

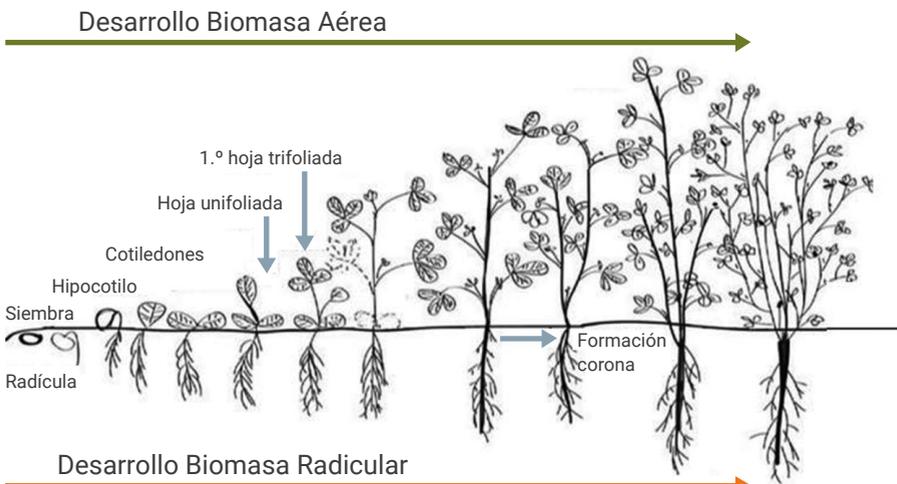
CAPÍTULO 5

Establecimiento de alfalfa:
aspectos ecofisiológicos y agronómicos

Silvia Olivo y Juan Mattera

Fenología del cultivo y respuesta a variables ambientales

La ontogenia de la alfalfa puede ser descrita en dos fases: I) estado de plántula-establecimiento y II) rebrotes (Figura 1). La primera fase es el período que va desde la germinación, la emergencia y el establecimiento del cultivo hasta la primera utilización (Moot *et al.*, 2001; Undersander *et al.*, 2011). La segunda fase comprende los ciclos de crecimiento que ocurren entre el primer y el último corte o defoliación en la vida del cultivo. En este capítulo se tratarán únicamente los factores para considerar en la fase de establecimiento del cultivo, que impactarán a su vez en su productividad y persistencia (Fick *et al.*, 1988).



■ **Figura 1.** Fenología del cultivo de alfalfa. Primera fase del desarrollo: estado de plántula-establecimiento.

Cuando las condiciones de humedad no son limitantes la temperatura es el principal factor que incide en la duración de las fases de desarrollo de la alfalfa (Christian, 1977). Una forma de expresar la relación entre la temperatura y el desarrollo de la planta es a través del cálculo del tiempo termal (TT), también conocido como grados día de crecimiento acumulado ($^{\circ}\text{GDA}$) que se requieren entre dos estados de desarrollo (Arnold y Monteith, 1974). El modelo de cálculo para TT se basa en la sumatoria de la diferencia entre la temperatura media diaria (T_m) y la temperatura base (T_b) por debajo de la cual no hay desarrollo (Ritchie y Nesmith, 1991), lo que se representa en la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo Térmico (TT)} = \sum (\text{Tm} - \text{Tb})$$

El valor de T_b varía según la especie; para alfalfa es de 1 o 5 °C cuando la T_m es menor o mayor a 15 °C, respectivamente (Moot *et al.*, 2000). Para la germinación y la emergencia se considera la temperatura media del suelo a los 2 cm de profundidad. A partir de la primera hoja unifoliada, la temperatura media del aire será la que incidirá en el desarrollo (Teixeira *et al.*, 2011).

Germinación

La semilla de alfalfa, como la mayoría de las semillas forrajeras, es de pequeño diámetro, lo que hace que la energía germinativa sea muy baja. En consecuencia, un establecimiento exitoso comienza con una rápida y pronta emergencia. Asumiendo un adecuado valor cultural de la semilla, la germinación y la emergencia están influenciadas por la temperatura y contenido de humedad del suelo y la concentración de sales (Fick *et al.*, 1988).

En alfalfa, la germinación ocurre cuando las semillas absorben 125 % de su peso en agua, por lo que el contenido de humedad del suelo determinará que el proceso pueda llevarse a cabo en mayor o menor tiempo (Triplett y Tesar, 1960; Undersander *et al.*, 2011). Además, la captura de agua por parte de la semilla será afectada por la concentración de sales en la cama de siembra. La presencia de niveles excesivos de algunos cationes puede resultar tóxica para la planta, afectando procesos metabólicos. Bertram *et al.* (2015), evaluando dos condiciones hídricas (capacidad de campo y seco) y cuatro suelos con diferentes conductividades eléctricas (CE) (0,2, 2,1, 3,9 y 8,7 dS.m⁻¹), que representaban un gradiente de restricciones ambientales, concluyeron que –independientemente de la condición hídrica del suelo– cuando la CE fue $\geq 8,7$ dS m⁻¹ las semillas no germinaron. También estimaron que hasta una concentración de 3,9 dS m⁻¹, por cada unidad de incremento de la CE el porcentaje de germinación se reducía 6 % (rango: 0 a 8,7 dS m⁻¹). Contenidos hídricos cercanos a la capacidad de campo favorecieron la producción de biomasa y altura, mientras que el déficit hídrico genera reducciones de ambas. Relacionado con esto, Allen *et al.* (1985) habían ya informado

durante la germinación diferencias en la tolerancia a la salinidad inducidas por la selección genética.

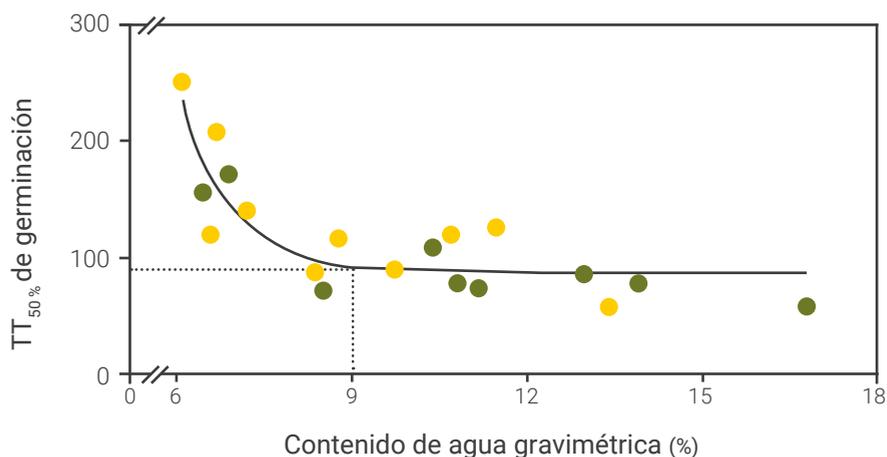
En alfalfa, los valores óptimos de T_m del suelo para la germinación se encuentran en el rango de 18-29 °C (Muller *et al.*, 2007). En ambiente controlado, la T_b se puede considerar cercana a 0 °C. En este sentido, Moot *et al.* (2001) estimaron valores de $T_b = 0,9$ °C, necesitando 40°GDA para que germinara el 75 % de las plántulas. Algo similar fue registrado por Jungers *et al.* (2016), quienes considerando diversos cultivares y situaciones hídricas definieron valores de T_b entre 0,39 y 0,12 °C, lo que hizo que se necesitaran 25-30°GDA para lograr el 50 % de germinación de las semillas. Sin embargo, estos autores argumentan que existe una baja correlación entre los datos obtenidos en laboratorio y lo que sucede a campo. Muller *et al.* (2007), trabajando en condiciones de campo, señalaron que cuando la T_m del suelo fue de 4 °C, el 50 % de las plántulas tardaron 6 días en germinar, mientras que cuando T_m del suelo fue de 18 °C los días requeridos se redujeron a dos. De esto se podría inferir que si se considera una $T_b = 0$ °C, los GDA necesarios para que germine el 50 % de las plántulas serían de 24 a 36°GDA para 4 °C y 18 °C, respectivamente.

Emergencia

La emergencia es el momento en que los cotiledones de la plántula de alfalfa son visibles y se encuentran totalmente desplegados (Figura 1). Este es un proceso fisiológico complejo que depende de la temperatura y del contenido hídrico de la cama de siembra (Watt *et al.*, 2011). Generalmente, temperaturas de 18 a 29 °C serían adecuadas para lograr una rápida emergencia del cultivo (Muller *et al.*, 2007). Además, es importante remarcar que temperaturas menores a -4,4 °C durante cuatro horas incrementan la mortalidad de las plántulas (Undersander *et al.*, 2011).

Ta *et al.* (2016) evaluando diferentes grados de reposo invernal (GRI 2, 5 y 10) señalaron que las plántulas necesitaron en promedio 260°GDA ($T_b = 1$ °C) para alcanzar 50 % de emergencia. Sin embargo, Sim (2014) evaluando dos tipos de suelos, uno con alta y otro con baja capacidad de retención de agua observó que el TT requerido para la emergencia se incrementó exponencialmente de 90 a 250°GDA ($T_b = 1$ °C) cuando el

contenido volumétrico de agua pasó de 9 a 6 % (Figura 2). Esto evidenciaría que cuando el suelo disponga de menor humedad se producirá un incremento en el TT para lograr el 50 % de emergencia de las plántulas. Este autor también señaló que contando a partir de la emergencia la primera hoja unifoliada se produjo en promedio a los 190°GDA ($T_b = 1\text{ }^\circ\text{C}$) y la aparición de la primera hoja trifoliada alrededor de los 170-180°GDA después de la hoja unifoliada.



