



CAPÍTULO 16

Industrialización de la alfalfa

Daniel H. Basigalup
y Gastón Urrets Zavalía

Además de su uso tradicional en producción animal, tanto en pastoreo directo como en pastoreo mecánico o reserva forrajera en el propio establecimiento, la alfalfa ofrece oportunidades para la confección de diversos productos industriales con destino a la alimentación animal (cubos, pellets, harina y heno de alta densidad), la elaboración de productos farmacéuticos y cosméticos y la alimentación humana. En el presente capítulo se tratan brevemente algunos de estos usos industriales del cultivo. Las técnicas de henificación, destinadas a la producción de heno de alfalfa de alta calidad, se describen con detalle en el capítulo 13 de este libro.

Industrialización de alfalfa para alimentación animal

Los procesos de industrialización para la alimentación animal tienen como objetivo primordial aumentar la densidad de la alfalfa recogida –sea a granel u obtenida del campo en forma de rollos, fardos o megafardos– a los fines de facilitar la logística y reducir los costos de transporte y almacenamiento. Esto se logra dándole diferentes formatos al producto, que se ajusten a los distintos usos, destinos y formas de suministro. Los productos finales más usuales son: pellets, cubos, fardos y megafardos de alta densidad (Figura 1).



■ **Figura 1.** Productos más comunes obtenidos de la industrialización de la alfalfa para la alimentación animal: pellets (izquierda), cubos (centro) y megafardos de alta densidad (izquierda).

En la Tabla 1 se resumen los distintos formatos de heno de alfalfa y su efecto sobre cuestiones relacionadas con la logística de fletes.

La industrialización con destino a la alimentación animal involucra en todos los casos procesos de compactado, y en algunos también de secado de la alfalfa utilizada como materia prima.

■ **Tabla 1.** Densidad media del heno de alfalfa bajo los diferentes formatos y efecto sobre el flete.

Formato	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Capacidad transporte camión	
			unidades	toneladas
Fardo	21	140	750	16
Rollo	470	195	30	14
Megafardo	470	254	48	23
Megafardo de alta compactación	670	282	36	24
Megafardo recompactado	770	417	38	28-30
Megafardo recompactado angosto	430	395	70	28-30
Megafardo recompactado corto	430	485	70	28-30
Pellet		700		28-30
Cubo		460		28-30

En términos generales, el compactado puede ser llevado a cabo mediante prensas en cámaras de sección variable o fija, o bien mediante proceso de pelletizado o cubeteado. Por su parte, el secado puede hacerse de dos maneras fundamentales: 1) a campo, a través de la exposición directa al sol hasta alcanzar los valores de humedad objetivo para el producto (comúnmente 12-14 % si se destina a exportación directa, con o sin recompactado en industria; o 12-18 % si su destino inmediato es el mercado interno); o 2) recibir un preoreado a campo, haciendo descender la humedad hasta valores próximos a 30-40 %, y luego completar el secado en horno hasta alcanzar la humedad objetivo según el producto y destino final. Las dos formas de secado tienen sus ventajas y desventajas. Por un lado, el secado a campo tiene obviamente menores costos, pero expone la alfalfa más tiempo a la probabilidad de ocurrencia de inclemencias climáticas, que pueden causar daños importantes y, en algunos casos, totales. Este sistema es el utilizado en los estados del oeste de Estados Unidos, donde la alfalfa se produce en ambientes áridos bajo riego con condiciones de clima mediterráneo (lluvias invernales y veranos secos). Por otro lado, el secado artificial no solo reduce los riesgos de exposición del material a la lluvia, sino también permite

controlar y uniformizar el proceso de deshidratado; como contrapartida, requiere de grandes inversiones en infraestructura, importantes costos en combustible y de un ajustado proceso de logística hacia y dentro de la planta de deshidratado. No obstante, en zonas de producción de clima húmedo o subhúmedo, el secado artificial se torna poco menos que imprescindible si se quiere asegurar el logro de volúmenes importantes de producto de alta calidad. Este es el sistema predominante en la producción de heno de exportación del continente europeo.

Cuando el material es secado a campo, ingresa a planta de procesamiento usualmente en forma de heno empaquetado bajo los formatos de fardo, rollo o megafardo (Figura 2). Normalmente, este sistema de recolección del material es realizado cuando el destino es el recompactado directo (sin secado artificial), por lo que debe ingresar con un muy bajo contenido de humedad (rango usual: 12 a 15 %). Por el contrario, si la finalidad es la producción de pellets o cubos, donde el secado es terminado a través de esos procesos que requieren cierta temperatura, o si el heno es desmenuzado en una planta ubicada en una zona de alta demanda atmosférica, que le permite al material perder los últimos puntos de humedad antes de su recompactado, el heno puede ingresar con algunos puntos más de humedad (> 15 %).

Si se opta por el ingreso a planta del material a granel (no empaquetado), el secado puede realizarse directamente al sol hasta el nivel de humedad final, o bien puede realizarse un preoreado a campo (sol directo) y posteriormente completarse el secado en el horno de la planta de procesamiento. En este último caso, el material preoreado al sol puede ser recogido del campo mediante una picadora con recolector pick-up y cargado en camión o carro forrajero (Figura 3), o bien ser recogida directamente por carros recolectores, provistos o no de procesador de fibra, que se movilizan tirados por tractores o autopropulsados (Figura 4).

Como norma general, los procesos de industrialización de la alfalfa deben conservar sus excelentes cualidades alimenticias, básicamente su concentración proteica y –según el formato de procesamiento y presentación– su contenido de fibra efectiva. Esto último es posible con todos los productos anteriormente mencionados, menos con un producto industrial no mencionado hasta ahora: la harina de alfalfa. Esta última, que es la alfalfa (tallos y hojas) secada y molida, se usa

principalmente como fuente de proteínas y minerales en la confección de alimentos balanceados, pero –por sus condiciones físicas– no es fuente de fibra efectiva. Un caso similar ocurre con los pellets, que por sus pequeñas dimensiones tampoco son fuente de fibra efectiva para bovinos, pero que se utilizan en forma directa para la alimentación de rumiantes menores, equinos, cerdos, conejos, aves y mascotas; o en forma indirecta, como integrantes de alimentos balanceados para variados tipos de animales.



■ **Figura 2.** Materia prima secada a campo y empaquetada como megafardos (arriba) o rollos (abajo). El proceso tiene menores costos, pero mayor riesgo de pérdida de calidad por lluvias.



■ **Figura 3.** Recolección de alfalfa preoreada en campo para su traslado a planta de procesado a través de una picadora con recolector pick-up sobre camión (izquierda) o sobre carro forrajero (derecha). Fotos: gentileza de las empresas Claas y New Holland.



■ **Figura 4.** Recolección de alfalfa preoreada en campo para su traslado a planta de procesado a través de carros forrajeros dotados o no de sistema cutter. Fotos: gentileza de las empresas Krone, CMC y Pottinger.

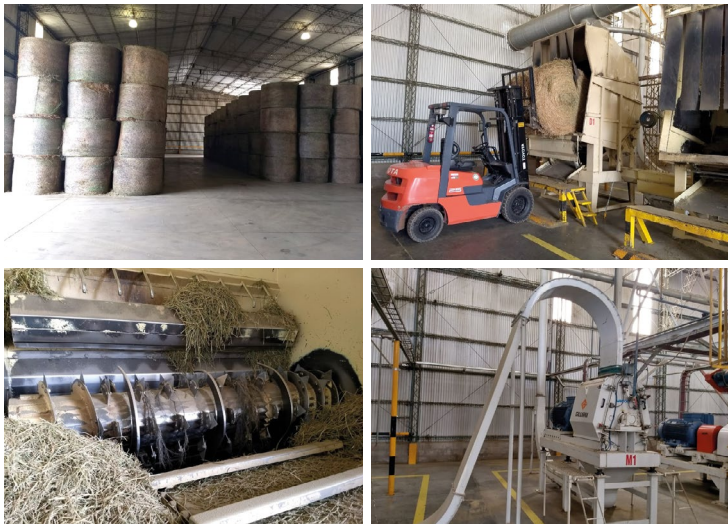
Pellets

El proceso de fabricación de pellets consiste en moler y prensar la alfalfa cortada y secada por medio de las distintas alternativas descritas previamente (Figura 5). La pelletización se lleva a cabo en condiciones de presión y temperatura controladas, forzando el paso del material a través de los orificios de una matriz, de forma tal que la alfalfa salga como pequeños cilindros de 5 a 13 mm (usualmente 8 mm) de diámetro y de 10 a 30 mm de largo.



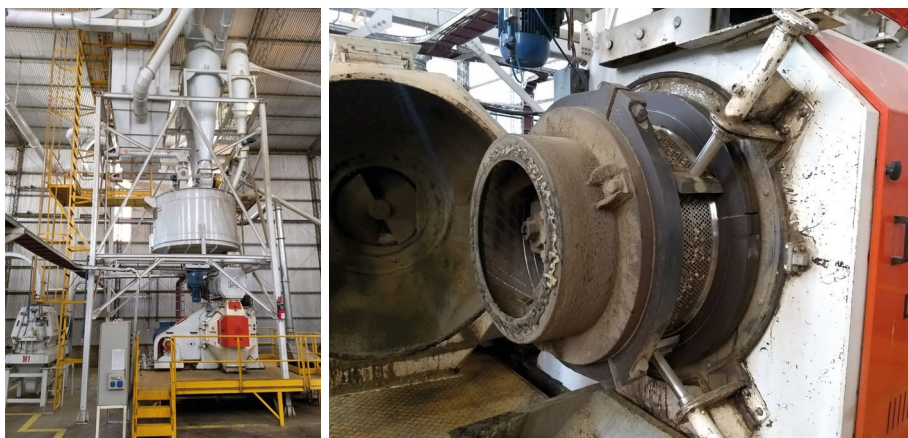
■ **Figura 5.** Vista general de la planta de pelletizado que la firma Pellfood S. A. posee en la localidad de Calchín, provincia de Córdoba, Argentina.

Cuando el material que ingresa a planta lo hace en forma de fardo, rollo o megafardo, debe ser primero desmenuzado y cortado, a fin de estar en condiciones de pasar a los siguientes pasos del proceso de pelletización (Figura 6). En estos casos, la mayoría de las plantas ingresan a las desmenuzadoras henos empaquetados que tienen hasta el 24 % de humedad. Por el contrario, si la alfalfa que ingresa a planta ha recibido un preoreado a campo y debe completar su secado artificialmente, debe pasar primero por el horno de secado para ser seguidamente molido.



■ **Figura 6.** Pasos iniciales del proceso de pelletización. Arriba-izquierda: estiva de materia prima (en este caso rollos) agrupada por partidas de calidad homogénea. Arriba-derecha: ingreso de material a la desmenuzadora. Abajo-izquierda: trozado de la alfalfa dentro de la desmenuzadora. Abajo-derecha: conducción del material desmenuzado (por succión) hacia el sistema de molienda. Fuente: Pellfood S. A.

La alfalfa desmenuzada y cortada es seguidamente succionada hacia los molinos, donde es reducida a partículas de unos pocos mm de tamaño. A continuación, ese material molido es conducido por succión de aire –generada por turbinas– hacia un ciclón donde se separa el polvo (que es filtrado y transferido fuera del sistema) de la alfalfa molida, que cae por gravedad a una tolva donde es homogeneizada y almacenada para ser pelletizada. El pelleteo ocurre al pasar bajo presión la alfalfa molida por una matriz alveolada a una temperatura de 70° a 80 °C (Figura 7). Algunos sistemas de pelleteo utilizan vapor para dar mayor consistencia al pellet; no obstante, las tecnologías más modernas prescinden del vapor haciendo el proceso algo más sencillo y directo.



■ **Figura 7.** Izquierda: sistema de succión hasta módulo de decantado y homogeneizado. Derecha: sistema de pelletizado con matriz alveolada. Fuente: Pellfood S. A.

Los pellets recién formados son transportados por una cinta al módulo de enfriado (Figura 8), donde el intercambio calórico se hace normalmente con aire a temperatura ambiente. Una vez enfriado, el producto es pasado a través de zarandas que separan los pellets propiamente dichos del material molido no pelletizado; este último es recuperado y reenviado a la tolva de homogeneización para una nueva pasada por la pelletizadora.

Los pellets son finalmente transportados por un sistema de cangilones al módulo de empaque, donde se envasan en bolsas de 25 o 40 kg o bien se colocan en big bags de 1 a 1,5 t; o son depositados en silos aéreos para su transporte a granel (Figura 9). El producto final (pellet) tiene un contenido promedio de humedad del 11 al 13 %.



■ **Figura 8.** En el módulo de enfriado los pellets alcanzan la temperatura ambiente y son zarandeados para separar el material no pelletizado. Seguidamente, los pellets son conducidos hacia el módulo de empaque o de descarga a granel. Fuente: Pellfood S. A.



■ **Figura 9.** Módulo de empaquetado (izquierda), donde los pellets se envasan para su comercialización en bolsas de 25 o 40 kg (centro-izquierda) o en big bags de 1 a 1,5 t (centro-derecha). Otra opción es el transporte a granel en camiones (derecha). Fuente: Pellfood S. A.

Previo a la salida de planta para su transporte y comercialización, el proceso se completa con rigurosos análisis de laboratorio para determinar su calidad, particularmente los contenidos de proteína (PB), fibra (FDN y FDA) y cenizas, porcentaje de humedad y presencia de aflatoxinas.

