde el sistema exclusivo es el confinamiento total en el que el heno de alfalfa (megafardos) es a menudo adquirido fuera del establecimiento y utilizado básicamente como fuente de fibra efectiva. En 2019 se estimaba que solo unos 340 tambos de gran tamaño generaban más litros de leche que el resto de los 6.000 que operaban en las cuencas lácteas del país. En este sentido, mientras que hacia 1990 las pasturas de alfalfa constituían el 60-70 % de la alimentación en los tambos, hacia 2019 esa cantidad se había reducido al 30-35 %.

Por otro lado, tanto la mayor demanda de heno de alfalfa de calidad que generó la proliferación de sistemas intensivos en confinamiento, sea de leche o de engorde, como las posibilidades de exportación de heno de alta calidad hacia mercados exigentes –como Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos– favorecieron el advenimiento de productores de alfalfa especializados en la producción de rollos y megafardos. Se estima que en 2019 se registraban unas 110.000 ha de alfalfa destinadas a la producción de heno de alta calidad, distribuidas de la siguiente manera: a) secano: 35.000 ha en la parte centro-este de Córdoba; b) regadío: 23.000 ha en la cuenca del Río Dulce en Santiago del Estero; 6.000 ha en los valles del norte de San Luis; 16.000 ha en los oasis de la provincia de Mendoza, particularmente en el sur; 2.000 ha en el área de regadío de La Pampa; cerca de 4.000 ha en el valle inferior del río Colorado; y 15.000 ha en los valles de los Río Negro y Chubut, en la Patagonia. A ello se suma un estimado de 9.000 ha en condiciones de secano esparcidas en la zonas subhúmedas y semiáridas del O de Buenos Aires, NE La Pampa, S de Córdoba y SE de San Luis. De todos modos, aunque importante, esta producción de alfalfa para heno de calidad no alcanzó a compensar totalmente la pérdida de pasturas de alfalfa en el país que se comentara más arriba. No obstante, es importante resaltar que esta producción especializada hacia una producción de mayor calidad ha contribuido a crear una mayor conciencia sobre la necesidad de ajustar el manejo de los lotes y de utilizar maquinaria de henificación de alta tecnología. Prueba de ello es la constitución en 2017 de la Cámara Argentina de la Alfalfa (CAA) (www.alfalfaargentina.org), una institución privada que nuclea a importantes productores de heno, cubos y pellets del país. La CAA tiene por finalidad tanto la defensa de los intereses profesionales del sector, así como la promoción de la investigación y el desarrollo de la producción, elaboración, logística y comercialización

interna o externa del heno de alfalfa y sus derivados, sea directamente por se o en colaboración con organismos oficiales, mixtos o privados del país o del exterior.

Como ejemplo de lo mencionado sobre la creciente importancia de la producción especializada de heno, y de acuerdo con datos proporcionados por el INTA Villa María (Dequino, S. comunicación personal), la superficie de alfalfa en el área de influencia de la Cuenca Lechera de Villa María (provincia de Córdoba) fue de 186.000 ha en 2014 a 155.000 ha en 2016, y retornó a las 180.000 ha en 2018. Analizando estos datos en conjunto, y en un marco de disminución del número de tambos en la cuenca, se aprecia que mientras que en los departamentos de Unión y San Martín –netamente tamberos– el área de alfalfa disminuyó entre 2014 y 2018, en los departamentos Río Segundo y Tercero Arriba, donde la producción especializada de heno ha crecido, el área de alfalfa registró incrementos durante el mismo período.

Inscripción de cultivares de alfalfa en Argentina

Entre 2006 y mediados de 2019 se inscribieron en el Registro Nacional de Cultivares (RNC) del INASE un total de 141 cultivares¹ de alfalfa. Considerando cada año en forma individual, la mayor cantidad de inscripciones (27) se registró en el año 2007 (Figura 1). A partir de 2014, el número de inscripciones aprobadas por el RNC tuvo una disminución constante, en particular en los últimos tres años del período analizado: ninguno en 2017, tres en 2018 y dos en 2019 (período enero-julio). La marcada caída en el desarrollo de nuevas variedades en los últimos años está en consonancia con lo expresado precedentemente acerca de la disminución del área de siembra de alfalfa.

Por un lado, en la Figura 2 se grafica el origen de los 141 cultivares inscriptos entre 2006 y 2019. Si bien se aprecia una participación importante de criaderos argentinos, no debe perderse de vista que una cantidad no menor de esos cultivares, si bien pudieron ser inscriptos

¹ El término “cultivar” es equivalente al de “variedad comercial” o simplemente “variedad” y deriva del término inglés *cultivated variety*, para diferenciarlo de las “variedades botánicas”

por empresas nacionales, tuvieron su origen en programas de mejoramiento genético de otros países.

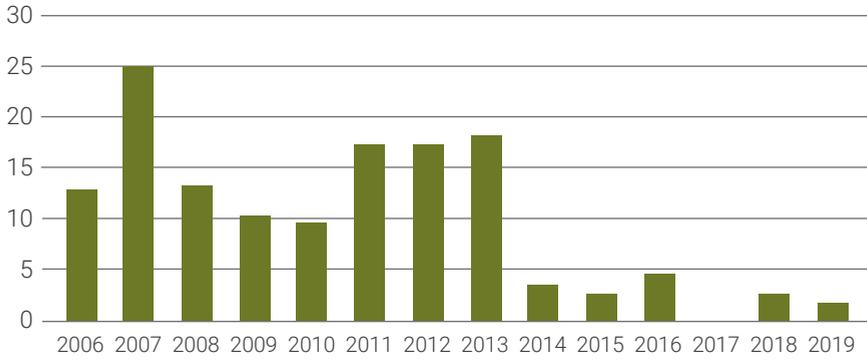


Figura 1. Cantidad de cultivares de alfalfa registrados en Argentina entre 2006 y 2019. Fuente: INASE (7).