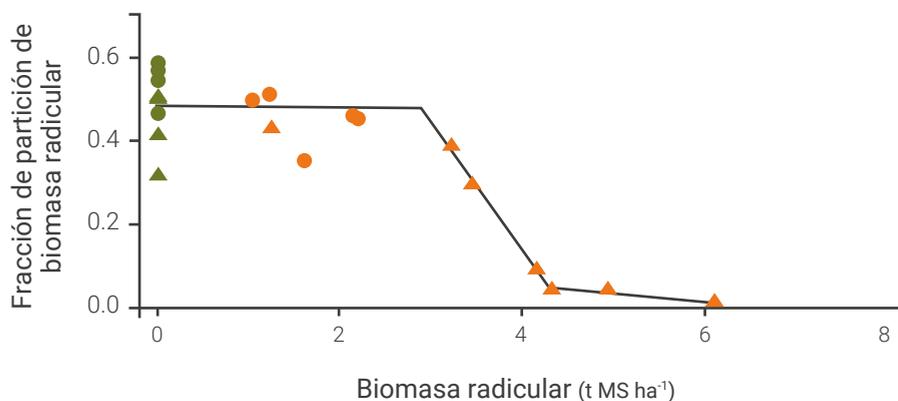
■ **Figura 2.** Tiempo Térmico requerido para alcanzar el 50 % de germinación (TT 50 % de germinación) en relación con el contenido de agua gravimétrica (%) del suelo para un cultivar de alfalfa de GR 5. Canterbury, Nueva Zelanda. Adaptado de Sim (2014).

Establecimiento

Heichel *et al.* (1988) propusieron que el proceso de partición de fotoasimilados supone el transporte de estos (fuente) hacia los diferentes sitios u órganos de utilización (destinos). Por su parte, Cralle (1983) ya había sugerido que los destinos de los fotoasimilados variaban según el estadio de desarrollo del cultivo. Por un lado, durante el establecimiento, la biomasa radicular (raíz + corona) es el principal órgano de destino, existiendo así una prioridad de acumulación de biomasa radicular por sobre la biomasa aérea (hojas + tallos) (Khaiti *et al.*, 1992; Sim, 2014; Teixeira *et al.*, 2011; Thiébeau *et al.*, 2011). Por otro lado, la tasa de crecimiento del cultivo aumentará linealmente cuando la T_m aire es cercana a $30\text{ }^\circ\text{C}$ y disminuirá a cero cuando la T_m es mayor a $40\text{ }^\circ\text{C}$ (Moot *et al.*, 2001).

Relacionado con lo anterior, Sim *et al.* (2015) establecieron que el período de establecimiento del cultivo abarca desde la siembra del cultivo hasta una acumulación promedio de 5 t MS ha⁻¹ de biomasa radicular. También señalaron que la fracción de partición que se envía hacia la raíz varía a lo largo de la fase de establecimiento hasta que el cultivo alcanza las 3 t MS ha⁻¹, la fracción de partición hacia la raíz es cercana a una proporción de 0,5; a partir de allí, comienza a disminuir linealmente hasta alcanzar las 5 t MS ha⁻¹ (Figura 3). Valores similares de partición fueron informados por Khaiti y Lemaire (1992), Thiébeau *et al.* (2011) y Ta *et al.* (2016).

Sim *et al.* (2015) establecieron que el proceso de partición es independiente de la ontogenia del cultivo, es decir, que, dependiendo de las condiciones ambientales del establecimiento, esto es retrasos en la fecha de siembra, condiciones de humedad del suelo y otras situaciones, puede extenderse más allá de la primera defoliación en floración. En este trabajo, los autores concluyeron que en la medida en que se retrasó la fecha de siembra y que disminuyeron las condiciones de capacidad de retención de agua en el suelo, la fase de implantación se incrementó de cuatro a nueve meses, lo que se relacionó con una disminución de rendimiento durante la segunda temporada de crecimiento.



■ **Figura 3.** Fracción de la partición biomasa radicular durante el establecimiento (símbolos verdes) y rebrote (símbolos naranjas) en relación biomasa radicular (t MS ha⁻¹) al inicio del ciclo de crecimiento para un cultivar de alfalfa GR 5, en diferentes fechas de siembra y creciendo en un suelo con bajo, alta (Δ) y baja (O) capacidad de retención de agua. Canterbury, Nueva Zelanda. Adaptado de Sim *et al.* (2015).

Durante el período de establecimiento la producción de biomasa aérea es menor y el cultivo requiere mayor tiempo térmico para florecer que el necesario entre sucesivos rebrotes. De acuerdo con Teixeira *et al.* (2011), ese mayor tiempo térmico para florecer sería explicado, al menos en parte, por la prioridad de los destinos en este momento (raíces), lo que determina una tasa de expansión foliar de un 40 % más lenta y un mayor TT requerido para la aparición de una hoja (filocrono): 47 vs. 35°CDA en el período de establecimiento y en los rebrotes, respectivamente.

Basado en todo lo anterior, se concluye que -como se tratará más adelante- las fechas de siembra realizadas en suelos con menores temperaturas y menores contenidos hídricos impactarán negativamente en el rápido establecimiento del cultivo.

Pautas de manejo agronómico para el establecimiento de alfalfa

El éxito en el establecimiento del cultivo reside principalmente en planificar una adecuada siembra. Una medida disponible para definir el correcto establecimiento de las pasturas es la eficiencia de implantación, que se define como el cociente entre la cantidad de plántulas logradas sobre la cantidad de semillas viables sembradas, estimado después de una cantidad determinada de días desde la siembra, como por ejemplo a los 30, 60 o 90 días. Relevamientos realizados en la región Pampeana evidenciaron valores de eficiencia de implantación a los 90 días de la siembra que oscilaban entre 40 y 50 % (CREA, 2015). Estos valores son considerados bajos, dado que en el mismo trabajo y en el realizado por Odorrizzi *et al.* (2017a) se informan casos en los que la eficiencia rondó el 80 %.

En condiciones normales, el número de plantas de alfalfa irá disminuyendo progresivamente desde la emergencia hasta que el cultivo se establece. Esto se debe, primariamente a la competencia intraespecífica entre las plántulas por luz, agua y nutrientes que genera una mortalidad denso-dependiente y la muerte de las plántulas de menor tamaño (Gosse *et al.*, 1988; Park *et al.*, 2003). Sumado a esto existen también pérdidas de plantas por otros factores tales como enferme-

dades, daño de insectos, inadecuado control de malezas (competencia interespecífica), incorrecto manejo de la defoliación o corte, y otros (Lodge, 1991). Otro aspecto para considerar es que la alfalfa produce compuestos alelopáticos que generan autotoxicidad para la instalación de nuevas plantas de alfalfa en una población (stand) ya establecida (Chon *et al.*, 2006); esta situación torna difícil la resiembra natural en un lote de alfalfa o la intersiembra exitosa de alfalfa sobre alfalfa.

Por estas razones, el logro de un buen stand inicial de plantas es importante a fin de consolidar un cultivo que luego, con prácticas de manejo adecuadas, consiga potenciar la producción de biomasa por unidad de superficie. A continuación se detallarán aspectos de diversas prácticas del manejo agronómico que hacen a la consecución de un adecuado establecimiento del cultivo.

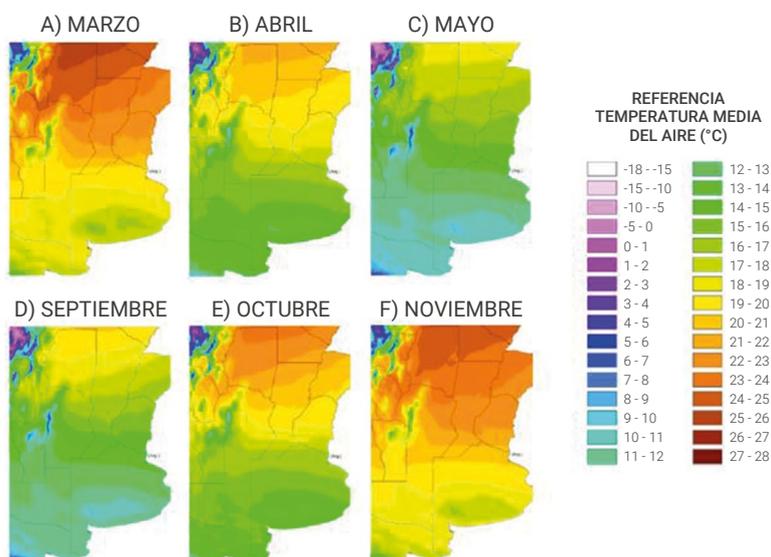
Fecha de siembra

La fecha de siembra óptima será aquella que permita completar el estado de plántula y su posterior establecimiento bajo condiciones de temperatura, humedad y radiación adecuadas.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, la temperatura óptima para la germinación y la emergencia de la alfalfa se encuentra entre 18 y 29 °C (Muller *et al.*, 2007). Luego para el establecimiento, la tasa de crecimiento de la alfalfa aumenta linealmente, cuando la T_m aire es cercana a 30 °C y disminuye a cero cuando la T_m es mayor a 40 °C (Moot *et al.*, 2001). En consecuencia, considerando el promedio mensual de temperaturas del aire en la región central argentina (Figura 4), se concluye que para la mayor parte de la región en el mes de marzo se registran valores por encima de la temperatura óptima. A medida que se avanza en el otoño las temperaturas van disminuyendo hacia valores por debajo del óptimo, especialmente en el sur de la región, lo que puede limitar el desarrollo y el crecimiento de las plántulas (Figura 5) e incrementar la cantidad de días requeridos para alcanzar la suma térmica de cada fase fenológica.

Por lo tanto, la fecha de siembra óptima para la alfalfa en la región Pampeana es el otoño temprano (marzo y abril). En esta época, la temperatura del suelo a los 2 cm de profundidad es relativamente alta, lo

que posibilita que si el nivel de humedad del suelo es adecuado, se logre el necesario desarrollo radicular que permita posteriormente sobrellevar durante el primer verano del cultivo probables condiciones de sequía y de temperaturas elevadas. Para las condiciones de INTA Manfredi, las siembras de mayo y junio implicaron respectivamente reducciones del 30 % y 70 % en el rendimiento de forraje en relación con el obtenido con la siembra de abril (Figura 5). Por el contrario, y asumiendo que las condiciones de humedad lo permitan, hacia el norte de la región Pampeana la fecha de siembra puede demorarse dado que las temperaturas son más elevadas.