Cubos

Durante siglos, el heno fue un recurso recogido en forma manual y almacenado a campo en parvas. La búsqueda de un método que redujera el volumen ocupado por este comenzó a gestarse a fines del siglo XIX con la introducción de la prensa de heno. Durante la década de 1940, la

enfardadora automática de hilos revolucionó las técnicas de henificación, logrando al mismo tiempo reducir la demanda de mano de obra y obtener un heno más denso, que permitía reducir el volumen a igualdad de peso del producto. Paralelamente, comenzaron intentos para pelletizar el heno, proceso que permitía mantener la calidad nutricional del forraje al tiempo que facilitaba su manejo y transporte. No obstante, los inconvenientes con esa nueva tecnología derivaban de las necesidades de inversiones importantes de equipamiento para el deshidratado y el pelletizado estacionario.

En la década de 1950, la industria orientó parte de sus esfuerzos a obtener una máquina de pellets para trabajar directamente en condiciones de campo, concepto que asomaba como la gran innovación tecnológica y al que se abocaron paralelamente en los Estados Unidos las empresas John Deere (JD) e International Harvester (IH). En 1958, IH desarrolló un modelo experimental de “granulador de campo” y lo exhibió a sus distribuidores. Por su parte, JD invirtió varios años en el desarrollo de prototipos que fueron evaluados a campo en Arizona y California. Finalmente, entre 1965 y 1983 JD logró lanzar al mercado máquinas automotrices –como el modelo JD 425 Cuber (Figura 10)– que fabricaban cubos directamente desde la andana de alfalfa secada a campo. Estos equipos encontraron un nicho de mercado no muy significativo, concentrado básicamente en los estados de Arizona, California y Nuevo México. A nuestro país llegaron unas pocas unidades. La escasa difusión de esta maquinaria se debió a su baja capacidad de trabajo, la corta ventana de humedad de funcionamiento, su alto consumo de combustible en comparación con otros métodos más modernos de confección y sus altos requerimientos de mantenimiento. A nivel mundial, estos equipos fueron rápidamente reemplazados por las rotoenfardadoras.



■ **Figura 10.** Cubeteadora autopropulsada John Deere 425 Cuber difundida en los Estados Unidos en la década de 1970.

Desde el punto de vista de la confección del cubo, la alfalfa tiene un adhesivo natural en la superficie de sus tallos que facilita la unión de las partículas y contribuye a darle consistencia. Para que esta cementación funcione, el forraje debe secarse hasta un contenido de humedad de aproximadamente 10-12 %. Es importante que el proceso de formación de cubos se haga con alfalfa pura, ya que si la masa de forraje incluye gramíneas y malezas, éstas irán en detrimento de la cohesión del cubo y harán que se desmorone. Para ayudar a que el adhesivo se extienda uniformemente en ocasiones la hilera se rocía con agua. Una vez alcanzada la humedad adecuada, la máquina cubeteadora recoge el material, lo pica en trozos de 7 a 10 cm y lo pasa a la matriz de prensado donde se forman prismas de aproximadamente de 3 x 3 x 5-7 cm, que son depositados en una tolva y finalmente trasladados a la planta para su empaque o almacenamiento.

La producción de cubos en plantas industriales conlleva un proceso similar al descrito para la de producción de pellets, con la diferencia sustancial de no incluir la molienda de la fibra. Tanto la forma de secado como el ingreso de la materia prima son las mismas que las explicitadas para la generación de pellets. Una vez ingresada la alfalfa a línea de producción, el segundo paso es pasar la materia prima por unos rodillos con cuchillas que pican la alfalfa en trozos de 5 cm. Hay sistemas que ingresan la alfalfa ya picada, por lo que –en estos casos– el pasaje para picado obviamente ya no es necesario. Seguidamente, a través de cintas transportadoras, la alfalfa picada es trasladada a la tolva que alimenta la cubeteadora, que con presión y a una temperatura de 70-80 °C origina cubos (lados iguales) o prismas (más largos que anchos) de distintas dimensiones. A continuación, los cubos son conducidos hacia el módulo de enfriado, que trabaja a temperatura ambiente. Finalmente, los cubos ya enfriados van a la sección de embolsado (35 o 45 kg) o se cargan a granel (Figura 11). Además de los nutrientes propios de la alfalfa, los cubos pueden proveer fibra efectiva, aunque sin llegar a los niveles de los megafardos, fardos o rollos.

Fardos y megafardos recompactados

Si bien existe un mercado nacional e internacional de pellets –para animales menores, mascotas y balanceados– y cubos –por su buen contenido

de fibra efectiva y facilidad de almacenamiento—, el mercado mundial de heno de alfalfa se orienta hacia la producción de fardos y megafardos recompactados, especialmente para tambos y feedlots. Aunque los mercados pueden requerir diferentes maneras de presentación, las más difundidas son los “megafardos recompactados”, que tienen dimensiones tradicionales, pero con un peso entre los 750 y 800 kg, y los “medios megafardos”, similares a los anteriores, pero con la mitad de su longitud y comúnmente algo más densos (Figura 12). Ambos tipos pueden ser requeridos tanto sunchados como con una cubierta de arpillera plástica en sus cuatro caras. Otro formato muy demandado es el de “fardos pequeños densos”, que son de iguales dimensiones que los fardos tradicionales, pero que tienen el doble de peso (40 kg). Otra variante es mantener el peso tradicional (en torno a los 20 kg), pero con la mitad de tamaño de un fardo pequeño tradicional.



■ **Figura 11.** Confección de cubos de alfalfa en planta de la firma James Farm Inc. (Estados Unidos). El proceso incluye desde la recolección del material henificado en el campo (arriba-izquierda) hasta la carga a granel en un camión para su transporte y comercialización (abajo-derecha).



■ **Figura 12.** Megafardo entero (izquierda) y medio megafardo (derecha). Los dos están confeccionados con alta compresión y sunchados o fajados, conforme un tipo de demanda del mercado mundial. Fuente: Mega Alfalfa Argentina S. A.

La industria del deshidratado y recompactado de heno de alfalfa en formato de megafardo es liderada mundialmente por los países europeos, principalmente España, Francia e Italia, y en menor medida Alemania, Países Bajos y Reino Unido. En el año 2018 operaba en estos países un total de 199 plantas que produjeron 3,2 millones de t de alfalfa deshidratada y forraje verde (Duursema, 2018). En dichos países, la industria se encuentra organizada en asociaciones nacionales, como en España AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Alfalfa Deshidratada); en Italia AIFE (*Associazione Italiana di Forragge Esecati* (Asociación Italiana de Forraje Deshidratado)); y en Francia *Coop de France Déshydratation* (Cooperativa Francesa de Deshidratadores). A su vez, estas asociaciones nacionales se nuclean en la CIDE (*Commission Intersyndicale des Déshydrateurs Européens* (Comisión Inter-Asociaciones de Deshidratado Europeas)), que tiene sede en Bruselas (Bélgica) y que se encarga básicamente de bregar por los intereses del sector ante la Comunidad Europea.

En 2018/19, España generó 1,35 millones de t año⁻¹ de alfalfa, producidas en alrededor de 250.000 ha y procesadas en 69 plantas (Figura 13). El 78 % de esa producción es exportado hacia países árabes y más recientemente también a China, haciendo que sea el principal productor de Europa y el segundo exportador mundial de alfalfa (Agrodigital, 2019). Además, es el mayor proveedor de alfalfa deshidratada en el mundo. Aproximadamente el 78 % de esa producción se canaliza en forma de megafardos o fardos recompactados, mientras que el 22 % restante es comercializado como pellets (AEFA, 2019).

Por su parte, Italia produce unas 800.000 t año⁻¹ de alfalfa deshidratada, obtenidas en cerca de 90.000 ha y procesadas en 48 plantas deshidratadoras, que emplean más de 13.000 personas en todo el país (AIFE, 2019). La planta del grupo Cari, con capacidad de procesar 120.000 t año⁻¹, es la más grande del país. Francia es el tercer productor europeo de alfalfa

deshidratada. Tiene una superficie total cercana a las 300.000 ha, entre alfalfa pura y consociada con otras forrajeras, de las cuales destina al deshidratado cerca de 68.000 ha. Para ello, y dependiendo de la zona de producción, se efectúan de 3 a 5 cortes por temporada, que se preorean al sol por espacio de 24 a 48 h y luego se recogen por medio de recolectoras-picadoras y se llevan a la planta de deshidratado, a las que ingresan con no más del 70 % de materia seca (MS). Francia cuenta con 29 plantas, operadas por 10 cooperativas y dos empresas privadas, que procesan el forraje producido en una radio de menos de 30 km de cada planta. La producción total del país es de alrededor de 700.000 t año⁻¹ de alfalfa deshidratada, de las cuales 440.000 t se comercializan como pellets y 260.000 t como megafardos. En la Tabla 2 se resumen la producción de alfalfa y el número de plantas deshidratadoras de los países europeos nucleados en la CIDE (Duursema, 2018).



■ **Figura 13.** Planta industrializadora de heno de alfalfa perteneciente al Grupo Gaset, que se integra por las empresas Catalana de Farratges d'Ivars d'Urgell y Fagavi de Vila-Sana y que desde 2012 está asociada a la firma emiratí Al Dahra Agriculture Company (AEFA, 2019).

■ **Tabla 2.** Producción de alfalfa deshidratada en los países europeos miembros de la CIDE. Adaptado de Duursema (2018).

País	t año ⁻¹ de alfalfa deshidratada	N.º de plantas deshidratadoras
España	1.350.000	69
Italia	800.000	48
Francia	700.000	29
Alemania	220.000	37
Países Bajos	120.000	6
Reino Unido	31.000	10

En materia de deshidratado de alfalfa, Argentina contaba hasta 2019 con solo dos plantas pertenecientes a empresas privadas: una ubicada en la localidad de San Vicente, provincia de Córdoba, con una capacidad de procesado de 20 t h^{-1} , y otra en la localidad de Fernández, provincia de Santiago del Estero, con capacidad para 25 t h^{-1} . Ambas plantas producen megafardos recompactados con destino a la exportación. Se suman a ellas otras tres empresas que no deshidratan, pero sí recompactan megafardos producidos con secado natural a campo: una que opera en el Parque Industrial de Bahía Blanca (Buenos Aires), otra en Calchín (Córdoba) y una tercera en la localidad de Villa Mercedes (San Luis). No obstante, el futuro en el mediano plazo aparece como promisorio porque existen numerosos proyectos en estudio para instalar plantas de recompactado y deshidratado en otras regiones del país. El principal escollo para su concreción es la alta inversión que se necesita para la instalación de este tipo de emprendimientos.

El proceso de deshidratado y compactado se inicia con la recepción del material en el playón de ingreso y estiba de la planta (Figura 14), separando la materia por niveles de calidad y humedad. Previo al ingreso a planta, los camiones o carros forrajeros, que traen la alfalfa usualmente preoreada en los lotes de producción en el campo, son pesados y muestreados. A continuación, la alfalfa ingresa al horno de secado a través de la boca de recolección y la cinta transportadora (Figura 15). En el horno o tromel de secado (Figura 16), que comúnmente cuentan con palas longitudinales multivoltaje en su interior, el material va rotando lentamente a una temperatura de entre 250 y $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a lo largo de los 3 a 5 minutos que le lleva recorrer toda la extensión del tromel. Esta exposición a corrientes de aire caliente, generado por medio de un quemador (Figura 17), permite al material reducir rápidamente su contenido de humedad a valores de 12 a 14 %. La tendencia en las plantas más modernas, a fin de evitar posibles daños a la alfalfa, es incrementar la duración del secado mediante la utilización de temperaturas de $\leq 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Obviamente, cuanto mayor sea el contenido de humedad de la materia prima, mayor será la temperatura y el tiempo de secado que se necesitarán para alcanzar el nivel de humedad final deseado, lo que a su vez incrementará el consumo de combustible e impactará de manera directa en los costos del sistema.



■ **Figura 14.** Recepción y estiba de alfalfa preoreado en parvas según calidad durante el ingreso a una planta de deshidratado en España. Foto: gentileza AEFA.



■ **Figura 15.** Carga del material en la boca de recepción del tromel de secado. Foto: gentileza de Apisa S. L., España.



■ **Figura 16.** Vista general del proceso de construcción de una planta de deshidratado y recompactado, donde se precia el el tromel de secado (centro) y el quemador (izquierda). Foto: gentileza Apisa S. L., España.



■ **Figura 17.** Quemador de gas conectado al extremo del tromel. Imagen de un modelo de la firma AYPE, España. Foto: gentileza Apisa S. L., España.

Al salir del horno o tromel de deshidratado, la alfalfa ingresa al módulo de decantación de partículas extrañas y separación de polvo (Figura 18). Este paso es importante porque elimina no solo los elementos extraños que hayan podido ingresar al sistema (piedras, metales, insectos, plumas, etc.), sino también los materiales finos (polvo), especialmente tierra.



■ **Figura 18.** Módulo de decantado de partículas (izquierda) y separador de materiales finos y polvo (derecha). Foto: gentileza Apisa S. L., España.



■ **Figura 19.** Túnel de enfriado por donde el material es expuesto a corrientes de aire frío. Foto: gentileza Apisa S.L., España.