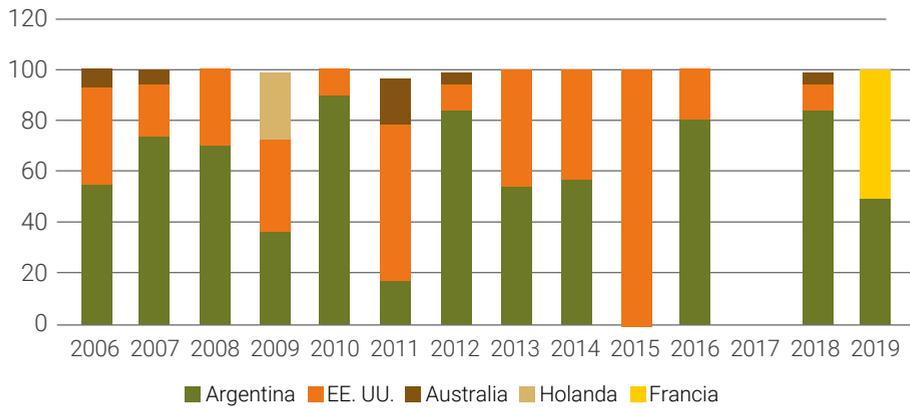


Figura 2. Participación porcentual del país de origen de los cultivares de alfalfa inscriptos en el RNC-INASE entre 2006 y 2019. Fuente: INASE (7).

Por otro lado, entre agosto de 2019 y marzo de 2020, se inscribieron otros cuatro cultivares y se presentaron los legajos de inscripción –para iniciar el trámite correspondiente– otros cuatro nuevos cultivares. Con el tiempo se verá si esto marca un quiebre de la tendencia bajista que se ha observado durante los últimos años, como ya fuera señalado.

Durante la última década, la mayoría de los programas de obtención de variedades de alfalfa han indicado la necesidad de desarrollar alfalfas

tolerantes a estreses abióticos, adaptadas a ambientes menos favorables; no obstante, se puede decir que la gran mayoría de los cultivares inscriptos en ese período se encuadran dentro de lo que se considera como “genética convencional”, esto es seleccionados por mayor producción de forraje y resistencia combinada a plagas y enfermedades. En oposición a esta tendencia, se diferencian claramente cuatro cultivares de reciente lanzamiento: dos materiales genéticamente diseñados (GE), también denominados genéticamente modificados (OGM), inscriptos en 2018 por una empresa privada, que reúnen tolerancia a glifosato de amonio (RR®) y menor contenido de lignina (HarvXtra®); y dos variedades inscriptas por el INTA a fines de 2019: una tolerante a condiciones de salinidad y otra con alta expresión multifoliolada, lo que le otorga una mayor calidad forrajera, en particular mayor contenido de proteína y más alta relación hoja: tallo.

Criterios para la elección del cultivar

Desde su creación en 1982, el RNC tenía inscriptos hasta 2019 un total de 429 cultivares. Si bien, la mayoría de ellos ya son obsoletos y fueron retirados del mercado, actualmente, se comercializa un muy alto número de cultivares, lo que dificulta al productor la identificación de cuáles son los mejores para cada zona del cultivo. Solo en 2018, se ofrecían en el mercado nacional más de 120 variedades, pertenecientes a un rango de grados de reposo invernal (GRI) de 6 a 10 y provenientes tanto de programas de mejoramiento públicos como privados.

A fin de guiar la elección de las mejores variedades para cada ambiente, se proponen algunos criterios a tener en cuenta por parte del productor o asesor profesional. En primer lugar, debe entenderse que no todos los cultivares son iguales ni proporcionan los mismos niveles de producción de forraje, persistencia y sanidad. En segundo lugar, se sugiere considerar el potencial de rendimiento de materia seca por hectárea. En tercer lugar, si bien el rendimiento es probablemente la característica más sobresaliente en el proceso de elección, se recomienda enfáticamente no dejar de lado otros caracteres, tales como el grado de reposo invernal, la persistencia y la resistencia a plagas y enfermedades. Es importante que todos estos atributos sean considerados en conjunto

porque en muchas ocasiones la no detección de diferencias en producción de forraje no es sinónimo de similitud entre variedades (Casler y Undersander, 2000).

Debido a que las condiciones ambientales modifican la expresión de las características antes mencionadas, es recomendable basar la elección de los cultivares en la información de comportamiento generada en el área donde se sembrará el cultivo, o al menos de un área ambientalmente similar. Para tal fin, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) cuenta con una Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa (RECA), que incluye 14 localidades distribuidas en ambientes tanto de secano (región Pampeana, dividida en zonas semiárida, subhúmeda y húmeda) como de riego (NOA y Patagonia). En esa red, coordinada desde INTA Manfredi (Córdoba), los ensayos se evalúan durante cuatro temporadas (primavera-verano-otoño), a fin de tener no solo una estimación del rendimiento de materia seca sino también de la persistencia de los cultivares. Los ensayos, con series que se siembran cada dos años, se dividen en dos grandes grupos: a) ensayos territoriales de alfalfa de cultivares con reposo invernal moderado o intermedio (GRI 5-7) o ETA CRIM; y b) ensayos territoriales de alfalfa de cultivares sin reposo invernal (GRI 8-10) o ETA SRI. Una información detallada sobre el funcionamiento de esta red, así como los cultivares más destacados en cada localidad, se ofrece en el capítulo 8 de este libro.

Grados de reposo invernal (GRI)

El reposo invernal es una característica genética de la alfalfa por la cual, en respuesta a la disminución del fotoperíodo y a las bajas temperaturas de otoño-invierno, las plantas reducen su crecimiento (McKenzie *et al.*, 1988). Esos factores ambientales desencadenan un proceso de aclimatación durante el cual se produce una acumulación de hidratos de carbono y compuestos nitrogenados en la parte superior de la raíz y en la corona, los que luego en primavera –cuando las condiciones ambientales sean propicias– posibilitarán el reinicio del crecimiento de la planta.