■ **Figura 4.** Isotermas mensuales en la región central de la República Argentina para los meses de siembras otoñales de alfalfa: A) marzo, B) abril, y C) mayo; y para los meses de siembras primaverales: D) septiembre, E) octubre y F) noviembre. Adaptado de Bianchi y Cravero (2010).

Por un lado, las siembras de primavera también son viables en Argentina. Sin embargo, en el mes de septiembre la mayor parte de los suelos de la región Pampeana se encuentra por debajo de las temperaturas óptimas y solo a medida que la estación avanza se van alcanzando los valores óptimos. Por otro lado, a medida que el verano se aproxima existen mayores probabilidades de que se produzcan deficiencias hídricas por mayor demanda de evapotranspiración y variabilidad en las precipitaciones, lo que haría exponer las plántulas a un estrés hídrico

durante el establecimiento. Sumado a ello, la presión que ejerce la competencia de las malezas aumenta considerablemente en la primavera dificultando aún más un adecuado establecimiento del cultivo.



■ **Figura 5.** Desarrollo radicular para tres fechas de siembra de un cultivo de alfalfa sin reposo invernal y en condición de secano en un ensayo conducido en INTA Manfredi durante 2019. Las siembras se realizaron en los meses abril (a), mayo (b) y junio (c) y los muestreos de plántulas en el mes de julio, es decir, a los 90, 60 y 30 días desde la siembra. El largo promedio de las raíces fue de 15-20 cm (a), 10 cm (b) y 3-5 cm (c).

A diferencia de lo señalado en el párrafo anterior, hay países como Nueva Zelanda donde las condiciones más favorables para la implantación del cultivo de alfalfa se ubican en la primavera. En esta época se registran temperaturas óptimas y el suelo cuenta con humedad almacenada de las precipitaciones de invierno (Jáuregui *et al.*, 2019). Por lo tanto, las siembras primaverales generan mayores rendimientos del cultivo durante el establecimiento y el primer año (Justes *et al.*, 2002; Moot *et al.*, 2012; Sim *et al.*, 2015; Jáuregui *et al.*, 2019). Sin embargo, Thiebeau *et al.* (2011) en Francia y Sim *et al.* (2015) en Nueva Zelanda mostraron que retrasar la fecha de siembra hacia fines de primavera o verano provoca reducciones del 60 % al 85 % del rendimiento de forraje durante el año de establecimiento, en comparación con las siembras de primavera temprana. Durante el segundo ciclo de crecimiento, estas disminuciones fueron del 20-25 %.

La conclusión de todo lo anterior es que, independientemente de la latitud en que se decida implantar el cultivo, la fecha de siembra óptima será aquella en que las condiciones de humedad, temperatura, radiación y competencia de malezas le permitan establecerse adecuadamente acumulando la biomasa radicular necesaria para lograr un alto rendimiento y una alta persistencia desde el primer ciclo productivo.

Elección del lote y cultivo antecesor

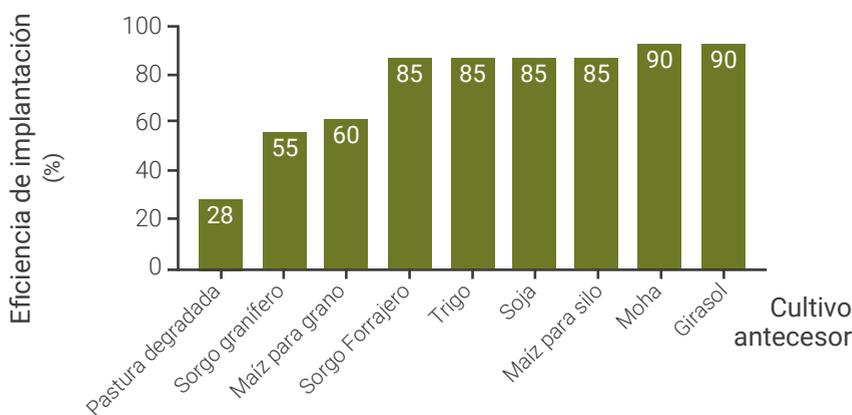
En la elección del lote para sembrar es conveniente evitar aquellos que tengan una elevada población de malezas problemáticas –como por ejemplo cebollín (*Cyperus rotundus*) y gramón (*Cynodon dactylon*)-, al menos hasta que se pueda disminuir la abundancia de estas (Rainero, 2003). En sistemas mixtos que rotan cultivos agrícolas con ganadería se deben tener en consideración los herbicidas aplicados al cultivo agrícola precedente a la siembra de alfalfa, de modo de evitar efectos fitotóxicos que puedan provocar fallas en la implantación de la alfalfa.

El cultivo antecesor es uno de los factores determinantes de la eficiencia de implantación de la alfalfa en siembra directa (SD). Estudios realizados en INTA Rafaela por Fontanetto y Keller (1998) demostraron que los mejores antecesores de la alfalfa en SD son la moha (*Setaria itálica*) y el girasol (*Helianthus annuus*) (Figura 6) que permitieron alcanzar el 90 % de la densidad de plantas en comparación con un testigo implantado sobre suelo laboreado (siembra convencional). También presentaron un buen comportamiento como antecesores los cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*), soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*) para silaje. En general, los antecesores con mejor comportamiento son aquellos que dejan un menor volumen de rastrojo al momento de la siembra de la alfalfa. El maíz y el sorgo para grano por el excesivo volumen de rastrojo que dejan en el lote no serían recomendables como buenos antecesores.

En la Figura 6 se demuestra también que las pasturas degradadas son muy malos antecesores de la alfalfa, no solo por el volumen de rastrojo remanente, sino también por problemas de compactación de suelo, mayor infestación de malezas y posibles efectos de autotoxicidad si la pastura degradada contenía alfalfa. Respecto de esto último, el tiempo que debe transcurrir para evitar los efectos de autotoxicidad varía en función de las condiciones edafoclimáticas, que son las que determinan la tasa de degradación de los compuestos alelopáticos en el suelo. La recomendación más común es hacer descansar el lote con algún otro cultivo por al menos una estación de crecimiento (Chon *et al.*, 2006).

En Pergamino, zona húmeda de la región Pampeana, Bertín *et al.* (2015) compararon en condiciones de secano el efecto de una secuencia intensificada de cultivos antecesores sobre la eficiencia de implantación de

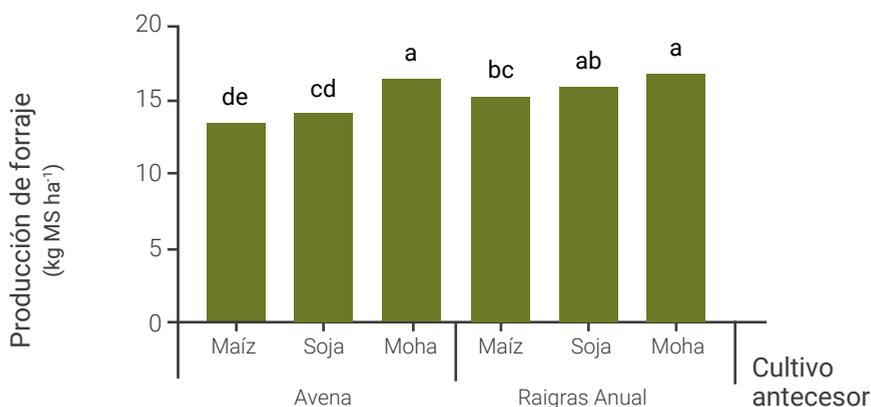
alfalfas sembradas en el otoño siguiente. Las combinaciones de cultivos antecesores fueron verdes de invierno bajo corte [avena (*Avena sativa*) y raigrás anual (*Lolium multiflorum*)] combinados con cultivos de verano para reserva forrajera (moha para heno, maíz para silaje y soja para silaje). El promedio general de eficiencia de implantación se ubicó en torno al 66 %, y si bien no hallaron diferencias ($p > 0,05$) entre las secuencias de antecesores, señalaron que la moha, combinada con cualquiera de los verdes de invierno, tuvo un efecto positivo sobre la producción acumulada de forraje de alfalfa en la primera temporada en comparación con la obtenida con maíz y soja como antecesores (Figura 7).



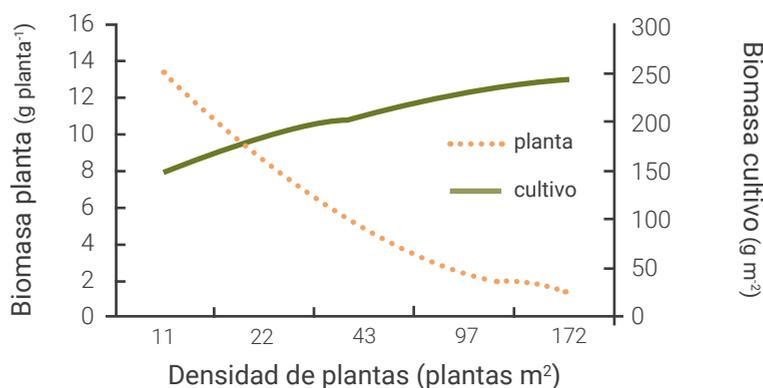
■ **Figura 6.** Eficiencia de implantación (en %) de pasturas de alfalfa en siembra directa según distintos cultivos antecesores en comparación con un testigo implantado en suelo laboreado (siembra convencional) considerado como 100 %. Adaptado de Fontanetto y Keller (1998).

Densidad de siembra

La elección de una densidad de siembra adecuada incidirá en el éxito del objetivo final que es lograr el número de plantas óptimo en el cultivo. Si bien la densidad de siembra impacta sobre el número final de plantas emergidas, y eventualmente logradas, existen compensaciones entre el tamaño y la densidad de las plantas que determinan que las diferencias en el rendimiento de forraje sean generalmente de menor magnitud (Figura 8). Sin embargo, existen niveles de cantidad de plantas por metro cuadrado en los que, aunque el peso individual de cada planta va disminuyendo, aumenta la cantidad de biomasa producida por unidad de superficie (Volenc et al., 1987).