Seguidamente, una vez enfriado (Figura 19), el material deshidratado accede al sistema de prensado, donde por acción de un pistón hidráulico es compactado en una cámara de sección variable (Figura 20, izquierda). El techo y las paredes laterales del túnel de compactación están normalmente articulados y son abatibles, con lo que se consigue una gran retención del material. Seguidamente, los megafardos de alfalfa compactada son atados con hilos o sunchos, o bien envueltos con una tela tipo arpillera plástica o con una tela de plástico resistente (Figura 20, derecha). El atado o la envoltura plástica tiene como objetivo principal la sujeción del material en el megafardo. La densidad promedio de los megafardos recompactados se encuentra en torno a los 415 kg m^{-3} y la de los medio megafardos recompactados en torno a los 480 kg m^{-3} .



■ **Figura 20.** Izquierda: modelo de prensa compactadora de heno de la firma Imabe Iberica (España). Foto: gentileza Apisa S. L., España. Derecha: modelo de prensa compactadora fabricado por Hunterwood (Canadá) y envoltura plástica del producto en la planta de la empresa Mega Alfalfa Argentina S. A.

Finalmente, los megafardos o los medio megafardos recompactados son almacenados y estibados en partidas de calidad uniforme para su estacionamiento y posterior comercialización (Figura 21).



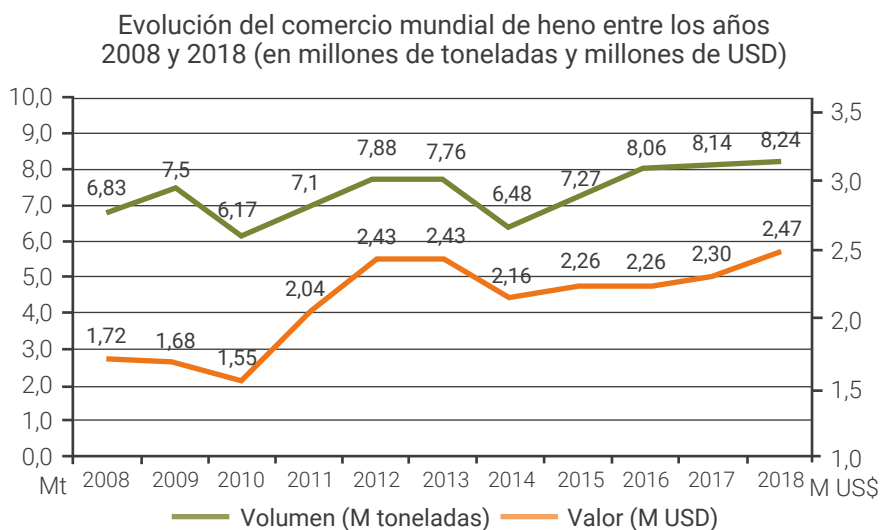
■ **Figura 21.** Estibas de megafardos de alfalfa deshidratada (12 a 14 % de humedad) envueltos con tela plástica listos para su comercialización en la planta de la empresa Mega Alfalfa Argentina S. A. en Fernández, Santiago del Estero.

Comercio mundial de henos

Durante los últimos 20 años, el comercio mundial de henos (alfalfa y gramíneas) ha experimentado una notable expansión, con una tasa promedio de crecimiento entre 2001 y 2016 de 266.000 toneladas métricas

por año ($t \text{ año}^{-1}$) (Putnam *et al.*, 2018). Si bien este incremento resulta de la combinación de varios factores, hay dos sobresalientes: las serias limitaciones en el uso del agua en varios países de Asia y Oriente Medio y el incremento global de la demanda de productos lácteos y de proteínas de origen animal.

El mercado mundial de henos está dominado por la alfalfa, seguido por gramíneas de alta calidad como timote (*Phleum pratense*), pasto Sudán (*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *Drummondii* (Nees ex Steud.) de Wet & Harlan), bermuda (*Cynodon dactylon*) y avena (*Avena sativa*). Según el *International Trade Centre* (ITC, 2018), durante 2018 se comercializaron en el mundo un total de 8,24 millones de t por un valor global cercano a los 3.200 millones de dólares (Figura 22). Los principales proveedores fueron Estados Unidos (4,44 millones de t), Australia (1,14 millones de t), España (0,945 millones de t), Canadá (0,41 millones de t) y Francia (0,25 millones de t). El restante 15 % se conformó por Italia, México, Rumania, Alemania, Países Bajos, Argentina, Alemania, Mongolia y Rumania, entre otros.

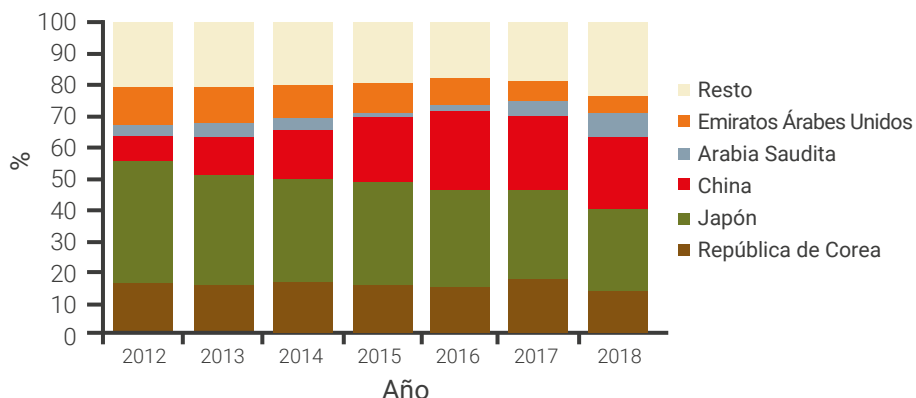


Fuente: Urrets Zavalía - Gilleta en base a datos ITC - International Trade Centre

Figura 22. Evolución del mercado mundial de henos entre los años 2008 y 2018 expresado en millones de toneladas y miles de millones de dólares. Elaborado con datos del *International Trade Centre* (ITC, 2019).

Si se hace referencia solo al mercado de heno de alfalfa, la cifra total comercializada en el mundo rondó los 6 millones de t en 2018, siendo Estados Unidos el principal proveedor (55 %), seguido por España (9 %), Canadá (5 %), Italia (3 %) y Francia (2 %). Por su parte, Argentina solo contribuyó con 1,6 % (97.000 t), por un total de 13,3 millones de dólares. Los mayores importadores fueron Japón, China, Corea, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita, que constituyeron el 84 % de la demanda mundial. Durante los últimos diez años, es notorio el incremento de la demanda por parte de China, Emiratos Árabes y Arabia Saudita, que pasaron de importar cantidades prácticamente insignificantes en 2007 a millones de t en 2018 (Figura 23).

Participación relativa en las importaciones mundiales de heno de fibra larga (%)



Fuente: Urrets Zavalía - Gilleta en base a datos ITC - International Trade Centre

Figura 23. Participación relativa de los principales importadores de heno de alfalfa a nivel mundial entre los años 2012 y 2018. Elaborado con datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018).

En el caso particular de Arabia Saudita, ese crecimiento significativo de las importaciones se explica por una resolución del Consejo Ministerial dictada en diciembre de 2015 y que estableció un plazo de tres años para detener definitivamente el uso de agua de riego para producciones de forraje verde en áreas de más de 50 hectáreas. Por el contrario, la creciente demanda de China (Figura 24) obedece a razones de carácter dietario. En ese país, el aumento del poder adquisitivo de una parte importante de la población, y su consecuente incorporación a la clase media, trajo aparejado una mayor demanda de productos lácteos en su

dieta, lo que aumentó el consumo anual de leche fluida en 170 % en los últimos 15 años.



Fuente: Gilleta - Urrets Zavalía en base a datos ITC - International Trade Centre

■ **Figura 24.** Evolución de las importaciones chinas de heno de alfalfa durante el período 2005-2017. Elaborado con datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018).

Por un lado, respecto de las exportaciones argentinas, haciendo abstracción de su muy escasa participación actual, debe considerarse que el país tiene un enorme potencial para convertirse en un proveedor importante de un mercado que presenta una demanda creciente e insatisfecha. Contribuyen a esta expectativa elementos de orden externo e interno. Entre los primeros, el principal es que no se avizora ningún crecimiento significativo de los volúmenes exportables de los principales países productores, ya que en muchos de ellos –especialmente en Europa– se han alcanzado los máximos niveles de área cultivable de alfalfa. Por otro lado, en Estados Unidos, la superficie de alfalfa viene decreciendo sostenidamente desde hace 40 años –y en especial desde 2008– debido a la competencia que ejercen otros cultivos de mayor rentabilidad o de más fácil producción (Duursema, 2018). Además, la mayor proporción de exportación de heno de alfalfa proviene de los estados del oeste, donde también se registran cuestionamientos al uso de agua para riego de esta producción extensiva que se destina a otras áreas de consumo. Por otra parte, otro hecho importante –si bien de carácter coyuntural– es el conflicto comercial entre Estados Unidos y China, que ha generado una serie de trabas arancelarias desde me-

diados de 2018 y que han impactado en las exportaciones de alfalfa a China; en consecuencia, esta situación generó nuevas oportunidades para otros oferentes, entre ellos Argentina. Además, se advirtió recientemente una tendencia en algunos países compradores para diversificar sus fuentes de importación de heno.

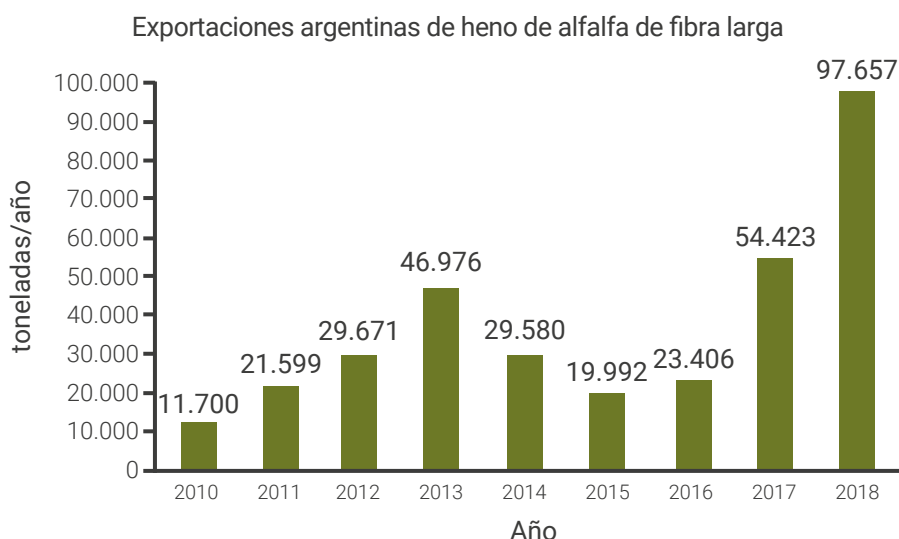
Sin embargo, para concretar el potencial que Argentina tiene para convertirse en un importante proveedor internacional de heno de alfalfa debe no solo aumentar significativamente su producción, sino también –y muy especialmente– alcanzar la necesaria calidad y estabilidad para acceder a los mercados internacionales. En este sentido, la producción estable de heno de calidad es un desafío para muchas áreas de producción, dado que las precipitaciones –a diferencia de los climas de tipo mediterráneo como los de California y España– se concentran durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Por ello, aun en áreas con precipitaciones escasas, es difícil escapar completamente a la influencia negativa de las lluvias durante el proceso de henificación (curado) a campo. La instalación de plantas de deshidratado artificial, como en Europa, puede mejorar la obtención de alta calidad en forma consistente. Otra alternativa es mejorar el nivel de tecnología que se utiliza, de forma de tratar de minimizar estas pérdidas y conseguir una mayor producción de heno de alta calidad.

Exportaciones argentinas de heno de alfalfa

Las exportaciones argentinas de alfalfa han seguido un ritmo errático, ligado fuertemente a las condiciones climáticas de cada temporada. En la Figura 25 se presentan las exportaciones argentinas de heno de alfalfa (megafardos) durante el período 2010-2018 y en la Figura 26 la discriminación del volumen exportado por países de destino. Como se aprecia, en la actualidad, el destino casi excluyente de la alfalfa nacional sigue siendo Medio Oriente, básicamente Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos y, en menor medida, China, Jordania, Bolivia y otros. El mercado chino es aún muy incipiente, si bien tiene un gran potencial en el futuro mediato.

La caída de las exportaciones que se produjo en 2015 y 2016 (Figura 25) se explica por las altas precipitaciones registradas en esos años, lo que

impidió que varios cortes en proceso de henificación pudieran alcanzar la calidad mínima que requiere el mercado internacional. Una forma de obviar esta situación sería la instalación de plantas de deshidratado en varias zonas productivas del país, emprendimiento que requiere de una importante inversión de capital. Debido a esto, y como ya fuera mencionado, hasta 2019 solo había dos plantas de deshidratado en el país. No obstante, es posible que esa situación cambie en los próximos años habida cuenta del creciente interés manifestado por varias empresas para desarrollar proyectos de inversión a fin de obtener la necesaria financiación.