El reposo invernal se clasifica en grados (GRI) que se determinan de acuerdo a la altura del rebrote medido a los 25-30 días del último corte

de otoño, según una escala que contempla incrementos de 5 cm entre grados sucesivos (Teuber *et al.*, 1998). En los Estados Unidos se definen 11 GRI, cada uno representado por variedades testigo. En igual sentido, el legajo para la inscripción de variedades de alfalfa aprobado por el INASE también reconoce 11 GRI, desde GRI 1 (extremadamente con reposo) a GRI 11 (extremadamente sin reposo).

Los cultivares, dependiendo de su GRI, responden de diferente manera a las condiciones otoño-invernales, lo que a su vez determina la distribución de la curva de producción de forraje a lo largo de la temporada de crecimiento. Así, las variedades con reposo (GRI 1-4), que son más sensibles a las señales fisiológicas disparadas por las bajas temperaturas y por la menor longitud del día, detienen su crecimiento a principios del otoño como expresión de un mecanismo de protección contra el frío y las heladas. Por el contrario, los cultivares sin reposo (GRI 8-11) son menos sensibles a estas condiciones ambientales y continúan su crecimiento mientras la temperatura se mantenga ≥ 5 °C (Poole *et al.*, 2003), aún a costa de sufrir daños por las heladas. Por esto último, el uso de este tipo de cultivares se recomienda principalmente para áreas templadas, con inviernos no excesivamente rigurosos.

Si bien los cultivares ofrecidos en el mercado argentino van de GRI 5 a 10, durante la última década se produjo una marcada tendencia hacia la oferta de GRI 7-10. En la actualidad hay muy pocas variedades de GRI 5 que se recomiendan para el sur de la región Pampeana y la Patagonia. Los cultivares de GRI 8-10 se aconsejan para las producciones de leche bovina, donde todavía el uso del pastoreo directo sigue siendo importante y, por lo tanto, se requiere de forraje verde durante todo el año. También, por las mismas razones de pastoreo directo a lo largo del año, se aconsejan para producciones intensivas de carne y para la confección de reservas forrajeras (heno y henolaje) bajo riego o secano. Por su parte, los de reposo intermedio (GRI 6-7) se aconsejan para las producciones de carne más extensivas y en las zonas más australes, bajo pastoreo directo y asociados en muchos casos con gramíneas templadas. También son utilizados para la confección de heno, atento a su mayor pico de producción primaveral y al hecho de ofrecer una alta producción de forraje con un menor número de cortes que los sin reposo.

Persistencia

Entre los varios factores que determinan la persistencia de la alfalfa, la resistencia múltiple a plagas y enfermedades suele consignarse por lejos como el más importante. Sin embargo, la experiencia de varios años indica que la persistencia del cultivo es un fenómeno complejo, donde el comportamiento sanitario constituye solo uno de los factores que la determinan. La supervivencia de las plantas incluye varios procesos fisiológicos interdependientes –y no totalmente esclarecidos– que condicionan la adaptación al ambiente y el comportamiento agronómico a lo largo del tiempo.

Como se señaló precedentemente, el rendimiento de forraje está directamente relacionado con la densidad de plantas del cultivo. Con base en la información producida por la RECA, se determinó que –para una amplia gama de localidades y cultivares de distinto GRI– existe una correlación lineal y positiva ($r = 0,35$; $p < 0,0004$) entre la producción de forraje acumulada y la persistencia a lo largo de cuatro temporadas de evaluación. No obstante, como lo señalaron Kallenbach *et al.* (2002), esta asociación puede no verificarse en muchos casos particulares. De acuerdo con Sheaffer *et al.* (1988), esto podría deberse –al menos parcialmente– a que el cultivo puede compensar la pérdida de plantas con un aumento del número de tallos en las plantas remanentes. En ese sentido, el número de tallos m^2 sería un mejor indicador de la potencialidad del cultivo que el número de plantas m^2 .

A similitud de lo que ocurre en la producción de forraje, también en la persistencia se detecta una importante interacción variedad x localidad, lo que equivale a decir que para una misma variedad la persistencia varía tanto entre períodos de utilización como entre localidades. Por todo ello, es aconsejable consultar también la persistencia de los cultivares en cada localidad a fin de elegir el más adaptado para la zona en la que se pretende su utilización.

Resistencia a plagas y enfermedades

Además del efecto que las plagas y las enfermedades ejercen *per se* sobre la productividad y la persistencia de la alfalfa, se debe también tener en cuenta su acción en detrimento de la calidad del forraje y en la predisposición para intensificar el daño de otros agentes de estrés, tanto bióticos como abióticos. Por ello, la elección de las variedades debe orientarse hacia aquellas que ofrezcan los más altos niveles de resistencia a las plagas y las enfermedades que mayor importancia tengan en el área para sembrar, especialmente las de mayor impacto económico.

En un trabajo de Hijano y Pérez Fernández (1995) se identificaron las principales enfermedades que, por difusión y grado de daño, afectaron al cultivo en la región Pampeana durante la década de 1990. Entre ellas, se citaban especialmente a la “corchosis”(*Xylaria* spp.); el complejo de podredumbres de corona y raíz (*Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Phoma* spp., etc.); la podredumbre húmeda o fitóftora (*Phytophthora megasperma* f. sp. *medicaginis*), la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *medicaginis*) y la antracnosis (*Colletotrichum trifolii*). Más tarde, con la difusión masiva de los cultivares sin reposo, se tornaron también importantes las enfermedades foliares (*Leptosphaerulina briosiana*, *Leptotrochilla medicaignis*, *Uromyces striatus*, *Pseudopeziza medicginis*, *Phoma* spp., etc.), que si bien no eliminan plantas como las anteriores, pueden disminuir significativamente la calidad y el rendimiento de forraje (Gieco *et al.*, 2007). Durante la última década se han identificado en todo el país daños crecientes del complejo viral del achaparramiento y enación de la alfalfa (Bejerman *et al.*, 2011). Investigaciones recientes han identificado que en dicho complejo intervienen al menos siete virus (Trucco *et al.*, 2018). En el capítulo 9 de este libro se ofrece un tratamiento más completo de las principales enfermedades del cultivo en el país.