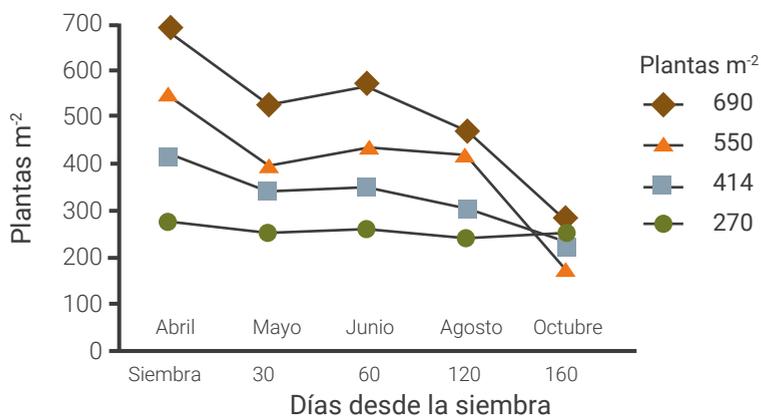
■ **Figura 7.** Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) durante el primer ciclo de producción de alfalfa según la combinación de cultivos antecesores de invierno y verano en una secuencia forrajera. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Adaptado de Bertín *et al.* (2015).



■ **Figura 8.** Biomasa por planta de alfalfa y por unidad de superficie a medida que incrementa la densidad de plantas. Adaptado de Volenec *et al.* (1987).

A partir de la emergencia, y conforme avanza el tiempo, la mortalidad de plántulas por competencia se incrementa en proporción directa a su densidad inicial; sin embargo, esto sucede hasta un punto de cierta estabilidad, que determina valores similares de densidad de plantas en la población independientemente de la densidad de siembra (Figura 9). Para una pastura de alfalfa pura en la región Pampeana húmeda un stand inicial de plantas de alrededor entre 250-350 plantas m² a los 90 días desde la siembra es considerado adecuado para lograr pasturas altamente productivas. Para mezclas de alfalfa y festuca alta (*Festuca*

arundinacea), la densidad objetivo para lograr a los 90 días sería de 200 plantas m^{-2} de alfalfa y alrededor de 120-150 plantas m^{-2} de festuca, dependiendo esto último si se trata del tipo continental o mediterráneo, ya que las primeras tienen una mayor capacidad para ocupar el espacio.

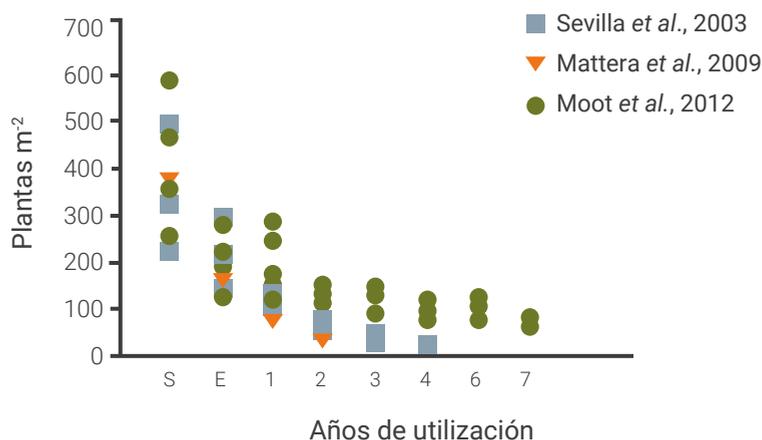


■ **Figura 9.** Evolución de la densidad de plantas (plantas m^{-2}) en un cultivo de alfalfa sin reposo invernal en función a los días desde la siembra (abril) hasta los 160 días (octubre) posteriores. INTA Manfredi, Córdoba. Adaptado de Odorizzi *et al.* (2017a).

Por lo tanto, independientemente de la latitud en la que se decida implantar el cultivo, cuando la alfalfa se siembra en un rango de densidades de 250 a 550 semillas m^{-2} , la cantidad de plantas tiende a estabilizarse al año de implantación y sin diferencias en producción de biomasa. Esto fue corroborado en ensayos conducidos en INTA Hilario Ascasubi, extremo sur la provincia de Buenos Aires bajo condiciones de riego (Sevilla *et al.*, 2003); INTA Pergamino, región Pampeana húmeda (Mattera *et al.*, 2009) y Nueva Zelanda (Moot *et al.*, 2012) (Figura 10). A similares resultados arribaron Romero *et al.* (1991) en INTA Rafaela, región Pampeana húmeda, y Juan y Romero (1993) en INTA Anguil, región Pampeana semiárida. Por estas razones, densidades muy elevadas conllevan por lo general a incrementar el costo de la semilla, pero no necesariamente a una mayor densidad de plantas finalmente establecidas.

La relación entre los $kg\ ha^{-1}$ de semillas sembradas y la cantidad de plantas logradas no siempre es la misma. Los aspectos que la modifican son las características propias de las semillas, es decir, el poder germinativo, la pureza y el peso de mil semillas. Si bien se recomienda, como

ya se ha señalado, la utilización de semilla peleteada o pildorada –que incluya inoculante, fungicida e insecticida–, es importante considerar que el peleteado incrementa el peso de mil semillas con resultados variables conforme a cómo se haya hecho el proceso. En consecuencia, se hace necesario tener en cuenta este hecho para calcular la correcta densidad para sembrar.



■ **Figura 10.** Evolución de la densidad de plantas (plantas m²) de alfalfa desde la siembra (S), establecimiento (E) y años de utilización del cultivo (1 a 7) para diferentes grados de reposo y en tres ambientes diferentes: Hilario Ascasubi (Sevilla et al., 2003), Rafaela (Mattera et al., 2009) y Nueva Zelanda (Moot et al., 2012).

Un uso recomendable de la técnica del peleteado supone incrementos de no más del 30 al 40 % del peso de las mil semillas; sin embargo, no pocas semillas comerciales superan significativamente ese valor, lo que puede ocasionar una densidad de siembra efectiva demasiado baja, con la consiguiente reducción de la producción de forraje (Odorizzi et al., 2017b). En 2005, Maddaloni y Ferrari (2001) estimaron un peso promedio mil semillas de alfalfa sin peletear (semilla desnuda) de 2,2 g. Más recientemente, Lus et al. (2017) informaron valores algo mayores, con una media de 2,35 g y un rango de 1,8 g a 3,0 g. Un ensayo conducido en INTA Rafaela detectó mayor producción de forraje ($p < 0,05$) en las parcelas sembradas con semillas peletadas, independientemente del sistema de siembra utilizado. En dicho ensayo, se utilizó una densidad (kg de semilla ha⁻¹) fija para todos los tratamientos, lo que determinó un mayor número inicial de plántulas en las parcelas sembradas con semilla sin peletear; sin embargo, a lo largo del período de estableci-

miento, las parcelas sembradas con semilla peleteada tuvieron no solo un mayor número de plantas establecidas al momento del primer corte, sino también que estas eran más vigorosas y de mayor tamaño, lo que se vio reflejado en una mayor producción de forraje.

Según las normas establecidas por el INASE, la semilla fiscalizada de categoría certificada debe tener un poder germinativo (PG) mínimo de 85 % y una pureza mínima de 98,5 %. Basado en los valores de PG y pureza, se puede calcular el valor cultural (VC) según la siguiente ecuación:

$$\text{Valor Cultural (VC)} = \frac{(\text{Pureza} * \text{Poder Germinativo})}{100}$$

De esta manera, la densidad de siembra (kg de semilla ha⁻¹) se puede estimar como:

$$\text{kg de semillas ha}^{-1} = \frac{\text{Plantas m}^2 * \text{Peso de mil semillas (g)}}{\text{Valor Cultural}}$$

Por un lado, el valor estimado se deberá ajustar por el porcentaje de incremento de peso por peleteo y por la eficiencia de implantación esperada. De este modo quedarían establecidos los kg de semilla para utilizar efectivamente para la siembra de la pastura. Por otra parte, no debe perderse de vista que si la cama de siembra no está en óptimas condiciones, habrá que considerar también una reducción en la eficiencia de implantación, que puede ser del orden del 45-50 %, generando en consecuencia un aumento de los kg de semilla ha⁻¹ para sembrar.

Para ilustrar lo anterior, se ofrece el siguiente ejemplo: si a los 90-120 días de la siembra se espera contar con 300 plantas m⁻² y se asume una eficiencia de implantación del 45 %, en el momento de la siembra deberíamos contar con 435 semillas m⁻².

$$\begin{aligned} & 300 \text{ plantas m}^2 + (300 \text{ plantas m}^2 * 45 \% \text{ eficiencia de implantación}): \\ & (300 \text{ plantas m}^2 + 135 \text{ plantas m}^2) = 435 \text{ plantas m}^2 \end{aligned}$$

Si se asume un peso de 1000 semillas de 2,35 g de semilla desnuda con un VC de la semilla de 84,15= (85 x 99) /100 los kilogramos a sembrar serán:

$$435 \text{ plantas m}^{-2} * 2,35 \text{ g} / 84,5 = 12 \text{ kg semilla ha}^{-1}$$

Si se asume un incremento de peso por peleteo del 30%, entonces los kg de semilla para sembrar serán:

$$12 \text{ kg semillas ha}^{-1} + (12 \text{ kg semillas ha}^{-1} * 30\% \text{ peleteo}) = \\ (12 \text{ kg semillas ha}^{-1} + 3,6 \text{ kg semillas ha}^{-1}) = 15,6 \approx 16 \text{ kg semilla ha}^{-1}$$

Por lo tanto, para las condiciones de semilla definidas en el ejemplo (VC, peso de 1000 semillas e incremento de peso por peleteo), si a los 90-120 días de la siembra se espera contar con 300 plantas m⁻², se deberán sembrar 16 kg de semilla ha⁻¹.

Sistemas de siembra y operación de siembra

En los últimos años se ha observado con mayor frecuencia la utilización de la siembra directa de pasturas de alfalfa (Figura 11). En este sentido, se han realizado ensayos en unidades del INTA donde se compararon diferentes sistemas de siembra y tratamientos de semilla. En INTA Rafaela, Romero *et al.* (2008) no detectaron diferencias ($p > 0,05$) entre siembra convencional y siembra directa (Figura 12a). Por el contrario, en INTA Pergamino, Moreno *et al.* (2015) constataron una mayor cantidad de plantas en siembra directa, si bien observaron un menor desarrollo radicular bajo este sistema.