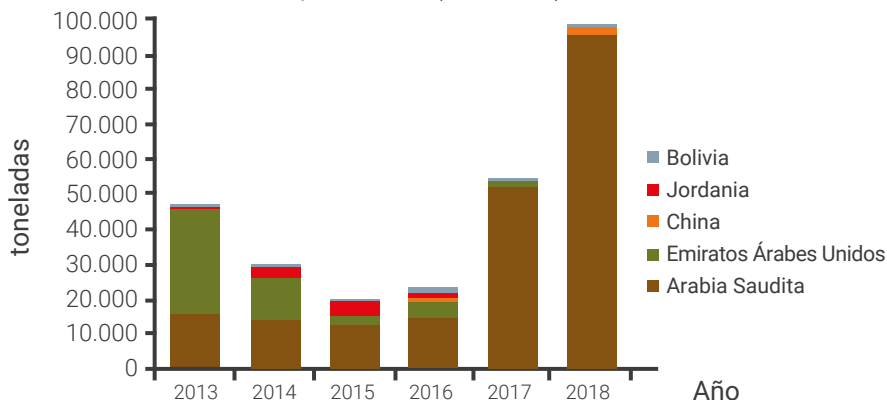


Fuente: Gilleta - Urrets Zavalía en base a datos ITC - International Trade Centre y CAA - Cámara Argentina de la Alfalfa

Figura 25. Evolución de las exportaciones argentinas de heno de alfalfa en forma de megafardos entre los años 2010 y 2018. Elaborado con a datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018) y Cámara Argentina de Alfalfa (Brigante, comunicación personal).

Respecto a las exportaciones argentinas de pellets de alfalfa, el país exportó en 2018 un total de 5.439 toneladas (Figura 27), por un valor de 1.063.000 dólares. Como se aprecia en la Figura 28, el destino de esta producción continúa siendo fundamentalmente Latinoamérica, que totaliza el 97 % de lo exportaciones del país.

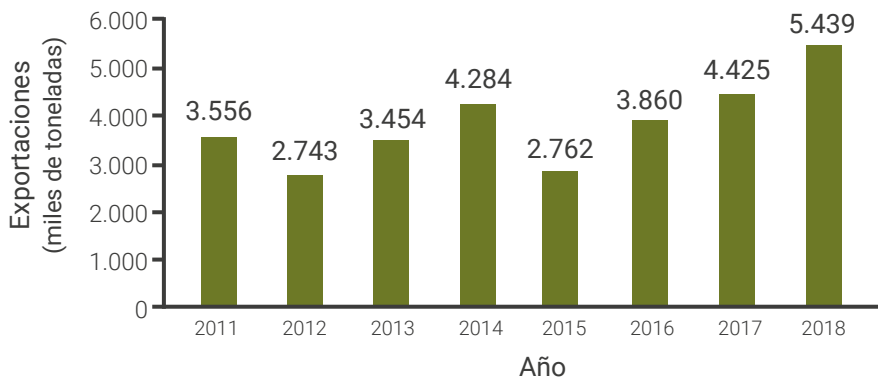
Exportaciones argentinas de heno de alfalfa de fibra larga por destino (toneladas)



Fuente: Urrets Zavalía - Gilleta en base a datos ITC - International Trade Centre y CAA - Cámara Argentina de la Alfalfa

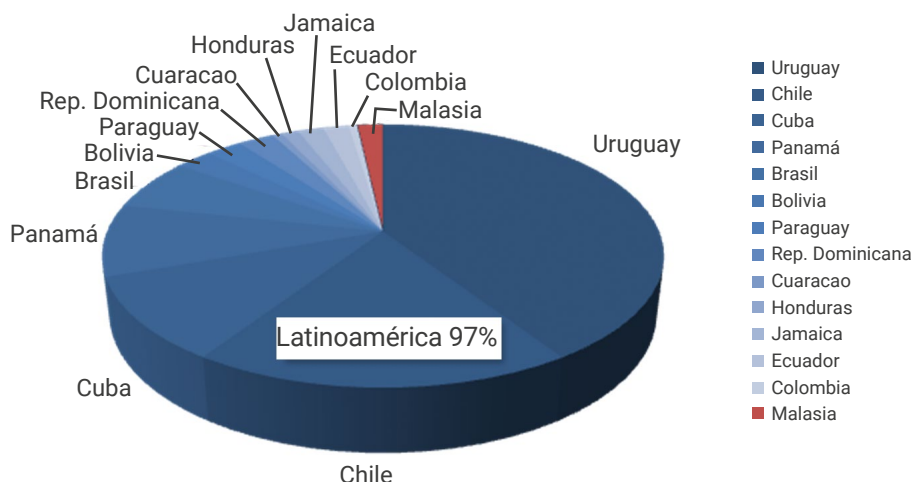
■ **Figura 26.** Evolución de las exportaciones argentinas de megafardos de alfalfa discriminadas por destino entre los años 2013 y 2018. Elaborado con datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018) y Cámara Argentina de Alfalfa (Brigante, comunicación personal).

Exportaciones argentinas de heno de alfalfa en formato de pellets



Fuente: Urrets Zavalía - Gilleta en base a datos ITC - International Trade Centre y CAA - Cámara Argentina de la Alfalfa

■ **Figura 27.** Evolución de las exportaciones argentinas de heno de alfalfa en forma de pellets entre los años 2011 y 2018. Elaborado con a datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018), SENASA (2018) y Cámara Argentina de Alfalfa (Brigante, comunicación personal).



Fuente: Urrets Zavalía - Gilleta en base a datos ITC - International Trade Centre y CAA - Cámara Argentina de la Alfalfa

Figura 28. Destino de las exportaciones argentinas de pellets de alfalfa durante el año 2017. Elaborado con datos del *International Trade Centre* (ITC, 2018), SENASA (2018) y Cámara Argentina de Alfalfa (Brigante, comunicación personal).

Producción de heno de alfalfa en Argentina

Por un lado, se estima que durante 2018 se cortaron en Argentina unas 850.000 ha de alfalfa para la confección de heno, siendo la gran mayoría de esa producción un excedente del uso pastoril y que, como tal, se utilizó principalmente como reserva en el propio establecimiento o se comercializó a poca distancia del predio de origen. En general, la calidad promedio de ese heno es de mediana a baja, fruto de que en el mercado interno la calidad forrajera se evalúa en forma subjetiva a través de criterios organolépticos (color, olor, presencia de hojas, presencia de malezas, etc.) y no a través de parámetros objetivos y analíticos como proteína bruta (PB), fibra (FDA, FDN, lignina), digestibilidad (DIVMS) o valor nutritivo relativo (VNR). En consecuencia, los valores promedio de calidad se ubican en torno al 85 % MS, 16 % PB (rango 13-24 %), 56 % FDN y 58 % DIVMS, bastante lejos de los parámetros de calidad exigidos por el mercado internacional. Se suma a ello que los compradores de rollos o megafardos pagan por peso y no por clasificación analítica de calidad, lo que ha generado que se extendieran una serie de prácticas

de henificación no recomendables, como uso de maquinaria de corte inadecuada, cortes tardíos (que bajan la calidad, pero aumentan el rendimiento de MS), deficiente control de malezas, rastrillado en condiciones de andanas secas y almacenaje inapropiado, entre otras (Figura 29).



■ **Figura 29.** Causas más importantes de pérdida de calidad de los henos argentinos: 1-momento tardío de corte; 2-lotes de alfalfa enmalezadas; 3-corte con hlice desmalezadora; 4-lluvia sobre andanas; 5- rastrillado y confección en condiciones excesivamente secas; y 6- estiba inapropiada en condiciones de intemperie.

Por otro lado, existe un creciente número de empresas que persiguen la producción de heno de alta calidad, tanto para el mercado interno (especialmente tambos y feedlots de gran escala) como para la exportación. Si bien los rendimientos de forraje varían grandemente de acuerdo a las condiciones de suelo y clima, la disponibilidad de agua (lluvia y riego) y el manejo de los lotes en cada región, el factor común de estas empresas es la mejora en el nivel tecnológico de toda la cadena de producción, procesamiento y almacenaje.

La producción de heno de alfalfa como un producto especializado de alta calidad puede hacerse tanto en seco como bajo riego. Las principales zonas productoras de heno en seco son: a) centro-este de Córdoba, donde hay varias empresas que producen megafardos (400 y 800 kg) y pellets y que manejan en conjunto cerca de 33.000 ha con rendimientos de 12-14 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 6 cortes; b) SE de Córdoba, con rendimientos de 18-20 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 7-8 cortes; c) oeste de Buenos Aires, con producciones de 12 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 6 cortes; d) NE de La Pampa, con producciones de 5-7 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 5 cortes; y e) SE de San Luis, con rendimientos de 6-8 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 5-6 cortes.

Bajo riego las principales zonas productoras son: a) Santiago del Estero, especialmente en la cuenca del río Dulce, donde se cultivan cerca de 22.000 ha con variedades de GRI 8-10, con rendimientos medios de 16 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 8-9 cortes; b) Mendoza, donde se trabajan unas 20.000 ha de alfalfa para corte en sus tres "oasis" (norte, centro y sur), siendo la más importante el área sur (San Rafael/Alvear), con unas 16.000 ha; las producciones promedio rondan las 10-12 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 5-6 cortes con cultivares GRI 6-10; c) norte de San Luis, con cerca de 5.000 ha de alfalfa regadas con sistema presurizado (pivote central) en las zonas Quines, Candelaria y Valle de Conlara, donde se alcanzan producciones promedio de 12-14 t MS ha⁻¹ año⁻¹ con 6 cortes de variedades GRI 7-9; d) oeste de Córdoba, en las cercanías de San Vicente, donde una empresa de capitales árabes maneja unas 3.000 ha de alfalfa para la exportación con una de las dos únicas plantas de deshidratado que funcionan hasta el presente en el país; e) Colonia 25 de Mayo (La Pampa), con 2.000 ha de alfalfa de una producción promedio de 10-12 t MS ha⁻¹ año⁻¹ con 4-5 cortes y con variedades GRI 6 a 10; f) Valle Inferior del Río Colorado (zona CORFO), con 16.000 ha de alfalfa (7.000 para producción de semillas y 9.000 para corte y pastoreo) que rinden 8-12 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 3-5 cortes de variedades GRI 6-9; en esta zona, la producción de heno es secundaria a la producción de carne o semillas; g) Río Negro, que en sus distintos valles (Valles Inferior, Medio y Alto del Río Negro y Valle de Conesa) cultiva unas 12.500 ha de alfalfa, con rindes promedio de 8-14 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en 5-6 cortes y variedades GRI 6-9; y h) Valle Inferior del Río Chubut, con 6.000 ha de características similares a la región anterior.

Aunque viene creciendo en el país el uso de sistemas de riego presurizados, que suponen una mayor inversión inicial pero que son mucho más eficientes en el uso del agua, la mayor parte de las regiones del país todavía utiliza los sistemas de riego superficial por surco o inundación, de menor inversión, pero de notoria baja eficiencia. Además, en algunas zonas, la imposibilidad de disponer de agua en cantidad y calidad adecuadas genera rendimientos de forraje por debajo del potencial de producción esperable. Entre otros, la mayor eficiencia de riego es uno de los principales aspectos que deberían corregirse para un crecimiento sostenido de la producción de alfalfa en Argentina.

Tipificación y muestreo de alfalfa

Con el objetivo de generar una tipificación uniforme del heno de alfalfa en el país, tanto para el mercado interno como para la exportación, Urrets Zavalía *et al.* (2018a) propusieron desde INTA Manfredi el sistema categorización que se resume en la Tabla 3 y que está basado en las concentraciones de las distintas fracciones químicas del forraje. Esas categorías se correlacionan también con los caracteres de estimación visual que se presentan en la Tabla 4. La tipificación propuesta para su uso a lo largo de todo el país, toma como modelo las clasificaciones de henos según calidad más utilizadas en Estados Unidos y España, y busca aportar al mercado nacional y de exportación un lenguaje de uso común a la hora de hablar de heno y a la toma conciencia de la importancia de la valoración objetiva de este producto.

Un parámetro que no se incluye en la tipificación, pero que es de fundamental importancia para la estabilidad del heno, es el porcentaje de humedad, y que en los henos destinados a la exportación no debe superar en destino el valor de 14 %. Algunos mercados más estrictos exigen valores de 12 % de humedad.

Para que una muestra de heno de unos pocos gramos exprese el verdadero valor de una partida de alfalfa, es de fundamental importancia que esa muestra tenga la necesaria representatividad. A efectos de dimensionar la importancia del correcto muestreo, basta mencionar que una partida de heno de hasta 100 t debe representarse por una muestra compuesta de 250 a 300 g, de la que –una vez molida– se toman solo unos 2 a 3 g para las determinaciones de laboratorio en química húmeda, o alrededor de 30 g cuando la evaluación es mediante tecnología NIRS (Figura 30).



Figura 30. Submuestra obtenida (izquierda) para conformar una muestra compuesta que represente una partida de megafardos (derecha).

■ **Tabla 3.** Clasificación de henos de alfalfa según parámetros químicos de calidad. Tomado de Urrets Zavalía *et al.* (2018a).

CATEGORÍA	FDA (%)	FDN (%)	VNR	TND (%)	PB (%)
Superior	< 27	< 34	> 185	> 62	> 22
Premium	27-29	34-36	170-185	60,5-62	20-22
Primera	29-32	36-40	150-170	58-60	18-20
Segunda	32-35	40-44	130-150	56-58	16-18
Tercera	> 35	> 44	< 130	< 56	< 16

Referencias: FDA: fibra en detergente ácido, en % base seca; FDN: fibra en detergente neutro, en % base seca. VNR: valor nutritivo relativo del forraje, $VNR = [88,9 - (0,779 \times \%FDA)] \times [(120/\%FDN)]/1,29$; TND: total de nutrientes digestibles, en % base seca, $TND = 82,38 - (0,7515 \times \%FDA)$; PB: proteína bruta, en % base seca.

■ **Tabla 4.** Clasificación de henos de alfalfa para comercialización según parámetros de inspección visual de calidad. Tomado de Urrets Zavalía *et al.* (2018a).