Entre las plagas más importantes se encuentran los pulgones moteado (*Therioaphis trifolii*), verde (*Acyrtosiphum pisum*) y azul (*A. kondoi*), las orugas (*Colias lesbia*, *Agrotis malefida* y *Porosagrotis gypaetina*) y el complejo de gorgojos de la alfalfa (*Pantomorus leucoloma*, *P. auripes*, *P. verecundus*, *P. viridisquamosus*, *Naupactus cinereidorsum* y *Priocyphus bosqui*) (Aragón *et al.*, 2007). El pulgón negro (*Aphis craccivora*), con-

siderando históricamente como plaga secundaria, ha cobrado mayor importancia por ser el vector del complejo viral del achaparramiento.

Lamentablemente, frente a este panorama de ataque de enfermedades y plagas, solo se cuenta con cultivares que ofrecen altos niveles de resistencia a los tres primeros pulgones mencionados, a la fitóftora, la fusariosis y la antracnosis. El resto de plagas deben manejarse mediante la implementación de sistema de control integrado, una vez alcanzados los niveles de daño económico. Las enfermedades para las que no existen variedades resistentes se deben controlar con prácticas de manejo adecuadas, como evitar acumulaciones de agua en los lotes bajo riego, adelantar el corte o pastoreo ante presencia de enfermedades de hoja, rotación de cultivos, etc. El uso de fungicidas en alfalfa no es una práctica económica y, por lo tanto, no empleada en Argentina.

Según su reacción frente al ataque de un patógeno, los cultivares se pueden clasificar como: a) resistentes: las plantas son capaces de restringir o eliminar la actividad del agente dañino; b) tolerantes: las plantas no impiden el avance ni el desarrollo del patógeno, pero lo soportan sin manifestar disminución significativa de su producción; y c) susceptibles: las plantas son incapaces de restringir la actividad del patógeno y sufren daños económicos o la muerte. A su vez, el nivel de resistencia de una variedad se mide por el porcentaje de plantas sobrevivientes en pruebas estandarizadas y bajo condiciones controladas (NAAIC, 1998). De esa forma se las clasifica como: susceptible: < 5 %; de baja resistencia: 6-15 %; moderadamente resistente: 16-30 %; resistente: 31-50 %; y altamente resistente: > 51 %. Es importante puntualizar que en ningún momento se habla de "inmunidad" y que aun las variedades catalogadas como resistentes o altamente resistentes pueden sufrir algún grado de daño si las condiciones son muy propicias para el patógeno en cuestión.

Alfalfas GE (u OGM)

Una forma de ampliar la variabilidad genética, a fin de mejorar caracteres específicos de los cultivos, es el uso de la transgénesis. Esta técnica consiste en la introducción de genes de otras especies que no existen

naturalmente en la especie que se quiere mejorar. El resultado es la obtención de productos que se denominan normalmente como “organismos genéticamente modificados” (OGM), aunque una forma más correcta sería nombrarlos como organismos genéticamente diseñados o “GE” (por sus siglas en inglés *genetically engineered*).

El primer logro concreto derivado del uso de la transgénesis en alfalfa fue la obtención de cultivares tolerantes al herbicida glifosato de amonio (Roundup®), conocidas vulgarmente como “alfalfas RR” (Roundup Ready®). Estas variedades, que fueron desarrolladas por una empresa de EE. UU. mediante el uso de los eventos J101, J163 y J101xJ163, se desregularon para su cultivo en los Estados Unidos (primero en 2005 y, luego de un paréntesis legal, definitivamente en 2011), Canadá (2005), México (2005) y Japón (2006). Poco después, estos cultivares fueron lamentablemente introducidos de contrabando en nuestro país y alcanzaron una difusión importante. No obstante, debe tenerse en claro que estas variedades de alfalfa RR son ilegales en nuestro país y que, por lo tanto, el productor debe abstenerse de su uso. Además de infringir los derechos del obtentor, constituyen una grave amenaza para las exportaciones de heno, dado que los principales mercados de la alfalfa argentina exigen forraje sin presencia de transgénicos.

Posteriormente, la misma empresa obtuvo en 2014 la desregulación en EE. UU. y Canadá del evento KK179, que a través de un proceso de silenciamiento génico por RNA de interferencia (*knock down o down regulation*) disminuye el contenido de lignina en los tallos (Temple y Dixon, 2018). Esta tecnología, que se comercializa como HarvXtra®, confiere una mayor digestibilidad a igual estado de madurez frente a una alfalfa convencional (es decir, con la síntesis de lignina sin alteraciones); o bien, le permite conservar un nivel de digestibilidad propio de estados de madurez más tempranos (botón floral/10 % de floración) a estados más avanzados de madurez (30-50 % de floración). Utilizando esta tecnología, la empresa desarrolló variedades de alfalfas con dos eventos apilados: KK179xJ101, es decir, alfalfas RR con menor contenido de lignina (HarvXtra-RR®). Estos cultivares se desregularon no solo en Estados Unidos sino también en Canadá, Japón y Argentina (Ministerio de Agroindustria, 2018). Hasta el año 2019 había en Argentina dos cultivares RR+HarvXtra inscriptos en el RNC y, por lo tanto, con autorización

de comercialización (desregulados). El resto de los materiales exclusivamente RR (eventos J101 y J163), es decir, sin tecnología HarvXtra apilada, que fueron introducidos como se comentara precedentemente, continúan siendo ilegales y nunca fueron aprobados para su uso en el país.