En cuanto al tratamiento de la semilla, se aconseja la utilización de semilla peleteada (pildorada) que no solo esté inoculada con rizobios activos, sino que incluya también un fungicida y un insecticida. Esta tecnología mejora la eficiencia de implantación, es decir, posibilita el logro de un mayor número de plantas establecidas en relación con el número de semillas sembradas. El uso de semilla tratada determinó una mayor producción de alfalfa, independientemente del sistema de labranza utilizado (Figura 12b).



Figura 11. Emergencia de plántulas de alfalfa en sistema de siembra directa (imagen izquierda) y en un sistema laboreado (imagen derecha).

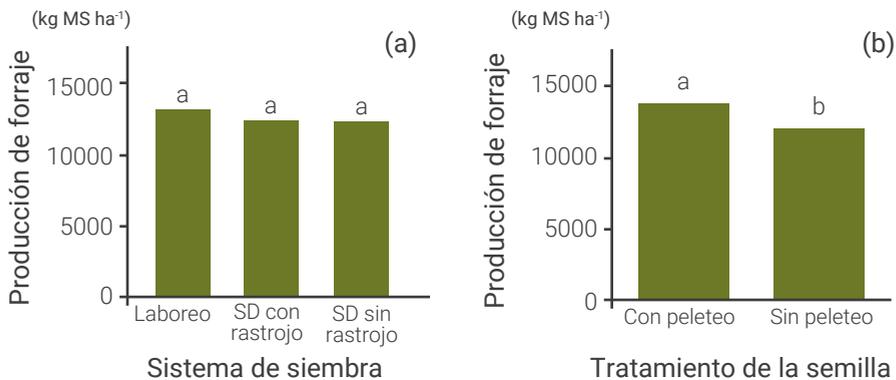


Figura 12. Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) de una pastura de alfalfa durante su primer ciclo de producción según A: sistema de siembra: Laboreado, Siembra Directa (SD) con y sin rastrojo; y B: tratamiento de la semilla: con y sin peleteo. INTA Rafaela (Santa Fe). Letras diferentes indican diferencias significativas test de Tukey ($p < 0,05$) Adaptado de Romero *et al.* (2008).

La cama de siembra óptima es la que permite un buen contacto del suelo con la semilla, con condiciones de humedad, temperatura, radiación y disponibilidad de nutrientes adecuados para el desarrollo y crecimiento inicial de las plántulas. Además del nivel de cobertura antes mencionado, es importante que independientemente del sistema de siembra se logre una cama firme pero no compactada, evitando condiciones que puedan propiciar el planchado del suelo; de no ser así, la emergencia se verá afectada negativamente.

Los equipos de siembra utilizados para la implantación de pasturas de alfalfa son usualmente sembradoras de grano fino. El uso de “cajón alfalfero”, con dosificadores del tipo de rodillos acanalados, es efectivo para la alfalfa y otras leguminosas de semillas pequeñas porque permite una más eficiente dosificación de la densidad de siembra. Es importante que los tubos de bajada desde el cajón alfalfero a los trenes de siembra no tengan pliegues en su interior, dado que allí se pueden acumular semillas que podrían generar irregularidades en su bajada y distribución (Ferrari, 2014).

En equipos de siembra directa, la cuchilla del tren sembrador deberá hacer una buena microlabranza, cortando el rastrojo y facilitando el contacto del suelo con la semilla en la hilera de siembra; para ello, no deberá trabajar por debajo de 1 cm de la profundidad de siembra. En esto último, el abresurco bidisco es el más apropiado ya que permite un mayor control de la profundidad de siembra (1-1,5 cm), aspecto clave para lograr una emergencia uniforme y rápida de las pasturas de alfalfa (Ferrari, 2014).

Profundidad de siembra

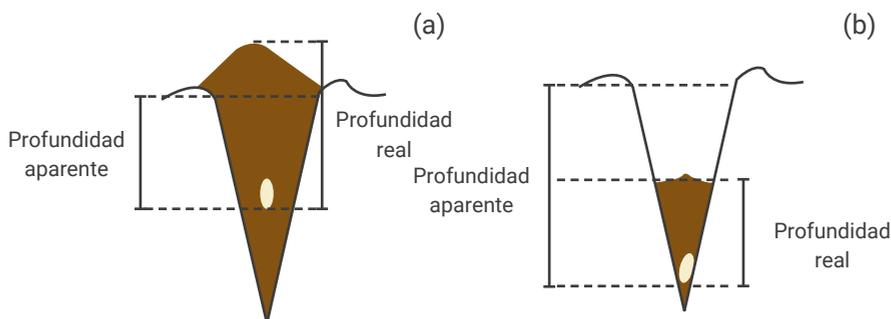
Como ya se ha señalado, el pequeño tamaño de la semilla de alfalfa hace que tenga una muy baja energía germinativa, de manera que el éxito de una buena siembra es hacer que la semilla germine y emerja rápidamente. En este sentido, la semilla debe ser depositada a una escasa profundidad, normalmente entre 1 y 1,5 cm. Sin embargo, esas profundidades podrán variar en función de la humedad de la cama de siembra y del tipo, compactación y cobertura del suelo (Ferrari, 2014). Triplet y Tesar (1960) y Muller *et al.* (2007) determinaron que en suelos franco-limosos y arenosos, con una profundidad de siembra de 0,60 a 1,3 cm se logró una eficiencia de emergencia del 60 %. Esto coincide con lo señalado por Putnam y Orloff (2003), quienes también mostraron cómo disminuye el porcentaje de emergencia de plántulas a medida que se incrementa la profundidad de siembra (Figura 13).

Bajo condiciones de humedad adecuada, la semilla puede depositarse a una menor profundidad aparente para que luego al ser cubierta por las ruedas tapadoras alcance una correcta profundidad real (Figura 14a).

Frente a situaciones donde la humedad superficial del suelo es baja, una alternativa es retirar las ruedas tapadoras de la sembradora y utilizar las ruedas “aprieta-semillas” o afirmador de semillas tipo “Keeton”. De esta manera, se logrará hacer un surco profundo (surco aparente) para poder ubicar la semilla en una zona con mejor nivel de humedad (Figura 14b). La profundidad real quedará definida por la tierra que se desmorona por encima de la semilla. El íntimo contacto de la semilla con el suelo se consigue por la presión que ejerce la rueda “aprieta-semillas o colita de castor” (Capelle, 2013).



■ **Figura 13.** Efecto de la profundidad de siembra (en cm) sobre el porcentaje de emergencia de plántulas de alfalfa a partir de semilla sembrada en un suelo sin cobertura. Adaptado de Putnam y Orloff (2003).



■ **Figura 14.** Profundidad de siembra y tapado de la semilla. (a) Siembra con adecuada humedad superficial: semilla colocada a menor profundidad aparente y cubierta por las ruedas tapadoras; (b) Siembra con adecuada humedad superficial: siembra con escasa humedad superficial: semilla colocada a mayor profundidad aparente en contacto con la humedad del suelo, con las ruedas tapadoras de la sembradora retiradas.

Arreglos espaciales de siembra

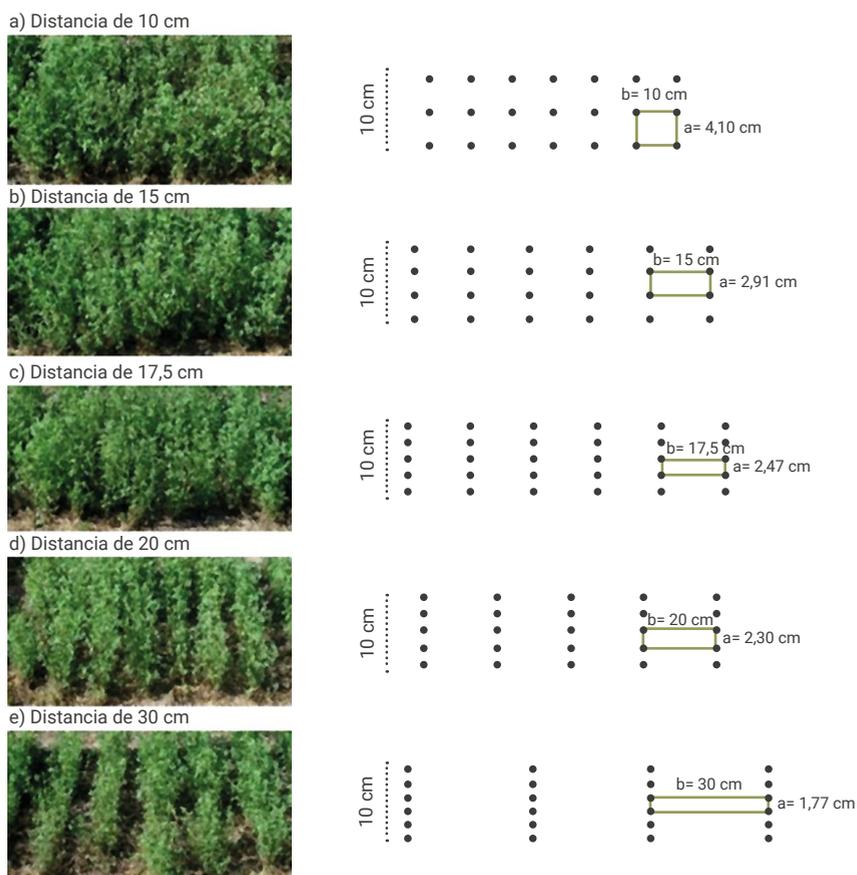
El concepto de arreglo espacial responde a la disposición de las plantas en la superficie y se logra generando modificaciones en el distanciamien-

to entre líneas o cambiando la disposición de esas líneas en el terreno (Gardner *et al.*, 1985; Praat, 1995; Thom, 1993). En este sentido, a igual densidad de siembra, acercar la distancia entre hileras implicaría una mayor distancia entre plantas dentro de la hilera (Figura 15) generando así una distribución más equidistante de las plantas en el terreno (Gardner *et al.*, 1985; Park *et al.*, 2003; Heitholt y Sassenrath-Cole, 2009; Connor *et al.*, 2011; Mattera *et al.*, 2013) y disminuyendo la competencia intraespecífica entre las plantas por luz, agua y nutrientes (Park *et al.*, 2003).