Superior	Estado de madurez muy temprano (hasta pre botón floral), tallos finos y suaves, muy folioso, color verde brillante y sin evidencias de daño.
Premium	Estado de madurez temprano (botón floral), tallos finos, muy folioso, color verde y sin evidencias de daño.
Primera	Estado de madurez temprano (10 % de floración), folioso, tallos finos a medios, sin evidencias de otro daño que no sea una ligera decoloración.
Segunda	Estado de madurez avanzado (> 10 % de floración a 50 % de floración), moderada foliosidad, tallos medios a gruesos. Si se detectara evidencia de daño, describir tipo e intensidad.
Tercera	Estado de madurez tardío (de 50 % de floración a plena floración), con baja foliosidad y presencia de tallos gruesos. Si se detectara evidencia de daño, describir tipo e intensidad.

La muestra extraída no solo debe representar la proporción apropiada de hojas y tallos (fracciones con contenido de nutrientes muy diferente), sino también reflejar la presencia irregular de malezas. En consecuencia, la toma de submuestras debe hacerse con un patrón preestablecido y libre de sesgo. Para ello, Urrets Zavalía *et al.* (2018b) propusieron el siguiente protocolo de muestreo:

1) Identificar partidas. Durante la confección en el campo, marcar comienzo y final de cada partida y almacenar el heno en estibas separadas. Una partida se conforma con todo el material confeccionado con igual tratamiento y en iguales condiciones (Figura 31).



/// **Figura 31.** Identificación y agrupación del heno por partidas en forma permanente.

2) Momento de muestreo. Muestrear el heno tan cerca del momento del suministro a los animales o del punto/momento de venta como sea posible.

3) Sistema de muestreo. Definir previamente el patrón de muestreo, caminando alrededor de la estiba y tomando, por ejemplo, una muestra cada 10 pasos (Figura 32). Nunca elegir muestrear o dejar de lado unidades de heno porque se ven especialmente bien o mal, respectivamente.



/// **Figura 32.** Los puntos y círculos rojos identifican los lugares de toma de muestras en partidas de heno según un modelo de patrón predeterminado.

4) Cantidad y tamaño de muestras. Para partidas de hasta 100 t, tomar 20 submuestras de unidades distintas (fardo, megafardo o rollo) (Figura 33). Con las 20 submuestras generar una muestra compuesta de 250 a 350 g. En lotes con alta variabilidad (condiciones de suelo, presencia irregular de malezas, etc.) se sugiere obtener 35 submuestras por partida.



■ **Figura 33.** Manipulación de las submuestras para la conformación de la muestra compuesta.

5) Herramienta de muestreo. Utilizar un muestreador tipo, de diámetro interno entre 1 y 2 cm y largo entre 30 y 60 cm, con punta filosa y aserrada, que conserve su filo en el tiempo y que no se caliente en exceso durante la operación (Figura 34).



■ **Figura 34.** Distintos tipos de elementos para el muestreo de heno.

6) Técnica de muestreo. En fardos y megafardos muestrear en forma perpendicular a las caras de menor tamaño (las puntas, evitando la cercanía a los bordes) (Figura 35, izquierda). De no ser posible y necesitar muestrear por los laterales o por las caras mayores, hacerlo con una inclinación de 45° con respecto a la superficie. En rollos, insertar el muestreador por la cara curva apuntando hacia el centro del rollo (90° respecto a la tangente) (Figura 35, derecha).



■ **Figura 35.** Forma correcta de insertar el muestreador en megafardos (izquierda) y rollos (derecha).

7) Manejo de las muestras. Empaquetar la muestra compuesta, en doble bolsa plástica y protegerla del calor y de la exposición al sol (Figura 36). Enviar a laboratorio lo antes posible con dos rótulos identificatorios de la partida, uno entre las dos bolsas y otro en el exterior.



■ **Figura 36.** Empaquetado correcto de las muestras para su envío al laboratorio.

Aspectos logísticos en la comercialización de heno de alfalfa

Para que Argentina pueda aumentar significativamente sus exportaciones de alfalfa, además de mejorar aspectos de producción y calidad, deben también resolverse aspectos relacionados con las cuestiones logísticas. En este sentido, de acuerdo con Antuña y Bartel (2017), es importante aclarar dos cuestiones básicas: 1) la logística de la alfalfa va más allá de lo que normalmente se entiende solo como “transporte” o “flete”; y 2) el análisis de la logística debe incluir tres parámetros esenciales: a) la relación peso/volumen de lo que se transporta, que en el caso de la alfalfa es modificable, lo que a su vez impacta sobre los costos; b) las distancias para recorrer y los procesos a seguir; y c) el o los medios de transporte para emplear.

La relación peso/volumen es la cantidad de peso que cabe en un volumen definido, que en este caso puede ser un contenedor, un camión, un vagón de ferrocarril o una barcaza. La alfalfa es un producto que en general tiene una baja relación (<1). Por ejemplo, en un camión de uso corriente (chasis y acoplado), que puede transportar hasta 28 o 30 t de carga máxima, la carga habitual de fardos comunes (20/22 kg) ronda las 16 t. Obviamente, esta baja relación condiciona el precio del todo el proceso. La adopción de los megafardos, sean los usuales de 400-450 kg o los más eficientes de 600 a 720 kg en caso de la megaenfardadoras de doble compactación, si bien planteó necesidades de infraestructura de carga y descarga, mejoró notablemente esa relación peso/volumen.

Sin embargo, esto último también planteó otro problema logístico para resolver: la alta densidad del megafardo requiere un contenido de humedad no mayor al 14 % para evitar el ardidado y dañado del producto. En resumen: en el caso del heno de alfalfa (y de otros henos), la posibilidad de modificar la relación peso/volumen por procesos de recompactación, haciendo que pueda transportarse significativamente más peso por unidad de volumen, contribuye a mejorar la rentabilidad del negocio, tanto más cuanto más lejos esté el destino.

Lo referido a las distancias para recorrer y a los procesos abarca tres tipos de logística: i) interna, que engloba todos los movimientos dentro del proceso productivo desde recoger los fardos o megafardos en el campo –o el heno a granel en el caso de abastecer a una planta deshidratadora– hasta la carga en el medio de transporte hacia el próximo paso; ii) doméstica, que es la que se refiere a la distribución dentro del país; y iii) internacional, obviamente solo en el caso que el heno producido vaya a exportación, lo que incorpora las actividades de consolidación y embarque de la mercadería.

Finalmente, los medios de transporte para emplear se relacionan con el destino de la producción. Si la logística es doméstica, en la mayoría de los casos se pueden usar camiones o ferrocarriles. Mientras que los primeros son los más usados, el transporte por tren implica la existencia de un centro de transferencia de carga desde el camión (proveniente del campo o de la planta de acopio) al vagón del ferrocarril. En este aspecto, si bien se están haciendo esfuerzos para volver operativo el transporte por tren en algunas regiones del país, se debe todavía mejorar notablemente la infraestructura actualmente disponible. En ese contexto, para la gran mayoría de los casos, la única opción por el momento es el uso del camión punto a punto (carga en producción y descarga en el cliente). Si bien el costo de flete por camión es elevado (derivado del precio del combustible y del costo del servicio por limitaciones en el volumen para transportar), tiene al menos la practicidad de incluir una sola operación de carga y otra de descarga. En el caso de la logística internacional, existen cuatro opciones: i) carga en vagones, arribo y consolidación en puerto; ii) envío por tren a origen de contenedores vacíos, consolidación en origen y envío a puerto ya listos para cargar en barco; iii) envío en camiones, arribo y consolidación en puerto; y iv) envío en camiones a

origen de contenedores vacíos, consolidación en origen y envío a puerto (Antuña y Bartel, 2017). En todo esto también intervienen necesidades de equipamiento e infraestructura propias de cada caso. Por último, si bien la enorme mayoría de la exportación de heno se hace a través de barcos, también debe considerarse que en el caso de comercialización a países vecinos –como Brasil, Bolivia y Uruguay– se utilizan camiones.

Una vez definidos los medios de transporte para emplear, se debe realizar un análisis de las cuestiones de operativa logística, que involucran los procesos y los costos asociados. En el caso de la exportación por barco se emplean contenedores, de los cuales los más usuales son los de 40 pies cúbicos (40´), que pueden ser standard (con dimensiones internas 12,03 m de largo x 2,35 m de ancho x 2,39 m de alto, con una capacidad de 67,5 m³ y una carga máxima de 26,48 t) o *high cube* (12,03 m de largo x 2,35 m de ancho x 2,70 m de alto, con una capacidad de 76,2 m³ y una carga máxima de 26,48 t).

La consolidación de la carga, que se puede hacer en origen o en puerto, implica los procedimientos de control aduanero, portuario y sanitario, que a su vez incluyen los movimientos del contenedor, los sitios de depósito, las inspecciones, la carga en el barco y toda la documentación pertinente. La inspección sanitaria (SENASA) es obligatoria y debe realizarse en el mismo acto que la consolidación y verificación aduanera. Todos estos pasos, que tienen sus particularidades y sus costos específicos, deben programarse adecuadamente a efectos proporcionar mayor eficiencia de todo el proceso. Para obtener mayores detalles de todos estos aspectos, en particular para exportaciones desde Santiago del Estero (Argentina), se sugiere consultar el trabajo de Antuña y Bartel (2017).

Futuro de Argentina en la producción y exportación de heno y sus derivados

A diferencia de muchos otros países en el mundo, y como ya fuera señalado, la producción nacional de heno de alfalfa y sus derivados tiene en Argentina grandes posibilidades de expansión (Pasquini Butler, 2010). Contribuyen a esta expectativa no solo la alta demanda internacional insatisfecha y la creciente demanda interna de productos de mayor calidad, sino también la disponibilidad de tierras, las buenas condiciones ambientales en muchas regiones y la existencia de avanzada maquina-

ria de henificación. La adopción de un paquete tecnológico que incluya el buen manejo del cultivo y un correcto proceso de henificación cuidando los puntos críticos de este así como el uso de maquinaria apropiada y la estiba conveniente del producto final serán pilares fundamentales. También contribuirán a la eficiencia del proceso la adopción de un sistema general de tipificación de heno y la disposición de los consumidores para pagar un mayor precio por un producto de mayor calidad.

En este contexto, adquiere una gran trascendencia la creación en 2018 de la Cámara Argentina de la Alfalfa (CAA), que es una entidad civil sin fines de lucro integrada por productores individuales y por empresas de diferentes regiones del país que intervienen en la producción, el procesamiento y la comercialización de heno de alfalfa. La CAA tiene por finalidad la defensa de los intereses profesionales del sector así como la promoción de la investigación y el desarrollo de la industria del heno de alfalfa y sus derivados, en todo lo que se relacione con la producción, elaboración, logística y comercialización interna o externa de dichos productos, tanto directamente como en colaboración con organismos oficiales, mixtos o privados del país o del exterior. Para más información, se sugiere consultar la página oficial de la CAA (2019).

El país deberá también resolver no solo aspectos logísticos, incorporando medios de transporte más baratos y eficientes –como por ejemplo el tren–, sino también mejorando su estructura portuaria, haciendo más eficientes los procesos de control y generando políticas de incentivo a las exportaciones.

La alfalfa en la industria de cosméticos y fármacos

Los compuestos químicos presentes en la alfalfa se pueden dividir en dos grandes grupos: metabolitos primarios y metabolitos secundarios. Mientras que los primeros son imprescindibles para que la planta pueda completar su ciclo normal de crecimiento y desarrollo, los segundos son importantes para la adaptación al ambiente, particularmente confiriendo tolerancia a los factores de estreses bióticos y abióticos (Hiruma-Lima, 2019).

Entre los metabolitos primarios de la alfalfa se encuentran vitaminas (A, B1, B2, B3, B6, B7, B12, C, D, E, K, inositol y ácido fólico), proteínas, aminoácidos (entre otros asparagina, arginina, cisteína, leucina, fenilalanina, metionina, triptofano, valina e histidina), minerales (Ca, K, P, Mg, Fe, Zn, Cu, Al, B, Cr, Co, Mn, Mo, Se, Si, Na, Li y Sn), pigmentos (xantofila, clorofila y antocianinas) y carbohidratos (sacarosa, fructosa y arabinosa) (Bora y Sharma, 2011a; Barnes *et al.*, 2004; Rafinska *et al.*, 2017). Los metabolitos secundarios de la alfalfa incluyen flavonoides y fitoestrógenos (medicarpina, coumestrol, daidzeína, genisteína y otros), fitoesteroides, ácidos (pantoténico, málico, maleico, láurico, palmítico y otros), poliaminas, saponinas y fenoles (Bora y Sharma, 2011a; Barnes *et al.*, 2004; Rafinska *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2013). Todos los componentes mencionados anteriormente se extraen no solo de las hojas, sino también de las flores, las raíces y los brotes.

Esta gran riqueza de componentes beneficiosos confiere al extracto de alfalfa propiedades hidratantes, antioxidantes, antiinflamatorias y bacteriostáticas, haciéndolo muy adecuado para su uso tanto en la industria farmacéutica como de cosméticos. Además, y en consonancia con los requerimientos modernos, se trata de un producto natural y no cancerígeno (Zincã y Vizireanu, 2015).

La alfalfa en la industria de cosméticos

Actualmente, la mayor expectativa de vida en el mundo genera la aspiración de prolongar la juventud, lo que a su vez estimula la búsqueda de nuevos productos para el cuidado personal y el retardo del envejecimiento. Complementariamente, las empresas invierten también en el perfeccionamiento de las técnicas de fabricación, a la vez que se enfatizan los aspectos de sustentabilidad ambiental (Montero *et al.*, 2019).