El uso de las alfalfas RR, independientemente de las reservas que puedan hacerse desde algunos sectores sobre el incremento del riesgo de generar malezas resistentes al glifosato, es una tecnología que puede aportar mejoras interesantes a la producción del cultivo. Esta tecnología, obviamente diseñada para alfalfares puros, facilita el control de las malezas y, bien usada, puede constituir una herramienta muy útil. Dentro de las prácticas que hacen al correcto uso de estos cultivares, resaltan básicamente dos: i) aplicar glifosato cuando realmente resulte necesario y de acuerdo a las normas recomendadas; y ii) no utilizar glifosato como única arma de control de malezas, alternándolo con otros herbicidas selectivos para alfalfa y con otras técnicas de manejo, como control mecánico o cultural.

Desarrollo de alfalfas GE en Argentina

Como resultado de un esfuerzo conjunto que se desarrolló enteramente en el país y que involucró tanto al sector público (INTA-IGEAF y CONICET) como al privado, se desarrollaron poblaciones sintéticas de alfalfa transgénica con tolerancia al herbicida glufosinato de amonio, que se encuentra actualmente en el largo y costoso proceso de desregulación comercial (Jozefkowicz *et al.*, 2016; Jozefkowicz *et al.*, 2018). La transformación genética fue mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y se empleó el protocolo desarrollado por el IGEAF INTA Castelar (García *et al.*, 2014; Jozefkowicz *et al.*, 2016) con glufosinato de amonio como agente selectivo (este trabajo se explica con más detalle en el capítulo 7 de este libro). El glufosinato de amonio es un herbicida de contacto y de amplio espectro de acción, por lo que constituye una herramienta muy interesante para controlar malezas anuales y perennes que provengan de semilla, incluyendo aquellas malezas que se han tornado resistentes al glifosato. De este modo, aplicándolo durante la etapa de implantación del cultivo, dentro del denominado "período crítico de competencia", se

puede partir de lotes con un muy bajo nivel de infestación de malezas, aumentando así la probabilidad de obtener alfalfas productivos y longevos. El lanzamiento comercial de esta alfalfa tolerante a glufosinato puede llevar varios años, habida cuenta de que no solo deben completarse los requisitos para su desregulación, sino que también debe realizarse la multiplicación a escala comercial de la semilla bajo estrictas normas de seguridad.

Otra de las líneas de trabajo del INTA IGAEF es la implementación del sistema de edición génica basado en la técnica CRISPR/Cas9 para mejorar caracteres como la tolerancia a herbicidas, el retardo de la floración, la tolerancia a estreses abióticos, el retraso de la senescencia de hojas, el aumento del rendimiento de forraje y la mayor eficiencia de nodulación. Estos trabajos, todavía en su etapa inicial, también se tratan con mayor detenimiento en el capítulo 7. Desde el punto de vista regulatorio, una de las mayores ventajas de la edición génica es que en Argentina –y algunos otros países– la liberación de los productos que se obtengan por esta vía no requeriría de tratamientos especiales de aprobación que tienen los productos transgénicos, de modo que solo se seguirían los requisitos exigidos para cualquier variedad convencional.

Flujo génico desde alfalfas transgénicas

Aun cuando las alfalfas transgénicas se usen en forma correcta, deberían también tenerse en cuenta los posibles perjuicios que el flujo génico desde estos cultivares puede hacerle a la producción nacional de semilla de alfalfas convencionales (no GE). En este sentido, debería implementarse una serie de medidas destinadas a disminuir la presencia no deseada o adventicia (PA) de transgenes, preservando así la pureza genética de las variedades convencionales.

Se define como flujo génico al intercambio de genes entre dos poblaciones. La presencia indeseada de transgenes en una población convencional de alfalfa se puede dar básicamente por dos fenómenos: flujo génico mediado por polen o flujo génico mediado por semillas (Van Deynze *et al.*, 2008).

Flujo génico por intercambio de polen

Para que esto ocurra, debe obviamente concretarse la formación de semilla proveniente de la fecundación cruzada (alogamia) y el subsecuente establecimiento de las plántulas originadas por esas semillas. En el caso particular de la alfalfa, el flujo génico a través del polen depende de la distancia de aislamiento entre las dos poblaciones (es decir, entre la alfalfa transgénica y la convencional), la frecuencia génica, la sincronización de la floración entre las dos poblaciones, y la densidad y el tipo de polinizadores.

Considerando los usos de la alfalfa (producción de semilla y producción de forraje, sea para heno o pastoreo) y la presencia de plantas de alfalfa asilvestradas (alfalfa feral), se podrían dar nueve combinaciones entre la población fuente de polen y la población receptora de polen: 1) de heno/pastoreo a heno/pastoreo; 2) de heno/pastoreo a semilla; 3) de heno/pastoreo a feral; 4) de semilla a heno/pastoreo; 5) de semilla a semilla; 6) de semilla a feral; 7) de feral a heno/pastoreo; 8) de feral a semilla; y 9) de feral a feral. Van Deynze *et al.* (2008) hacen una consideración detallada de las probabilidades de ocurrencia del intercambio génico en esas situaciones. Basado en ello, y adaptando el análisis a la realidad argentina relativa a los lotes de producción comercial (heno/pastoreo o semilla), podrían resumirse las siguientes consideraciones:

- De heno/pastoreo a heno/pastoreo: usualmente la probabilidad de heno a heno es muy baja porque deberían superarse una serie de barreras ambientales que incluyen el momento de corte (normalmente de botón floral a inicios de floración), la escasez de polinizadores, la remoción completa de toda la biomasa aérea (que previene la formación de semillas) y la remota posibilidad que tiene una semilla de alfalfa formada en un lote de producción de heno de germinar, establecerse y contribuir significativamente a la producción de forraje. El caso de los lotes de alfalfa en pastoreo puede incrementar la probabilidad de intercambio génico dado que los pastoreos se hacen a principios de floración ($\geq 10-20\%$) o en estadios más avanzados ($\geq 50\%$) para evitar el empaste. Además, el pastoreo normalmente no remueve toda la biomasa (eficiencias de uso del 50 al 75 %).