Una serie de ensayos realizados en INTA Rafaela han dado cuenta de mejores resultados cuando las hileras de siembra se encuentran más próximas, habiéndose registrado los más altos rendimientos de forraje cuando la distancia fue 15 cm entre hileras; por el contrario, cuando las distancias fueron ≥ 20 cm, los rendimientos disminuyeron (Mattera *et al.*, 2013; Mattera *et al.*, 2009). En este sentido, siembra a 20 cm generó una disminución del rendimiento del 20 % (Figura 16). Los mayores rendimientos que se obtuvieron con las menores distancias entre hileras se explicaron principalmente por un mejor aprovechamiento de la radiación disponible en el ambiente, asociado a la mejor distribución de las plantas.

Los efectos del distanciamiento entre hileras sobre el rendimiento de forraje también están influenciados por el ambiente. Por un lado, en ensayos conducidos en INTA Rafaela (Mattera *et al.*, 2013; Mattera *et al.*, 2009), zona húmeda al N de la región Pampeana, las diferencias en producción se concentraron más notoriamente en el período primavera-verano, es decir, en las épocas con mayores tasas de crecimiento. Por otro lado, en ensayos realizados en INTA Balcarce (Colabelli *et al.*, 2002; Olivo *et al.*, 2019), zona subhúmeda al S de la región Pampeana, solo se registraron diferencias ($p < 0,05$) en el primer corte. En esta última localidad, Olivo (2018) comparó la evolución de la producción de biomasa aérea de parcelas de alfalfa sembradas a 10 y a 20 cm entre hileras (Figura 17) y registró más de un 50 % de rendimiento en favor del menor distanciamiento; en particular, se destaca el crecimiento obtenido con 370°GDA –correspondiente a primavera temprana– que se produjo con temperaturas medias diarias entre 10 y 15 °C, que son consideradas subóptimas para el crecimiento de alfalfa (Christian, 1977; Collino *et al.*, 2005). Este crecimiento se explicó por una mayor captura

de radiación, índice de área foliar y número y peso de tallos. En ese marco, sugirió que la siembra en hileras paralelas a 10 cm podría ser una vía efectiva para incrementar la producción de forraje, particularmente en períodos o sitios en los cuales la alfalfa crece bajo un rango de temperaturas subóptimas, situación bastante frecuente durante los meses de otoño-invierno e inicio de primavera en zonas más australes de la región Pampeana.



■ **Figura 15.** Izquierda: imágenes de los canopeos generados con diferentes distancias entre hileras de alfalfa (10, 15, 17,5, 20 y 30 cm). Derecha: esquemas de los arreglos espaciales de las plantas dentro de las hileras que resultan de los distintos distanciamientos entre hileras (a= separación entre plantas dentro de la hilera; b= separación entre hileras). Las fotos corresponden al comienzo de la primera primavera (septiembre) en un ensayo en INTA Rafaela. Adaptado de Mattera *et al.* (2013).

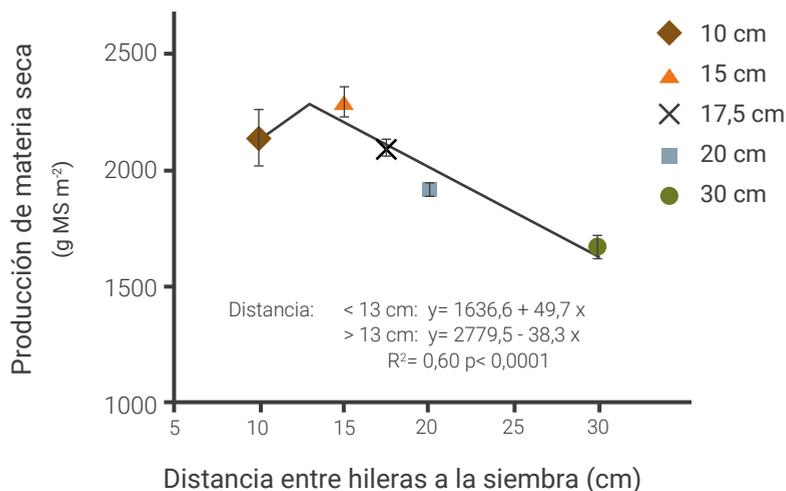


Figura 16. Producción de biomasa aérea total acumulada (suma de seis cortes) de cultivos puros de alfalfa (cultivar Monarca) en función de la distancia de siembra durante la primera temporada de producción en INTA Rafaela. Los valores de producción corresponden al promedio de cinco repeticiones \pm error estándar. Adaptado de Mattera *et al.* (2013).

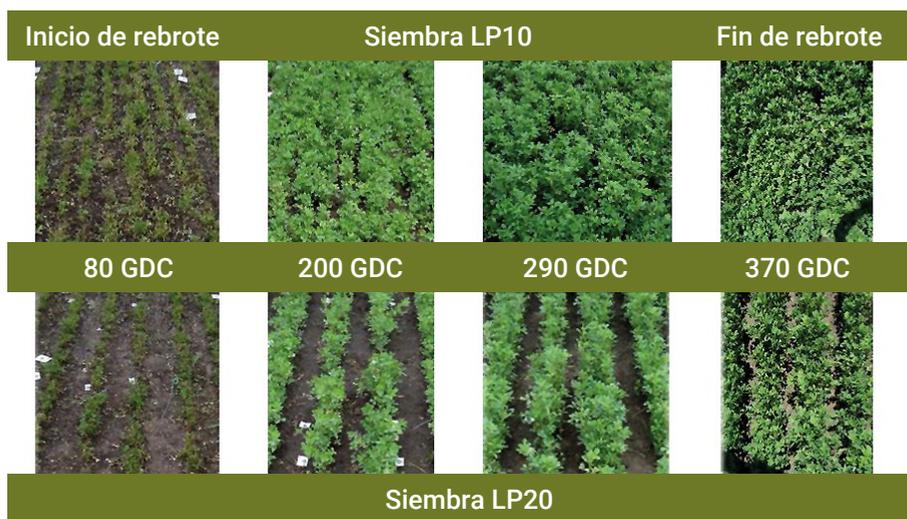
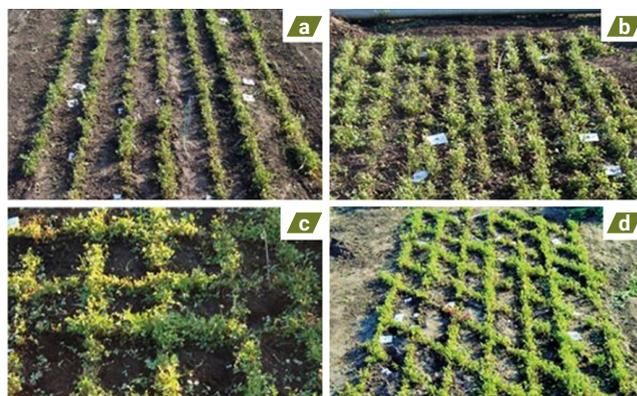
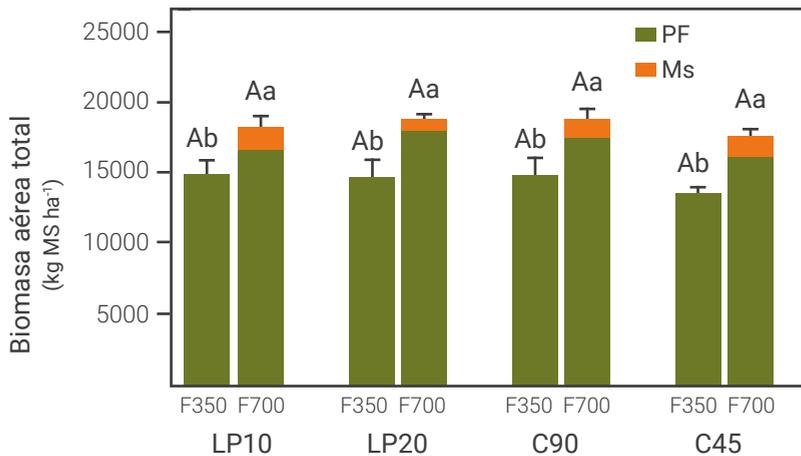


Figura 17. Evolución del crecimiento de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal en INTA Balcarce sembrado a líneas paralelas a 10 cm (LP10) y 20 cm (LP20). GDA = Grados Días Acumulados. Temperatura base (T_b) = 5 °C. El crecimiento de 370°GDA se produjo en condiciones de temperaturas medias subóptimas (10-15 °C) desde fin de setiembre hasta principio de noviembre. De izquierda a derecha: evolución del rebrote a los 80, 200, 290 y 370°GDA. Tomado de Olivo (2018).

No obstante lo anterior, hay quienes sostienen que la disminución de la producción que deriva de los mayores distanciamientos entre hileras se puede compensar realizando siembras cruzadas. Así se han difundido algunos sistemas de siembra en los que manteniendo distancias de 20-21 cm se realiza primero una pasada simple de sembradora y luego otra pasada con un ángulo de 90° o 45°, las que se denominan siembra cruzada en cuadrícula (C90) y siembra cruzada sesgada (C45), respectivamente (Figura 18c y d). El objetivo que persigue esta práctica es generar una mejor distribución de la semilla en la superficie disminuyendo la competencia intraespecífica (Park *et al.*, 2003). Sin embargo, cuando Olivo *et al.* (2019) compararon en INTA Balcarce arreglos cruzados a 45° (C45) y a 90° (C90) con siembra en líneas paralelas a 20 cm y bajo frecuencias de corte muy contrastantes (suma térmica entre defoliaciones de 350 vs. 700°GDA) no detectaron ninguna mejora de las siembras cruzadas en cuanto a densidad y peso de tallos, número de plantas, captura de radiación y eficiencia de uso de la radiación (Figura 19). El trabajo concluyó que los arreglos cruzados, tanto a 45 grados (C45) como a 90 grados (C90), no produjeron mejoras en la producción de forraje respecto de la siembra en hileras paralelas a 20 cm (Figura 19). Esto concuerda con lo informado para otras especies forrajeras y otras regiones (Praat, 1995; Scheneiter, 2006; Bertram, 2008; Sardiña *et al.*, 2015).