Si bien el envejecimiento es un proceso inevitable, los productos cosméticos pueden ayudar a retardarlo de manera significativa. El decaimiento de la piel y del cabello resulta de la interacción de factores internos del organismo y de factores externos o ambientales. Entre los primeros, de acuerdo con Shirata y Campos (2016), el principal es la pérdida de estructura de los tejidos, derivada de la reducción o disfunción de melanocitos, queratinocitos, fibroblastos, colágeno y elastina, además de

problemas de renovación celular y de vascularización. Entre los factores externos, el ambiente (radiación ultravioleta, humedad relativa, temperatura, viento, polución, etc.), la nutrición (particularmente deficiencias vitamínicas, proteicas y de microelementos) y la inadecuada actividad física juegan un rol importante en todo este proceso (Marques *et al.*, 2020a).

Por un lado, Leal (2012) concluyó que el estrés oxidativo es uno de los principales factores del envejecimiento, dado que hace que el sistema de defensa antioxidante no sea efectivo en la eliminación de las especies reactivas del oxígeno, lo que a su vez genera un daño oxidativo a nivel molecular. Complementariamente, a esa pérdida de la barrera protectora, el avance de la edad conlleva a una marcada disminución del nivel de hormonas (tiroidea, estrógeno y testosterona), lo que provoca menores concentraciones de colágeno y desecamiento de la piel. Por otro lado, la actividad de los radicales libres interfiere en la producción de melatonina, afectando la cantidad de ácidos grasos y de vitaminas (especialmente de los complejos A y B) y promoviendo la reducción de la cantidad y del espesor del pelo (Audi *et al.*, 2017).

La hidratación es fundamental para prevenir el envejecimiento de la piel y del cabello. El uso de productos cosméticos que contengan, entre otras, sustancias hidratantes, retinoides y antioxidantes, además de aminoácidos, fitohormonas y vitaminas es de gran utilidad para retardar los procesos de decaimiento (Leal, 2012). También es importante el contenido de carotenos y de vitamina E, que previenen el estrés oxidativo y protegen así las membranas celulares de la acción perjudicial de los radicales libres (Chorilli *et al.*, 2007).

Shirata (2016) estableció que el extracto de alfalfa tiene un efecto similar al retinol, dado que estimula la síntesis de colágeno y la actividad celular, inhibe las metaloproteinasas –lo que mantiene el nivel de elastina– y regula la diferenciación de los queratinocitos. Todo esto favorece la hidratación y la elasticidad de la piel, promoviendo así el rejuvenecimiento epidérmico. En Brasil ya se comercializan cremas hidratantes, champús y acondicionadores de cabello a base de extracto de alfalfa (Marques *et al.*, 2020c).

Una forma de aprovechar los efectos benéficos de la alfalfa, tanto para uso farmacológico como para el cuidado personal, es el desarrollo de

los productos denominados “nutricosméticos”, que son suplementos dietéticos con función cosmética (Moraes y Colla, 2006). De acuerdo con Klein (2012), esos productos –que se formulan como líquidos, cápsulas o material picado para infusiones– sirven simultáneamente para mejorar el funcionamiento general del organismo y para retardar el envejecimiento, preservando la sanidad de la piel y del cabello.

La alfalfa en la industria farmacéutica

Existen numerosas menciones al uso medicinal de la alfalfa en distintas partes del mundo, que van desde las creencias populares hasta estudios con fundamentos científicos. Respecto de estos últimos, hay diversos trabajos realizados con cultivos de células o con animales que confirmaron las propiedades de la alfalfa como agente antimicrobiano, antiinflamatorio, antioxidante, antitumoral, estrogénico, antidiabético y reductor del colesterol. No obstante, este gran potencial farmacéutico debe ser ratificado a través de exhaustivos estudios clínicos en humanos que confirmen no solo su eficacia, sino también la seguridad de su uso (Hiruma-Lima, 2019).

Bora y Sharma (2011b) indicaron que el extracto de alfalfa tuvo efectos benéficos no solo como diurético y reductor de cálculos renales, sino también en la prevención de accidentes cerebro-vasculares (ACV) y de algunos tipos de cáncer, en la atenuación de los síntomas de la menopausia y en el tratamiento de enfermedades como arterioesclerosis, diabetes, anemia, artritis, afecciones cardíacas, niveles elevados de colesterol y trastornos digestivos. Otros trabajos (Barnes *et al.*, 2004; Lorenzi y Matos, 2008) resaltan el valor de la alfalfa en la reversión de deficiencias vitamínicas.

Ahmad *et al.* (2013) mencionan que los fitoestrógenos de la alfalfa elevaron los niveles de progesterona en ratas y Rafinska *et al.* (2017) señalaron el potencial de estos compuestos para el tratamiento de tumores originados por desequilibrios hormonales. A su vez, las saponinas fueron identificadas como involucradas en el control del hongo *Candida albicans* (Sadowska *et al.*, 2014) y en la reducción del nivel de colesterol en ratas (Shi *et al.*, 2014). También en ratas, Al-Dorasi (2012) informó sobre el efecto hepatoprotector del extracto de alfalfa y Mar-

tinez *et al.* (2016) señalaron su efecto como depresor de la presión arterial y del nivel de glucemia, lo que indica su uso potencial para el control de la diabetes.

La alfalfa en la alimentación de pequeños animales y mascotas

Por un lado, las propiedades nutricionales de la alfalfa –principalmente por su contenido de proteína, vitaminas, minerales y calidad de fibra– y su alta palatabilidad, la hacen un alimento muy apropiado para conejos y chinchillas, donde una dieta balanceada es fundamental para producir carne y piel de alta calidad, respectivamente. También se la usa como integrante de alimentos balanceados para perros, gatos, peces y pájaros. Por otro lado, debido a su contenido en carotenos, es un alimento apreciado en la industria aviar para dar color a la yema de los huevos. Durante los últimos años, ha crecido igualmente el uso de la alfalfa para la alimentación de mascotas y animales de laboratorio, tanto de pequeños roedores –hámster (varias especies), jerbo (*Meriones unguiculatus*), ratón casero o común (*Mus musculus*) y cobayo o conejillo de la India (*Cavia porcellus*)– como de reptiles (iguanas).

Para cumplir con los objetivos anteriormente mencionados, la alfalfa se presenta en el mercado con una gran diversidad de productos, tales como pellets, extrusados, cubos de alta densidad, heno en rama (15 a 20 cm de largo) o groseramente picado (trozos de 2 a 3 cm de largo), concentrado en polvo y como componente de suplementos y mezcla de granos y semillas (Marques *et al.*, 2020a). La elección de alguna de esas alternativas depende del tipo de animal para alimentar. De acuerdo con Oliveira (2009), para la mayor parte de los casos se prefiere el suministro como heno en rama, cubos de alta densidad, pellets o extrusados, de forma tal que la alfalfa constituya hasta el 50 % de la dieta. Los pellets, además de generar menor desperdicio, permiten reducir la selección por parte del animal que los consume, lo que posibilita un mejor balance nutricional de la ingesta en general.

En roedores la firmeza o dureza adecuada del pellet es de gran importancia, dado que permite el correcto desgaste de los dientes; si fuera excesiva, se podría disminuir significativamente el consumo, lo que afectaría el estado corporal del animal (Tobin, 1996). El extrusado ofrece

un producto menos denso y de mayor porosidad que mejora la digestibilidad, aunque debe cuidarse la temperatura del proceso ya que si fuera excesivamente alta, se podrían dañar las vitaminas y otros compuestos.

En las dietas para conejos se debe respetar una proporción de 13 a 18 % de fibra de buena digestibilidad (Starck, 2011), lo que genera tasas de pasaje y condiciones de fermentación intestinal adecuadas, facilitando el normal funcionamiento del sistema digestivo, y evitando así enteritis y otros trastornos (Oliveira, 2009). En el caso de las chinchillas, también es fundamental la cantidad y la calidad de la fibra ingerida. Para estos animales lo más utilizado es el suministro de alfalfa como heno en rama o como cubos de alta densidad.

Para una información más detallada sobre el uso de la alfalfa en la alimentación de pequeños animales se recomienda consultar Marques *et al.* (2020a).

La alfalfa en la alimentación humana

La forma más común de utilizar la alfalfa para la alimentación humana es el consumo de brotes, que son plántulas de aproximadamente 7-8 días de crecimiento provenientes de la germinación de semillas bajo condiciones adecuadas. Se trata de un alimento sano y natural, producido sin agroquímicos, con una alta concentración de proteínas, vitaminas y minerales y bajo contenido calórico (Vieira y Lopes, 2001). Las vitaminas y los flavonoides le confieren a los brotes una acción antioxidante (Schardong *et al.*, 2013). Su elevado contenido de fibra digestible tiene un efecto benéfico sobre la función intestinal, ayudando a prevenir constipación, meteorismo, cáncer de colon, diabetes y aumento del colesterol, entre otros (Lima, 2008).

La producción de brotes de alfalfa no requiere de grandes inversiones en infraestructura y puede llevarse a cabo en instalaciones sencillas y a lo largo de todo el año. El proceso desde el acondicionamiento de las semillas hasta la cosecha de brotes se completa en poco más de una semana y tiene un rendimiento interesante: 1 kg de semillas puede generar hasta 12 kg de brotes (Vieira, 2016).

Debe partirse de semilla no pildorada (pelleteada) de buen valor cultural, es decir, de alto poder germinativo y buena energía germinativa, sin semillas de malezas ni otras impurezas y libre de tratamientos con curasemillas (sin fungicidas ni insecticidas). Es recomendable utilizar semilla con bajo o nulo porcentaje de semillas duras; caso contrario, podría requerirse de un escurificado a fin de hacer más eficiente la operación. El agua para emplear para la germinación y los riegos posteriores debe ser de buena calidad y todo el proceso de producción debe mantener un estricto control de higiene y seguridad a fin de asegurar la inocuidad del producto final.

Proceso de producción de brotes de alfalfa

Marques *et al.* (2020b) describen con detalle el procedimiento para la producción de brotes de alfalfa, que según Schardong *et al.* (2013) se puede dividir en cuatro etapas:

- 1) Lavado y selección de semillas: las semillas que reúnan las condiciones anteriormente descritas en cuanto a pureza y sanidad son sumergidas en un recipiente con lavandina (hipoclorito de sodio al 10 %) durante 30 minutos. Aquellas semillas que floten en la solución deben eliminarse porque no reúnen las condiciones necesarias de desarrollo.
- 2) Absorción de agua y germinación: las semillas provenientes del paso anterior se sumergen en agua por espacio de 8 horas para que puedan hincharse y así iniciar el proceso de germinación. Seguidamente, las semillas hinchadas son removidas del recipiente de remojo y colocadas en las bandejas de germinación, sobre un tejido de muselina. La temperatura óptima de germinación va desde los 25 a los 30 °C. Las bandejas de germinación, con una inclinación de aproximadamente 20 % para impedir la acumulación de agua, se dejan en un ambiente totalmente oscuro por 48 horas, tiempo en el que son regadas por aspersores unas cuatro veces al día y cuidadosamente mezcladas para uniformar las condiciones de crecimiento en todo momento.
- 3) Crecimiento de las plántulas: las semillas germinadas provenientes del paso anterior son removidas y colocadas en las bandejas de crecimiento, que tienen también una inclinación del 20 % y que son

iluminadas por luz natural indirecta. Durante esta etapa, los riegos se hacen de la misma forma que la descrita anteriormente.

4) Cosecha y embalaje de brotes: los brotes están listos para ser cosechados cuando alcanzan unos 5 cm de longitud. En ese momento son recolectados, pesados y envasados. El envase debe estar lo suficiente seco para no promover el desarrollo de hongos y bacterias que puedan alterar las condiciones naturales del producto. El almacenamiento de los brotes ya envasados debe hacerse en lugares limpios, frescos y secos (Ribeiro, 2019).

Completado el proceso anterior, los brotes están listos para ser comercializados y consumidos. Con referencia a esto último, Marques *et al.* (2020b) señalan que los brotes de alfalfa deben ser consumidos crudos y que pueden servirse en ensaladas, ya sea solos o mezclados con otros brotes o verduras. También puede usarse en sándwiches (usualmente vegetarianos) o acompañando sopas o ensalada de frutas. A fin de no perder sus propiedades, se recomienda que en platos calientes los brotes de alfalfa sean agregados al momento de servirlos. En Brasil también se utilizan en bebidas y jugos naturales.