- De semilla a heno/pastoreo: la situación tiene muchos puntos en común con la descrita anteriormente, si bien la presencia de plantas totalmente florecidas y la abundancia de polinizadores en un lote para semilla incrementan las probabilidades de ocurrencia. De todos modos, el manejo recomendado del esquema de cortes para heno (botón floral a inicios de floración) previene normalmente la formación de semilla en el lote para henificación.
- De alfalfa feral a heno/pastoreo: nuevamente, las barreras mencionadas en el primer caso (heno a heno) aplican en su mayoría en esta situación. Sin embargo, la probabilidad de ocurrencia es aún menor, habida cuenta que las plantas ferales son normalmente muy escasas y de baja producción de polen (en comparación con plantas bajo cultivo). Además, el manejo oportuno de los cortes en la población para heno disminuye notoriamente el riesgo. De todos modos, el corte (para evitar la sincronía de floración) o la eliminación de las plantas ferales es una práctica recomendada.
- De heno/pastoreo a semilla: por un lado, en este caso la probabilidad es algo mayor que en los casos anteriores debido a factores como el grado y la duración de la floración y la presencia de polinizadores en el lote para semilla. Por otro lado, si el manejo de los cortes para heno y las normas de fiscalización de semilla se cumplen adecuadamente, la probabilidad de flujo génico es baja. Para disminuirla aún más, el uso de mayores distancias de aislamiento sería aconsejable. Como se mencionara anteriormente para otras situaciones, la probabilidad de flujo génico se incrementaría en el caso de lotes para pastoreo por la mayor probabilidad de plantas florecidas durante más tiempo.
- De feral a semilla: la probabilidad en este caso es muy baja, dependiendo de la ocurrencia, intensidad y duración de la floración en plantas ferales; de su sincronía con el lote de producción de semilla; de la distancia de aislamiento; y del tipo de polinizadores presentes. Dado que la mayoría de las zonas de producción de semilla se ubican en regiones áridas o semiáridas, la cantidad de plantas ferales de alfalfa fuera de los lotes irrigados es (o debería ser) escasa.
- De semilla a semilla: es el escenario de mayor posibilidad de intercambio génico entre dos poblaciones de alfalfa, dado que el manejo de los lotes está destinado a generar las máximas condi-

ciones de polinización para la mayor producción de semilla posible. En este contexto, habrá sincronía de floración entre los dos lotes, abundante presencia de polinizadores y muy alta cantidad de semillas maduras. Por eso, a efectos de mitigar este natural flujo génico, se establecen en los regímenes de fiscalización las distancias mínimas de aislamiento que se deben observar a fin de mantener la pureza varietal. Para el caso de las alfalfas convencionales, las distancias establecidas (que en Argentina son 200 m para semilla básica, 100 m para primera multiplicación y 50 m para segunda multiplicación) se consideran suficientes para preservar la pureza genética dentro de parámetros razonables. No obstante, atendiendo a que las distancias de vuelo de los agentes polinizadores son significativamente distintas, esas distancias deberían revisarse. En el caso de la “abeja cortadora de hojas” (*Megachile rotundata*) se ha detectado flujo génico hasta una distancia cercana a los 600 m. Por el contrario, en el caso de la “abeja melífera” (*Apis mellifera*), se ha detectado que el flujo génico, si bien en muy baja proporción, es posible hasta una distancia cercana a los 5 km. No obstante lo anterior, el caso de flujo génico entre lotes de producción legal de semilla transgénica y convencional en Argentina debería ser –al menos en el presente– nulo, dado que la empresa titular de la tecnología HarvXtra no multiplicará semilla de esas variedades en dicho país. En consecuencia, el escenario –siempre hablando de semilla legal– comprendería desde lotes transgénicos para heno o pastoreo hacia lotes de producción de semilla convencional. En un futuro, si se lanzaran otras variedades transgénicas que se multiplicaran en el país, la situación debería cambiar.

Flujo génico mediado por semillas

Existen tres potenciales vías para generar flujo génico a través de semillas de alfalfa: 1) mezcla de lotes de semilla transgénica y convencional durante la cosecha de lotes, el proceso de limpieza y clasificación y el proceso de pelleteo (pildorado); 2) el establecimiento de plantas transgénicas voluntarias, provenientes del banco de semillas, en un lote de producción de semilla de alfalfa convencional que se haya implantado en un lote que anteriormente haya sido usado con alfalfa transgénica;

y 3) dispersión por animales que hayan pastoreado un lote de alfalfa transgénica con presencia de semillas maduras.

De los tres casos anteriores, el primero es el de mayor probabilidad de ocurrencia. Por lo tanto, una cuidadosa limpieza de la maquinaria de cosecha y un riguroso control del sistema de procesamiento de semilla en todo momento, a fin de prevenir mezclas y detectar presencia adventicia de transgénicos, son elementos fundamentales para prevenir problemas. Además, la implantación de lotes de multiplicación de semillas convencionales debería hacerse con semilla que haya sido analizada y en la que no se haya detectado la presencia adventicia de semilla transgénica. En este sentido, se recomienda consultar el trabajo *Best Management Practices for Adventitious Presence-Sensitive Alfalfa Seed Production* (NAFA, 2015a).