■ **Figura 18.** Ensayo en INTA Balcarce para comparar arreglos espaciales de siembra: (a) siembra en líneas paralelas a 20 cm (LP20); (b) siembra en líneas paralelas a 10 cm (LP10); (c) siembra en líneas cruzadas a 90° (C90); (d) siembra en líneas cruzadas a 45° (C45) para un cultivar de alfalfa sin reposo invernal. Tomado de Olivo *et al.* (2003).

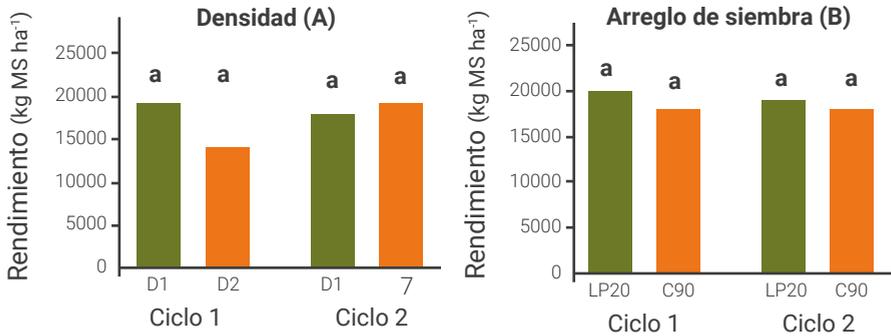


■ **Figura 19.** Valores promedio de biomasa aérea total (kg MS ha⁻¹) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal durante su primer año de vida en cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10) y 20 cm (LP20) y cruzadas a 90° (C90) y 45° (C45). Los cortes se hicieron cada 350° y 700°GDA. La parte gris de cada barra corresponde a la producción de forraje (PF) y la parte negra a material senescente (MS) recolectado del suelo. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ($p < 0,05$). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencias de corte para cada arreglo de siembra ($p < 0,05$). Adaptado de Olivo *et al.* (2019).

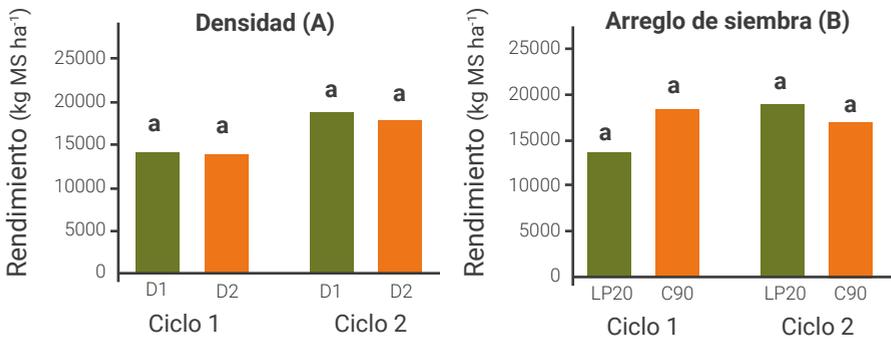
Por otro lado, Sardiña *et al.* (2015) evaluaron en General Villegas (zona subhúmeda pampeana), durante dos ciclos productivos, el efecto de combinaciones de dos arreglos de siembra (en líneas paralelas a 20 cm y en líneas cruzadas a 90°) con altas y bajas densidades de plantas (562 y 330 plantas m⁻²) sobre el rendimiento de forraje de dos cultivares con distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y 9) y no detectaron diferencias entre los tratamientos (Figura 20).

De este último trabajo se infiere que si no es posible realizar una siembra con líneas distanciadas a 15 o 17,5 cm, que es la situación en la que el cultivo registra usualmente altos niveles de rendimiento, una siembra en hileras a 20 cm realizada correctamente –esto es con suficiente cantidad de semilla, adecuada profundidad y apropiada velocidad de labor, entre otros factores– sería suficiente para obtener una pastura de alfalfa productiva, sin necesidad de realizar dos pasadas de siembra. Esto reduciría los costos de implantación, los tiempos operativos y la logística asociada a la siembra.

GR6



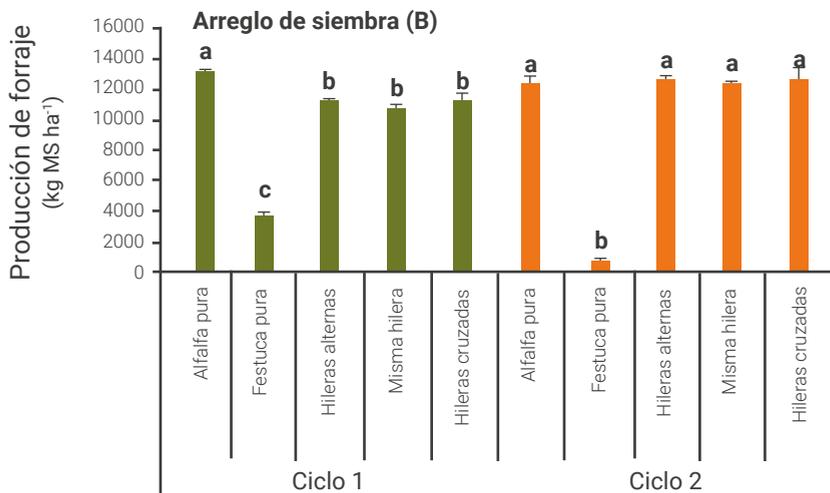
GR9



■ **Figura 20.** Rendimiento (kg de MS ha⁻¹) acumulado durante dos ciclos productivos de dos cultivares de alfalfa de GRI 6 y 9 establecidos con dos densidades [562 (D1) y 330 (D2) plantas m⁻²] y sembrados con dos arreglos espaciales: líneas paralelas a 20 cm (LP20) y líneas cruzadas a 90° (C90). Adaptado de Sardiña *et al.* (2015).

Otro aspecto importante que se puede presentar es cómo manejar las siembras de alfalfa asociada con otras especies forrajeras. En este sentido, Romero *et al.* (2011) condujeron un ensayo en INTA Rafaela donde compararon siembras de alfalfa y de festuca puras y en mezcla (1:1) bajo tres arreglos de siembra: i) cada especie en hileras alternadas, ii) ambas especies en la misma hilera y iii) una especie cruzada con la otra. Después de dos ciclos de producción, no hallaron diferencias productivas entre los arreglos espaciales de siembra; entre especies, la alfalfa pura fue la más productiva durante el primer ciclo de producción (Figura 21). No obstante, en que se busque reducir la competencia interespecífica entre la leguminosa y la gramínea, se recomienda la siembra

en líneas alternadas y con una relación 1:1 o 2:1 entre hileras de alfalfa y festuca, respectivamente. Obviamente, la relación 2:1 prioriza la producción de alfalfa como principal componente de la mezcla.



■ **Figura 21.** Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa y festuca alta puras y en mezcla (1:1) con diferentes arreglos espaciales de siembra y durante dos ciclos de producción (ciclos 1 y 2) en INTA Rafaela. Los valores son promedio de tres repeticiones. Letras distintas entre pasturas dentro de cada ciclo de producción indican diferencias significativas (Fisher, $p < 0,05$). Adaptado de Romero *et al.* (2011).

Consideraciones finales

La información presentada en este capítulo resume los avances recientes de investigación sobre siembra e implantación del cultivo de alfalfa en las condiciones agroecológicas de la República Argentina. Como se ha podido evidenciar, el período de implantación es fundamental para la producción y la persistencia posterior del cultivo. Conocer los procesos ecofisiológicos que ocurren durante esta fase inicial permite ajustar la planificación y el manejo agronómico de la pastura de alfalfa. Al ser un cultivo perenne, las plantas priorizan durante la fase del establecimiento la partición hacia estructuras subterráneas (raíces y corona) en desmedro del crecimiento aéreo. Esto constituye un proceso no solo normal sino también deseable a fin de propiciar una adecuada persistencia del cultivo. Para todo ello, es fundamental la consideración de aspectos

como la elección del lote; el cultivo antecesor; la fecha, la densidad y profundidad de siembra, el sistema de siembra y el arreglo espacial de las semillas en el lote.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, S.G.; A.K. DOBRENZ; M.H. SCHONHORST; J.E. STONER. 1985. *Heritability of NaCl tolerance in germinating alfalfa seeds. Agronomy J.* 77 (1): 99-101.
- ARNOLD, S.M.; J.L. MONTEITH. 1974. *Plant development and mean temperature in a tees date habitat. Journal of Ecology* 62: 711-720.
- BERTÍN, O.D.; P.F. BARLETTA; E. PACENTE; J. MATTERA; M.J. BERIBE; J.N. CAMARASA. 2015. *Secuencias de cultivos anuales y pastura perenne para forraje en suelo agrícola. Revista de Tecnología Agropecuaria* 10: 38-42.
- BERTRAM, N. 2008. *Respuesta de agropiro alargado (Thinopyrum ponticum) a la densidad de siembra y al arreglo espacial: desarrollo del área foliar, estructura poblacional e intercepción lumínica en el año de implantación. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina, 58 p.*
- BERTRAM, N.A.; C.S. ALFONSO; S. CHIACCHIERA; A.E. OHANIAN; H.R. PAGLIARICCI. 2015. *Efecto de la concentración salina y el régimen hídrico en la germinación, emergencia y crecimiento temprano de alfalfa (Medicago sativa). Revista Argentina de Producción Animal* 35 (1): 139-257.
- BIANCHI, A.R.; S.A.C. CRAVERO. 2010. *Atlas climático digital de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Salta, Argentina.*
- CAPELLE, N. 2013. *Tecnología de siembra-implantación de pasturas y verdeos invernales. Jornada Técnica Pasturas 2013. Claves para producir más y mejor.* 31-38 pp.
- CHON, S.U.; J.A. ENNINGS; C.J. NELSON. 2006. *Alfalfa (Medicago sativa L.) autotoxicity: current status. Allelopathy Journal* 18: 57-80.
- CHRISTIAN, K.R. 1977. *Effects of the environment of the growth of alfalfa. Advances in Agronomy* 29: 183-227.
- COLABELLI, M.R.; H. URCOLA; M. AGNUSDEI. 2002. *Intersiembra de leguminosas en suelos de aptitud agrícola. 1. Efecto de la época de intersiembra y de la distancia entre surcos sobre el establecimiento de las especies intersembradas. Avances en Producción Animal* 27: 77-86.
- COLLINO, D.J.; J.L. DARDANELLI, M.J. DE LUCA; R.W. RACCA. 2005. *Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (Medicago sativa L.). Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 383-390.
- CONNOR, D.J.; R.S. LOOMIS; K.G. CASSMAN. 2011. *Crop ecology, productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press (2nd edition), Reino Unido, 576 p.*
- CRALLE, H.T. 1983. *Photosynthate partitioning in alfalfa populations selected for high nitrogen fixation capability. Ph.D. Thesis. Univ. of Minnesota, St. Paul, USA. Diss. Abstr. DA 8329508, 150 p.*
- CREA. 2015. *RIDZO. Red de Innovación y Desarrollo Zona Oeste. Logro de pasturas. Eficiencia de implantación en la campaña 2011 y evolución de los 3 años de relevamiento*