Alfalfa como alimento funcional y fuente de compuestos bioactivos

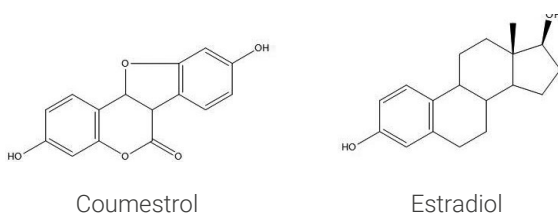
El crecimiento demográfico mundial genera una creciente demanda de proteínas, principalmente de origen animal; no obstante, el alto costo de estas estimula la búsqueda de proteínas más económicas, derivadas de las plantas (Gawel *et al.*, 2017). En este sentido, las proteínas de la hoja de alfalfa han sido reconocidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como fuente potencial de proteínas de excelente calidad para consumo humano. La abundancia y valor nutritivo de estas proteínas constituye una oportunidad para la producción de alimentos funcionales de alto valor nutritivo a partir de la alfalfa (Cortés *et al.*, 2016). La producción de concentrados proteicos de alfalfa para la alimentación humana puede erigirse en una fuente importante de aminoácidos y de otros nutrientes en lugares donde, por razones culturales o económicas, se consume poca o ninguna carne. A estas características ventajosas de la alfalfa deben sumarse

su contenido de ácidos grasos mono o poliinsaturados, vitaminas (B, E, A, K y U), minerales, ácidos orgánicos y fitoestrógenos, entre otros. Además, las hojas de alfalfa también contienen cantidades sustanciales de β -caroteno y clorofila, que favorecen las actividades desintoxicantes y anticancerígenas, especialmente en el tracto digestivo (Gawel *et al.*, 2017). Estudios realizados *in vitro* demostraron actividad antioxidante en aislados hidrolizados de proteína proveniente de las hojas de alfalfa. Sin embargo, a pesar de su alto valor nutritivo, el uso de proteína de hojas de alfalfa en los alimentos es limitado debido a su baja solubilidad y a sus propiedades sensoriales negativas (color, sabor y textura), aunque estos inconvenientes podrían eliminarse a través de procesos de hidrólisis enzimática (Cortés *et al.*, 2016.).

Algunos investigadores (Diplock *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2019) han señalado que ciertos alimentos, además de tener beneficios nutricionales aceptados, se pueden comportar como “alimentos funcionales”, esto es que contribuyen a regular funciones corporales u orgánicas específicas, mejorando así el estado general de salud o reduciendo el riesgo de padecer alguna enfermedad. Para ello, estos alimentos deben permanecer como tales y no en los formatos propios de los fármacos, pudiendo ser tanto un alimento natural, como un alimento al que se le ha añadido un determinado componente o un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes ha sido modificada (Diplock *et al.*, 1999). El uso de brotes de alfalfa en la alimentación humana o de alfalfa fresca o conservada (heno o henolaje) en la alimentación animal puede ser una alternativa para transferir estos compuestos bioactivos (fitoquímicos) a la alimentación humana, sea en forma directa o indirecta, a través de productos pecuarios como leche, carne y sus derivados (Mattioli *et al.*, 2016).

Entre los compuestos bioactivos presentes en las leguminosas se encuentran los fitoestrógenos, un grupo de compuestos no esteroideos que comprende a los isoflavonoides (daidzeína, genisteína, fomonomentina, biochanina A), los cumestanos (coumestrol y metoxycoumestrol), los lignanos (enterodiol y enterolactona) y los flavonoides (naringenina). Mientras que los isoflavonoides se encuentran principalmente en soja (*Glycine max*), trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), trébol rojo (*T. pratense*), trébol blanco (*T. repens*) y alfalfa (aunque en me-

nor proporción), los cumestranos están presentes en las especies del género *Medicago* –tanto anuales como perennes, incluida la alfalfa–, arveja (*Pisum sativum*), habas (*Phaseolus lunatus*) y soja, entre otras leguminosas (Reed, 2016; Křížová *et al.*, 2019). La clase y la cantidad de fitoestrógenos varían de acuerdo con la parte de la planta analizada, la etapa de crecimiento, el cultivar y la ocurrencia de estreses bióticos y abióticos (Seguin *et al.*, 2004; Reed, 2016; Silva *et al.*, 2018). La importancia de estos compuestos reside en su semejanza con la hormona sexual estradiol de los mamíferos (Figura 37).



■ **Figura 37.** Similitud estructural de las moléculas del coumestrol y estradiol.

Numerosas investigaciones (Murkies *et al.*, 1998; Haya *et al.*, 2002; Leyva *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014; Lu *et al.*, 2016; Wink, 2018) concluyeron que las dietas ricas en fitoestrógenos (o extractos de estos compuestos) son beneficiosos para la salud humana porque al competir con los estrógenos naturales pueden actuar como agentes protectores contra el cáncer, prevenir enfermedades cardiovasculares y aliviar los síntomas de la posmenopausia. Diferentes estudios epidemiológicos, especialmente en Japón y otros países asiáticos, sugirieron que las dietas ricas en fitoestrógenos se asociaron con menor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, osteoporosis y algunos tipos de cáncer hormona-dependientes, como los de mama, endometrio, próstata y colon (Murkies *et al.*, 1998; Leyva *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014; . Lu *et al.*, 2016; Wink, 2018). En igual sentido, otros investigadores (Haya *et al.*, 2002; López Luengo, 2010) indicaron que las mujeres asiáticas, que incluyen una alta proporción de fitoestrógenos en sus dietas, presentaron síntomas menopáusicos de menor intensidad que las occidentales.

Un proceso importante en la fisiología humana es la síntesis de equol a partir de daidzeina que, como ya se mencionó, es un fitoestrógeno presente en soja y otras leguminosas. Por un lado, la transformación

de daidzeina en equol se produce por la acción de un grupo específico de bacterias intestinales. El equol, que a diferencia del estradiol es una hormona no esteroide, interviene en la mitigación de los síntomas de la menopausia y en la prevención de la hiperplasia prostática. Mientras que cerca del 50-60 % de los adultos que viven en países asiáticos son capaces de sintetizar en su tracto intestinal equol a partir de la daidzeina, solo el 20-35 % de los occidentales lo puede hacer. Esto implica que hay una gran proporción de la población mundial que depende de la ingesta diaria de equol externo (Kalač, 2013). Por otro lado, hay microorganismos en el rumen de los rumiantes capaces de metabolizar isoflavonoides como la formononetina a daidzeina y luego a equol, la biochanina-A a genisteína y el metoxycoumestrol a coumestrol (COU). Los isoflavonoides biochanina-A y formononetina son considerados de acción menos estrogénica que la genisteína y la daidzeina, debido a que los grupos metoxy no pueden unirse eficientemente a los receptores estrogénicos en el animal; en consecuencia, el COU se posiciona como el más potente de todos los fitoestrógenos. Basado en la potencia de su función estrogénica respecto del estradiol, Dweck (2006) ordena a los fitoestrógenos de la siguiente manera: estradiol >> coumestrol > equol = genisteína > biochanina A > daidzeina > formononetina.

Silva (2019) detectó cantidades constitutivas de COU en plantas de alfalfa, que se incrementaban con ataques del complejo viral del achaparramiento. Moravcová *et al.* (2004) detectaron concentraciones variables de COU en henolaje de alfalfa luego de 150 días de confeccionado. En ese sentido, la alimentación de vacas lecheras con forrajes ricos en fitoestrógenos, para la producción de leche –o sus derivados– con alto poder bioactivo, puede ser muy importante para aquellos consumidores con requerimientos específicos. Desde el punto de vista del mejoramiento genético, conocer la cantidad y la composición de los fitoestrógenos presentes en la alfalfa podría ser de interés para el desarrollo de cultivares con alto contenido fitoestrogénico.

También la biotecnología permite obtener estos compuestos *in vitro* a través de extractos vegetales, cultivo de células vegetales, callos y suspensión celular, proporcionando una plataforma valiosa para la producción de estos metabolitos secundarios de interés comercial. En

alfalfa se lograron producciones de flavonoides e isoflavonoides por medio de cultivo de callos y células en suspensión; estas últimas, en particular, facilitan no solo la homogeneidad de la población celular *in vitro*, sino también una gran disponibilidad de material, una alta tasa de crecimiento celular y una buena reproducibilidad de las condiciones (Amer, 2018). Diversos estudios indicaron que algunas especies de *Medicago* poseen un excelente potencial como fuente de estos compuestos bioactivos (Silva *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014; Barreira *et al.*, 2015; Rafinska *et al.*, 2017).

En la actualidad, procedimientos como la síntesis de nanopartículas combinadas con la producción de metabolitos secundarios a través de callos ofrece nuevas estrategias para mejorar la producción de fitoestrógenos (Amer, 2018). En este sentido, Montero *et al.* (2019) proponen el uso de albúmina de suero bovino como nanopartícula, dado que reduce la degradación del coumestrol y preserva su capacidad antioxidante. Además, la albúmina se presenta como un vehículo prometedor para la administración de fármacos debido a sus múltiples ventajas: tiene una alta estabilidad química, es biocompatible, no es tóxica ni inmunogénica, es biodegradable y posee una mayor capacidad para alcanzar la zona de acción específica, como los tumores. Sin embargo, de acuerdo con Amer (2018), son necesarias más investigaciones para dilucidar completamente los efectos de las nanopartículas en los mecanismos de producción de la síntesis de metabolitos secundarios en plantas para su uso medicinal.

Consideraciones finales

La producción industrial de heno de alfalfa como actividad especializada viene cobrando en el país una creciente importancia. Esto incluye no solo la producción de pellets y cubos sino también la de megafardos, tanto para el mercado interno como para la exportación. En este último aspecto, Argentina tiene un gran potencial para erigirse en un futuro cercano como un proveedor de relevancia en el mercado global de megafardos. Para ello, deben cumplirse dos requisitos fundamentales: 1) incrementar la calidad del heno producido de manera tal que se satisfagan las demandas internacionales; y 2) aumentar de manera

sostenida la cantidad de esa producción de calidad, de forma que el país se convierta en un proveedor confiable. Paralelamente, a efectos de hacer más rentable el negocio, Argentina debe solucionar aspectos logísticos de diversa índole, que abarcan desde el transporte interno hasta la infraestructura portuaria, entre los más importantes.

Por otro lado, el desarrollo de otros usos industriales –como alimentación humana y pequeños animales, farmacéutica, cosmética y bioinsumos– ofrece también un muy interesante potencial. No obstante, en muchos de estos casos es necesario todavía la generación de conocimientos más sólidos y aplicables a una escala industrial.

BIBLIOGRAFÍA

AGRODIGITAL. 2019. *España exporta el 78% de su producción de alfalfa*. (Disponible: <https://www.agrodigital.com/2019/05/27/espana-exporta-el-78-de-su-produccion-de-alfalfa/> consultado: 8/10/2019).

AHMAD, N.; U.R. ZIA; N. AKHTAR; S. ALI; M. AHMAD; I. AHMAD. 2013. *Effects of Medicago sativa on Some Serum Biochemical Metabolites in Rats*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(1): 297-300.

AL-DOSARI, M.S. 2012. *In vitro and in vivo antioxidant activity of alfalfa (Medicago sativa L.) on carbon tetrachloride intoxicated rats*. *The American Journal of Chinese Medicine* 40(4): 779-793.

AMER, A. 2018. *Biotechnology approaches for in vitro production of flavonoids*. *J. Microbial. Biotech. Food Sci.* 7:457-468.

ANTUÑA, J.C.; E.M. BARTEL. 2017. *Estudio de Mercado Internacional de Heno de Alfalfa*. UCAR-INTA, Argentina, 92 p. (inédito).

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE ALFALFA DESHIDRATADA (AEFA). 2019. (Disponible: <https://www.alfalfaspain.es/> consultado: 8/10/2019).

ASSOCIAZIONE ITALIANA FORAGGI ESSICCATI (AIFE). 2019. (Disponible: <https://www.aife.eu/associazione-italiana-foraggi-essiccati/> consultado: 10/10/2019).

AUDI, C.; V.Y. KATAOKA; G.J. DA SILVA; M.Y. TATIKAVA; T. RODRIGUES; B.C. ZYCHAR. 2017. *Desenvolvimento e mecanismo de ação da canície e queda capilar*. *Revista de Iniciação Científica, Saúde e Bem Estar* 6 (5): 2-18.

BARNES, J.; L.A. ANDERSON; D. PHILIPSON. 2004. *Plantas medicinales*. *Pharma Editores*. Barcelona. 63-65 pp.

BARREIRA, J.M.; T. VISNEVSKI-NECRASOV; E. NUNES; S.C. CUNHA; G. PEREIRA; M.P. OLIVEIRA. 2015. *Medicago spp. as potential sources of bioactive isoflavones: Characterization according to phylogenetic and phenologic factors*. *Phytochemistry*. 116: 230-238.

BORA, K.S.; A. SHARMA. 2011a. *Phytochemical and pharmacological potential of Medicago sativa: a review*. *Pharmaceutical Biology* 49 (2): 211-220.

BORA, K.S.; A. SHARMA. 2011b. *Evaluation of antioxidant and cerebroprotective effect of Medicago sativa L. against ischemia and reperfusion insult*. *Evidence-based complementary and alternative medicine*. 9 p.

CÁMARA ARGENTINA DE LA ALFALFA (CAA). 2019. (Disponible: www.alfalfaargentina.com.ar consultado: 10/10/2019).

CHORILLI, M.; G.R. LEONARDI; H.R.N. SALGADO. 2007. *Radicais livres e antioxidantes: conceitos fundamentais para aplicação em formulações farmacêuticas e cosméticas*. *Revista Brasileira de Farmácia* 88 (3): 113-118.