Prácticas para la producción de semillas convencionales sin PA

A fin de disminuir significativamente la probabilidad de presencia adventicia (PA) de semilla transgénica en lotes de semilla convencional, se sugieren las siguientes medidas para tener en cuenta para el manejo de los lotes de producción de semilla:

- Para la implantación de lotes convencionales, usar semilla de variedades en las que no se haya detectado presencia de transgénicos.
- Sembrar en lotes que no hayan tenido alfalfa (particularmente transgénica) al menos en las tres campañas anteriores.
- Cuidadosa limpieza de la maquinaria de siembra.
- Utilizar mayores distancias de aislamiento entre diferentes tipos de variedades (transgénicas y convencionales). Esto está relacionado con el tipo de polinizador predominante.
- Usar polinizadores de menor radio de vuelo, particularmente *M. rotundata*. Además, estos insectos son de 10 a 20 veces más eficientes en polinizar flores que la abeja melífera.
- Cosechar en forma diferente los bordes de los lotes (más susceptibles de contaminación con polen foráneo) y los sectores centrales.

- Coordinar con los vecinos para que no utilicen variedades transgénicas.
- Relacionado con el punto anterior, otra posibilidad es declarar zonas “libres de transgénicos” para la multiplicación de semillas convencionales. A modo de orientación, se sugiere consultar el documento *Grower Opportunity Zones for Seed Production* (NAFA, 2915b).
- Limpieza cuidadosa de toda la maquinaria de recolección y trilla de semillas antes de entrar a cosechar los lotes.
- Monitoreo de cada lote de semilla que entra a la planta de procesamiento para la detección de presencia de transgénicos.
- Control permanente de todo el proceso de limpieza y clasificación de semilla.

Este paquete tecnológico de buenas prácticas para la producción de semilla convencional se debería complementar con las acciones que se sugieren a continuación:

- Definición de un protocolo de muestreo y de métodos de análisis de uso uniforme para determinar presencia de transgenes.
- Complementando lo anterior, establecer una red de laboratorios homologados para los análisis correspondientes.
- Atentos a la dificultad práctica de generar partidas de semilla totalmente libres de PA de transgénicos, se sugiere definir tolerancias de PA en lotes de semillas convencionales. Esas tolerancias podrían ser más o menos exigentes de acuerdo al destino de la producción. Si se tratara de abastecer a mercados muy sensibles a la PA, los lotes de semilla deberían ser rotulados como de “presencia no detectada” y no “libres de transgénicos”, porque esto último es un requisito imposible de cumplir en la práctica, dado que supondría analizar –y destruir– cada semilla individual. Para mercados menos exigentes, o que acepten la presencia de transgénicos, esas tolerancias podrían ser más laxas. Para más información se sugiere consultar Putnam *et al.* (2016).
- Ampliar las distancias de aislamiento para lotes de producción de semilla. Esto estará en función del tipo de polinizadores que se empleen, habida cuenta de los significativamente diferentes radios de vuelo de la abeja melífera y del megachile. Estas distancias también estarán afectadas por los valores de tolerancia de PA que se adopten: a tolerancias mayores, menores aislamientos y viceversa.

Consideraciones finales

Como consecuencia de una serie de cambios que se han dado en los últimos 15 años en el uso del suelo y en las técnicas de producción animal, el área sembrada con alfalfa está en disminución. Eso se ha visto reflejado también en los volúmenes de semilla comercializados y en el número de cultivares inscriptos. Paralelamente, ha surgido un marcado interés por producir heno de alfalfa de alta calidad, particularmente para la exportación hacia mercados con demanda creciente e insatisfecha como Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos, a los que se agrega –más recientemente– China. En este sentido, Argentina tiene –en el corto y mediano plazo– un enorme potencial para convertirse en un proveedor relevante para el mercado mundial de heno de alfalfa.

Pese la disminución del área de siembra, la oferta de cultivares de alfalfa en el mercado nacional supera las 100 variedades; en consecuencia, la elección por parte del productor respecto de cuáles son las mejores para su zona no suele ser una tarea sencilla. Por ello, se recomienda enfáticamente no solo comprar semilla fiscalizada, sino también elegir los cultivares para sembrar con base en su producción potencial de forraje, su persistencia y sus niveles de resistencia a plagas y enfermedades.

Un hecho significativo en cuanto al panorama varietal de Argentina ha sido la desregulación en 2018 de los primeros cultivares transgénicos, que además de su tolerancia al glifosato de amonio tienen un menor contenido de lignina por un proceso de silenciamiento génico (*knock-down*). Esto, además de importantes implicancias en la producción y manejo del cultivo, obliga a considerar una serie de medidas que protejan la producción nacional de semillas del flujo génico (llamado comúnmente contaminación) de las alfalfas transgénicas (GE), a fin de preservar la pureza genética de las alfalfas convencionales (no GE).

BIBLIOGRAFÍA

ARAGÓN, J.; J.M. IMWINKELRIED. 2007. *Capítulo 7 Manejo integrado de plagas de la alfalfa*. En: BASIGALUP, D. (Ed.). *El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires. 165-197 pp.

BEJERMAN, N.; C. NOME; F. GIOLITTI; E. KITAJIMA; S. DE BREUIL; J. PÉREZ FERNÁNDEZ; D. BASIGALUP; M. CORNACCHIONE; S. LENARDON. 2011. *First Report of a Rhabdovirus Infecting Alfalfa in Argentina*. *Plant Disease* 95(6): 771. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-10-0764>

CASLER, M.; D.J. UNDERSANDER. 2000. *Forage Yield precision, experimental design, and cultivar mean separation for alfalfa cultivar trials*. *Agron. J.* 92: 1064-1071.

GARCÍA, A.N.; N.D. AYUB; A.R. FOX; M.C. GÓMEZ; M.J. DIÉGUEZ; E. PAGANO; C.A. BERINI; J.P. MUSCHIETTI; G. SOTO. 2014. *Alfalfa snakin-1 prevents fungal colonization and probably coevolved with rhizobia*. *BMC Plant Biol. (Sep)* 17 (14): 248. <https://doi.org/10.1186/s12870-014-0248-9>

GIECO, J.O.; M.V. MORENO; D.H. BASIGALUP. 2007. *Capítulo 9 Enfermedades de la alfalfa y abordaje molecular de la selección por resistencia*. En: BASIGALUP, D.H. (Ed.). *El cultivo de alfalfa en Argentina*, Ediciones INTA, Buenos Aires. 449-476 pp.

HIJANO, E.; J. PÉREZ FERNÁNDEZ. 1995. *Capítulo 7 Enfermedades de la alfalfa*. En: HIJANO, E.; A. NAVARRO (Ed.). *La alfalfa en la Argentina*. San Juan, Argentina: INTA Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales N.º 11. 125-142 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE SEMILLAS (INASE). 2019. *Catálogo Nacional de Cultivares*. (Disponible: <https://gestion.inase.gov.ar/consultaGestion/gestiones> consultado: 18/10/2019).

JOZEFKOWICZ C.; E. BOTTERO; C. PASCUAN; E. PAGANO; N. AYUB; G. SOTO. 2016. *Minimizing the time and cost of production of transgenic alfalfa libraries using the highly efficient completely sequenced vector pPZP200BAR*. *Plant Cell Rep.* 35 (9): 1987-1990. <https://dx.doi.org/10.1007/s00299-016-2026-7>

JOZEFKOWICZ C.; R. FRARE; R. FOX; A. ODORIZZI; V. AROLFO; E. PAGANO; D. BASIGALUP; N. AYUB; G. SOTO. 2018. *Maximizing the expression of transgenic traits into elite alfalfa germplasm using a supertransgene configuration in heterozygous conditions*. *Theor Appl Genet.* 131(5):1111-1123. <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-018-3062-1>

KALLENBACH, R.L.; C.J. NELSON; J.H. COUTTS. 2002. *Yield, quality, and persistence of grazing- and hay-type alfalfa under three harvest frequencies* *Agron. J.* 94: 1094-1103.

MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2018. *Secretaría de Alimentos y Bioeconomía. Resolución 33/2018*. (Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-33-2018-311332> consultado: 22/11/2019).

MCKENZIE, J.C.; R. PAQUIN; S.H. DUKE. 1988. *Cold and heat tolerance*. En: HANSON, A.A.; D.K. BARNES; R.R. HILL, Jr. (ed.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA/CSSA/SSSA, Agronomy Monograph 29. Madison, Wisconsin. 259-302 pp.

NATIONAL ALFALFA & FORAGE ALLIANCE (NAFA). 2015. *A Best Management Practices for APS Alfalfa Seed Production. NAFA Coexistence Document.* (Disponible: www.alfalfa-forage.org consultado: 12/06/2019).

NATIONAL ALFALFA & FORAGE ALLIANCE (NAFA). 2015. *B. Grower Opportunity Zones for Seed Production. NAFA Coexistence Document, Junio.* (Disponible: www.alfalfa-forage.org consultado:18/06/2019).

NORTH AMERICAN ALFALFA IMPROVEMENT CONFERENCE (NAAIC). 1998. C. FOX; R. BERBERET; F. GRAY; C. GRAU; D. JESSEN; M. PETERSON (Ed.). *Standard Tests to Characterize Alfalfa Cultivars (3rd edition).* (Disponible: <http://naaic.org> consultado: 08/04/2019).

POOLE, G.; D. PUTNAM; S. ORLOFF. 2003 *Considerations in choosing an alfalfa variety. Proceedings 33rd California Alfalfa and Forage Symposium.* 191-200 pp.

PUTNAM, D.H.; T. WOORWARD; P. REISEN; S. ORLOFF. 2016. *Coexistence and Market Assurance for Production of Non-Genetically Engineered Alfalfa Hay and Forage in a Biotech Era. Crop Forage & Turfgrass Management, Volume 2, ASA-CSSA, Madison, WI, EUA.* DOI: 10.2134/cftm2015.0164

SHEAFFER, C.C.; G.D. LACEFIELD; V.L. MARBLE. 1988. *Cutting schedules and stands.* En: HANSON, A.A.; D.K. BARNES; R.R. HILL, Jr. (eds.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA/CSSA/SSSA, Agronomy Monograph 29. Madison, Wisconsin.* 412-430 pp.

TEMPLE, S.J.; R.A. DIXON. 2018. *GE lignin modification in alfalfa.* En: BASIGALUP, D.; M. DEL C. SPADA; A. ODORIZZI; V. AROLFO (Ed.). *Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, INTA, Córdoba, Argentina.* 99-101 pp. (Disponible: www.worldalfalfacongress.org consultado: 25/04/2019).

TEUBER, L.R.; K.L. TAGGARD; L.K. GIBSS; M.H. MCCASLIN, M.A. PETERSON; D.K. BARNES. 1998 (revised). *Fall Dormancy.* En: FOX, C.; R. BERBERET; F. GRAY; C. GRAU; D. JESSEN; M. PETERSON (Ed.). *Standard Test to Characterize Alfalfa Cultivars (3rd edition).* Published by North American Alfalfa Improvement Conference. *Agronomic Tests. A-1 p.*

TRUCCO, V.M.; N. BEJERMAN; S. DE BREUIL; D. CABRERA MEDEROS; S. LENARDON; F. GIOLITTI. 2018. *Alfalfa dwarf disease, a viral complex affecting alfalfa crop in Argentina.* En: BASIGALUP, D.; M. DEL C. SPADA; A. ODORIZZI; V. AROLFO (Ed.). *Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, INTA, Córdoba, Argentina.* 84-87 pp. (Disponible: www.worldalfalfacongress.org consultado: 18/09/2019).

VAN DEYNZE, A.; S. FITZPATRICK; B. HAMMON; M. MCCASLIN; S.H. PUTNAM; L. TEUBER; S. UNDERSANDER. 2008. *Gene Flow in Alfalfa: Biology, Mitigation, and Potential Impact on Production. Council for Agricultural Science & Technology, Special Publication N.º 28, Ames, Iowa, EUA.* 30 p.