- CORTÉS, A.; J. LEÓN; F. JIMÉNEZ; M. DÍAZ; A. VILLANUEVA; C. GUZMÁN. 2016. *Alimentos funcionales, alfalfa y fitoestrógenos*. *Revista Mutis* 6 (1): 28-40, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1110>
- DWECK, A.C. 2006. *Isoflavones, Phytohormones and Phytosterols*. *J. Appl. Cosmetol.* 24:17-33.
- DIPLOCK, A.; P. AGGETT; M. ASHWELL; F. BORNET; E. FERN; M. ROBERFROID. 1999. *Scientific Concepts in Functional Foods in Europe: Consensus Document*. *Br. J. Nutr.* 81: 1-27.
- DUURSEMA, E. 2018. *Situation of the Alfalfa Dehydration Sector in Europe*. En: *BASIGALUP, D.; M. DEL C. SPADA; A. ODORIZZI; V. AROLFO (ed.). Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, PPT Section*. INTA, Córdoba, Argentina, (Disponible: www.worldalfalfacongress.org consultado: 16/10/2019).
- GARDNER, D.; D.H. PUTNAM. 2018. *Alfalfa situation in USA and Canada*. En: *BASIGALUP, D.; M. DEL C. SPADA; A. ODORIZZI; V. AROLFO (ed.). Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, INTA, Córdoba, Argentina*. 30-33 pp. (Disponible: www.worldalfalfacongress.org consultado: 16/10/2019).
- GAWEL, E.; M. GRZELAK; M. JANYSZEK. 2017. *Lucerne (Medicago sativa L.) in the human diet - Case reports and short communications*. *J. of Herbal Medicine* 10: 8-16.
- HAYA, J.; C. CASTELO-BRANCO; T. PÉREZ-MEDINA. 2002. *Revisión de conjunto Fitoestrógenos: conocimientos básicos y utilidad clínica*. *Toko-Gin Pr.* 61: 337-362.
- HIRUMA-LIMA, C.A. 2019. *Capítulo 20. Alfafa na indústria farmacêutica*. En: *VILELA, D.; R.P. FERREIRA; D.H. BASIGALUP. Manejo da Alfafa: do cultivo aos seus múltiplos usos*. Viçosa, Centro de Produções Técnicas (CPT). 267-276 pp. (en prensa).
- INTERNATIONAL TRADE CENTRE (ITC). 2018. (Disponible: <http://legacy.intracen.org/marketanalysis/argentina/Default.aspx> consultado: 03/10/2019).
- KALAČ, P. 2013. *Fresh and ensiled forages as a source of estrogenic equol in bovine milk: a review*. *Czech J. Anim. Sci.* 58 (7): 296-303.
- KHAN, I.T.; M. BULE; R. ULLAH; M. NADEEM; S. ASIF; K. NIAZ. 2019. *The antioxidant components of milk and their role in processing, ripening, and storage: Functional food*, *Veterinary World* 12(1): 12-33. doi: 10.14202/vetworld 12-3.
- KLEIN, P.N. 2012. *Nutrição na prevenção e no tratamento da celulite. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Estética) – Faculdade Redentor, Instituto Itesa, San Pablo*. 30 p.
- KŘÍŽOVÁ, L.; K. DADÁKOVÁ; J. KAŠPAROVSKÁ; T. KAŠPAROVSKÝ. 2019. *Isoflavones*. *Molecules* 24: 1-28.
- LA VANGUARDIA. 2012. *El grupo forrajero Leridano Gaset se alía con el árabe Al Dahra Agriculture*. (Disponible: <https://www.lavanguardia.com/local/lleida/20120628/54317685930/el-grupo-forrajero-leridano-gaset-se-alia-con-el-arabe-al-dahra-agriculture.html> consultado: 04/10/2019).

- LEYVA, E.; G. NAVARRO-TOVAR; S.E. LOREDO-CARRILLO; M.S. SANTOS DÍAZ. 2011. *Biosíntesis y actividad biológica de fitoestrógenos y fitoesteroides*. *Bol. Soc. Quím. Méx.* 5: 35-43.
- LEAL, R.M. 2012. *Desenvolvimento da linha Maturi de produtos cosméticos para a terceira idade. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia-Bioquímica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 62 p.*
- LIMA, A.L. 2008. *Produção de brotos de fabaceae para o consumo humano. Dissertação Mestrado em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 117 p.*
- LÓPEZ LUENGO, M.T. 2010. *Fitoestrógenos. Eficacia y Seguridad* 29:86-90.
- LORENZI, H.; F.J.A. MATOS. 2008. *Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Instituto Plantarum, Nova Odessa.*
- LU, B.; M. LI; R. YIN. 2016. *Phytochemical Content, Health, Benefits and Toxicology of Common Edible Flowers: A Review (2000–2015)*, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56 (Supp 1:1): 130-148.
- MARQUES, R.O.; H.C. GONÇALVES; P.R. DE LIMA MEIRELLES. 2020a. *Capítulo 17. Alfafa na alimentação de pequenos animais. En: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (ed.). Alfafa: do cultivo aos múltiplos usos. Viçosa, Centro de Produções Técnicas (CPT). 233-244 pp.*
- MARQUES, R.O.; H.C. GONÇALVES; P.R. DE LIMA MEIRELLES. 2020b. *Capítulo 18. Brotos de alfafa para a alimentação humana. En: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (ed.). Alfafa: do cultivo aos múltiplos usos. Viçosa, Centro de Produções Técnicas (CPT). 246-254.*
- MARQUES, R.O.; H.C. GONÇALVES; P.R. DE LIMA MEIRELLES. 2020c. *Capítulo 19. Alfafa na indústria de cosméticos. En: Alfafa: do cultivo aos múltiplos usos. Viçosa, Centro de Produções Técnicas (CPT). 255-263 pp.*
- MARTÍNEZ, R.; G. KAPRAVELOU; J.M. PORRES; A.M. MELESIO; M. LÓPEZ-JURADO. 2016. *Medicago sativa L., a functional food to relieve hypertension and metabolic disorders in a spontaneously hypertensive rat model. Journal of Functional Foods* 26: 470-484.
- MATTIOLI, S.; A. DAL BOSCO; M. MARTINO; S. RUGGERI; O. MARCONI; V. SILEONI; B. FALCINELLI; C. CASTELLINI; P. BENINCASA. 2016. *Alfalfa and flax sprouts supplementation enriches the content of bioactive compounds and lowers the cholesterol in hen egg. J. Funct. Foods* 22: 454-462.
- MIGUEL, L.M. 2011. *Tendências do uso de produtos naturais nas indústrias de cosméticos da França. Revista Geográfica de América Central-Número Especial, Costa Rica. 1-15 pp.*
- MONTERO, G.; F. ARRIAGA; G. GÜNTHERA; S. BOLLO; F. MURAB; E. BERRÍOSC; J. MORALES. 2019. *Phytoestrogen coumestrol: antioxidant capacity and its loading in albumin nanoparticles. International Journal of Pharmaceutics* 562: 86-95.

- MORAES, F.P.; L.M. COLLA. 2006. *Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. Revista Eletrônica de Farmácia* 3 (2): 109-122.
- MORAVCOVÁ, J.; T. KLEINOVÁ; R. LOUČ; I. TYROLOVÁ; M. DUŠEK; M. CE. 2004. *Coumestrol content of alfalfa following ensilage. Anim. Feed Sci. Technol.* 115:159-167.
- MURKIES, L.; G. WILCOX; S.R. DAVIS. 1998. *Clinical review 92: Phytoestrogens. J. Clin. Endocrinol. Metab.* 83: 297-303.
- OLIVEIRA, C.E.A. 2009. *Dietas simplificadas na alimentação de coelhos e seus efeitos na reprodução e produção. Tese (Doutorado em Zootecnia). Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.* 91 p.
- PASQUINI BUTLER, F. 2010. *Industrialización de la alfalfa para exportación: una oportunidad para Argentina. Trabajo de Tesis en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Universidad Privada, Bs. As., Argentina.* 137 p.
- PUTNAM, D.H.; W.A. MATHEWS; T.M. HANON; D.A. SUMMER. 2018. *World trends in alfalfa hay market. En: BASIGALUP, D., M. DEL C. SPADA; A. ODOROZZI; V. AROLFO (ed.). Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, INTA, Córdoba, Argentina.* 136-139 pp. (Disponível: www.worldalfalfacongress.org consultado: 10/09/2019).
- RAFINSKA, K.; P. POMANSTOWSKI; O. WRONA; R. GORECKI; B. BUSZEWSKI. 2017. *Medicago sativa as a source of secondary metabolites for agriculture and pharmaceutical industry. Phytochemistry Letter*, 520-539.
- REED, K.F.M. 2016. *Fertility of Herbivores Consuming Phytoestrogen-containing Medicago and Trifolium species. Agriculture* 6 (35): 1-29.
- RIBEIRO, C.G. 2019. *Produção e consumo de brotos comestíveis. (Disponível: <http://www.cpt.com.br/cursos-agroindustria/artigos/producao-e-consumo-de-brotos-comestiveis> consultado: 08/09/2019).*
- RODRÍGUEZ, F.; I. ALMEIDA; B. SARMENTO; M.H. AMARAL; M.B. OLIVEIRA. 2014. *Study of the isoflavone content of different extracts of Medicago spp. as potential active ingredient. Ind. Crops Prod.* 57: 110-115.
- SADOWSKA, B.; A. BUDZYNSKA; M. WIECKOWSKA-SZAKIEL; M. PASZKIEWICZ; A. STOCHMAL; B. MONIUSZKO-SZAJWAJ; M. KOWALCZYK; B. ROZALSKA. 2014. *New pharmacological properties of Medicago sativa and Saponaria officinalis saponin-rich fractions addressed to Candida albicans. Journal of Medical Microbiology* 63: 1076-1086.
- SCHARDONG, E.; E. CALABRESI; P. ZWICK; T. COLOMBO; V.L.C.A. GONÇALVES. 2013. *Resposta ao potencial de desenvolvimento do broto de alfafa (Medicago sativa L.) com o uso de luz durante o ciclo de crescimento. Revista Mirante* 3(1): 68-74.
- SEGUIN, P.; W. ZHENG; A. SOULEIMANOV. 2004. *Alfalfa Phytoestrogen Content: Impact of Plant Maturity and Herbage Components. J. Agr. Crop Sci.* 190: 211-217.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA DE ARGENTINA (SENASA). 2018. *Estadísticas. (Disponível: <http://www.senasa.gov.ar/estadistica.php> consultado: 16/09/2019).*

SHI, Y.; R. GUO; X. WANG; D. YUAN; S. ZHANG; J. WANG; X. YAN; C. WANG 2014. *The regulation of alfalfa saponin extract on key genes involved in hepatic cholesterol metabolism in hyperlipidemic rats. PLoS One* 9(2):e88282.

SHIRATA, M.M.F. 2016. *Influência dos componentes da formulação cosmética nas propriedades biofísicas e estruturais da pele. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 103 p. DOI: 10.11606/D.60.2016.tde-17062016-162342*

SHIRATA, M.M.F.; P.M.B. CAMPOS. 2016. *Importância do perfil de textura e sensorial no desenvolvimento de formulações cosméticas. Surgical & Cosmetic Dermatology* 8 (3): 223-230.

SILVA, M. 2019. *Producción del fitoestrógeno coumestrol en alfalfa como respuesta a la infección por el complejo viral del achaparramiento. Tesis Doctoral. Doctor en Ciencias Biológicas. FCEFQyN. UNRC. 135 p.*

SILVA, L.R.; M.J. PEREIRA; J. AZEVEDO; R.F. GONÇALVES; P. VALENTÃO; P. GUEDES DE PINHO.; P.B. ANDRADE. 2013. *Glycine max (L.) Merr., Vigna radiata L. and Medicago sativa L. sprouts : A natural source of bioactive compounds. Food Res. Int.* 50, 167-175.

SILVA, M.; S. CHIACCHIERA; E. MAMANÍ; F. GIOLITTI; V. TRUCCO; C. DÍAZ; V. AROLFO; D. BASIGALUP. 2018. *Alfalfa (Medicago sativa L.) coumestrol phytoestrogen content in response to genotypes, cultivar and viral disease. En: BASIGALUP, D.; M. DEL C. SPADAPADA; A. ODORIZZI; V. AROLFO (ed.). Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, INTA, Córdoba, Argentina. 213 p. (Disponível: www.worldalfalfacongress.org consultado: 04/10/2019).*

STARCK, A.S. 2011. *Desempenho e avaliação de carcaça de coelhos submetidos a diferentes manejos alimentares. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Trabalho de Graduação em Zootecnia.*

TOBIN, G. 1996. *Small pets – food types, nutrient requirements and nutritional disorders. En: KELLY, N.C.; J.M. WILLS (Ed.). Manual of companion animal nutrition & feeding. Iowa: BSAVA. 208-225 pp.*

URRETS ZAVALÍA, G.; N.A. JUAN; D.H. BASIGALUP; A. ODORIZZI; V. AROLFO; S. OLIVO. 2018a. *Tipificación de Heno de Alfalfa Argentino. (Disponível: <https://inta.gob.ar/documentos/tipificacion-del-heno-de-alfalfa-argentino> consultado: 11/10/2019).*

URRETS ZAVALÍA, G.; N.A. JUAN; D.H. BASIGALUP; A. ODORIZZI; V. AROLFO; S. OLIVO. 2018b. *Protocolo INTA para Muestreo de Henos. (Disponível: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_protocolo_de_muestreo_de_heno.pdf consultado: 11/10/2019).*

VIEIRA, R.F. 2016. *Produção de brotos comestíveis. (Disponível: <http://www.cpt.com.br/cursos-agroindustria/artigos/producao-de-brotos-comestiveis> consultado: 18/10/2019).*

VIEIRA, R.F.; J.D.S. LOPES. 2001. *Produção de brotos comestíveis: feijão Moyashi, alfafa, trevo, rabanete e brócolis. Viçosa, MG. 108 p.*

WINK, M. 2018. *Plant Secondary Metabolites Modulate Insect Behavior-Steps Toward Addiction?* *Front. Physiol.* 9: 1-9.

ZINCĂ, G.; C. VIZIREANU. 2015. *Crop plants and herbs for the treatment of women disorders: analytical methods for the bioactive compounds: a review.* *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 21(2): 107-115.