en la Zona Oeste de Buenos Aires. (Disponible:[http:// www.creaoeste.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Informe-Final-Implantacion-de-Pasturas-RiDZo.pdf](http://www.creaoeste.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Informe-Final-Implantacion-de-Pasturas-RiDZo.pdf) consultado: 19/09/2019).

FERRARI, H. 2014. Consideraciones a tener en cuenta en la sembradora para lograr una buena implantación de pasturas. 5.º Jornada Nacional de Forrajes Conservados (Disponible: http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustria_lizacion/Jornada-Nacional-Forrajes-Conservados-2014.asp consultado: 19/09/2019).

FICK, G.W.; D.A. HOLT; D.G. LUGG. 1988. *Environmental physiology and crop growth*. En: HANSON, A.A.; D.K. BARNES; R.R. HILL Jr. (Eds.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI, Agronomy Series 29. 163-194 pp.

FONTANETTO, H.; O. KELLER. 1998. *La siembra directa de alfalfa sobre diferentes cultivos antecesores*. Información Técnica para Productores 1997-1998. Publicación Miscelánea N.º 89.

GARDNER, F.P.; R. BRENT PEARCE; R.L. MITCHEL. 1985. *Carbon fixation by crop canopies*. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. 31-57 pp.

GOSSE, G.; G. LEMAIRE; M. CHARTIER; F. BALFOURIER. 1988. *Structure of a lucerne population (Medicago sativa L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth*. *Journal of Applied Ecology* 25: 609-617.

HEICHEL, G.H.; R.H. DELANEY; H.T. CRALLE. 1988. *Carbon assimilation, partitioning and utilization*. En: HANSON A.A.; D.K. BARNES; R.R. HILL Jr. (Eds.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI, Agronomy Series 29. 195-228 pp.

HEITHOLT, J.J.; G.F. SASSENATH-COLE. 2009. *Inter-plant competition growth responses to plant density and row spacing*. (Disponible: https://www.researchgate.net/publication/226891531_Inter-Plant_Compition_Growth_Responses_to_Plant_Density_and_Row_Spacing consultado: 15/03/2020).

JÁUREGUI, J.M.; A. MILLS; D.B. BLACK; K. WIGLEY; H.J. RIDGWAY; D.J. MOOT. 2019. *Yield components of lucerne were affected by sowing dates and inoculation treatments*. *European Journal of Agronomy* 103: 1-12.

JUAN, N.A.; N.A. ROMERO. 1993. *Efecto de la densidad de plantas sobre la producción y persistencia de variedades de alfalfa con distintos grados de dormancia*. INTA EEA Anguil (Argentina). *Boletín de Divulgación Técnica*.

JUNGERS, J.M.; M. BRAKKE; A. RENDAHL; C.C. SHEAFFER. 2016. *Identifying Base Temperature for Alfalfa Germination: Implications for Frost Seeding*. *Crop Science* 56 (5): 2833-2840.

JUSTES, E.; P. THIEBEAU; J. AVICE; G. LEMAIRE; J. VOLENEC; A. OURRY. 2002. *Influence of summer sowing dates, N fertilization and irrigation on autumn VSP accumulation and dynamics of spring regrowth in alfalfa (Medicago sativa L.)* *Journal of Experimental Botany* 53: 111-121.

- KHAITI, M.; G. LEMAIRE. 1992. *Dynamics of shoot and root growth of lucerne after seeding and after cutting*. *European Journal of Agronomy* 1(4): 241-247.
- LODGE, G.M. 1991. *Management practices and other factors contributing to the decline in persistence of grazed lucerne in temperate Australia: a review*. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31: 713-724.
- LUS, J.; M.J. CUDA; G.L. GONZÁLEZ; M. PECILE; C.A. ROSSI. 2017. *Variabilidad e importancia del peso de 1000 semillas como un determinante de la densidad de siembra en alfalfa (Medicago sativa L.)*. *Revista Argentina de Producción Animal* 37 (1): 68.
- MADDALONI, J.; L. FERRARI. 2001. *Festuca alta*. En: MADDALONI, J.; L. FERRARI. (Eds.). *Forrajas y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina*. INTA-Universidad de Lomas de Zamora. 165-182 pp.
- MATTERA, J.; L.A. ROMERO; A. CUATRÍN; P.S. CORNAGLIA; A.A. GRIMOLDI. 2013. *Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (Medicago sativa L.) in response to row spacing*. *European Journal of Agronomy* 45: 87-95.
- MATTERA, J.; L.A. ROMERO, A. CUATRÍN; A.A. GRIMOLDI. 2009. *Efectos de la distancia de siembra sobre la producción de biomasa y la persistencia de un cultivo de alfalfa*. *Revista Argentina de Producción Animal* 29 (1): 131-140.
- MOOT, D.J.; K.M. POLLOCK; B. LEWIS. 2012. *Plant population, yield and water use of lucerne sown in autumn at four sowing rates*. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 74: 97-102.
- MOOT, D.J.; M.J. ROBERTSOEN; K.M. POLLOCK. 2001. *Validation of the AP-SIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperature climate*. *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*. Australian Soc. of Agronomy. (Disponible: https://www.researchgate.net/publication/284261367_Validation_of_the_APSIM-Lucerne_model_for_phenological_development_in_a_cool-temperature_climate_consultado:20/08/2019).
- MOOT, D.J.; W.R. SCOTT; A.M. ROY; A.C. NICHOLLS. 2000. *Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species*. *New Zealand Journal of Agricultural Research* (43) 1: 15-25.
- MORENO, A.; P. BARLETTA; J.O. SCHENEITER. 2015. *Cómo afectan el rastrojo de soja y el sistema*. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 10: 59-62.
- MULLER, S.C.; C.A. FRATE; M.C. MATHEWS. 2007. *Alfalfa Stand Establishment*. En: SUMMERS, C.; D. PUTMAN (Eds.). *Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones*. University of California and Natural Resources, Chapter 4. 1-22 pp. (Disponible: https://alfalfa.ucdavis.edu/IrrigatedAlfalfa/dfs/UCAlfalfa8290StandEstablish_free.pdf consultado: 14/10/2019).
- ODORIZZI, A.; V. AROLFO; S. OLIVO. 2017a. *Arreglos espaciales de siembra en alfalfa. Dinámica a campo "Jornadas Nacionales de Alfalfa"*. *Cuadernos de la alfalfa. Jornadas Nacionales de Alfalfa: del cultivo al negocio*. 62-68 pp.

ODORIZZI, A.S.; V. AROLFO; D.H. BASIGALUP; S. SOLÁ. 2017b. *Efecto del porcentaje de pildorado sobre la implantación y productividad de alfalfa (Medicago sativa L.)*. *Agriscientia* 34: 59-65.

OLIVO, S. 2018. *Producción de biomasa de alfalfa (Medicago sativa L.) en respuesta al arreglo espacial de siembra y frecuencia de corte*. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina, 76 p.

OLIVO, S.; G. BERONE; P. CICCORE. 2019. *Arreglo de siembra en alfalfa. Acercar para producir más*. *Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa-Planteos Ganaderos*. 96-102 pp.

PARK, S.E.; L.R. BENJAMIN; A.R. WATKINSON. 2003. *The theory and application of plant competition model: an agronomic perspective*. *Annals of Botany* 92: 741-748.

PRAAT, J.P. 1995. *Row spacing and seeding rate interactions in perennial ryegrass and tall fescue swards established by direct drilling (no tillage)*. PhD Thesis, Massey University, Palmerston North, Nueva Zelanda. 278 p.

PUTNAM, D.; S. ORLOFF. 2003. *Using varieties or cutting schedules to achieve quality hay –what are the tradeoff? Proceedings of the 33rd California Alfalfa & Forage Symposium (December), Monterey, CA. (Disponibile: <https://alfalfa.ucda vis.edu/+symposium/proceedings/2003/03-201.pdf> consultado: 03/10/2019)*.

RAINERO, H. 2003. *Actualización en el control de malezas en alfalfa*. Jornada Técnica Todo Alfalfa. INTA-EEA Manfredi, Argentina. 16 p.

RITCHIE, J.T.; D.S. NESMITH. 1991. *Temperature and crop development. Modeling Plant and Soil Systems*. 31: 5-29.

ROMERO, L.A.; J. MATTERA; M.A. SCOTTO LENZ. 2011. *Producción de forraje de una mezcla bajo distintos sistemas de siembra*. *Revista Argentina de Producción Animal* 31 (1): 561.

ROMERO, L.A.; O.A. BRUNO; J.L. FOSSATI; O.R. QUAINO. 1991. *Densidad de siembra de alfalfa cultivar CUF 101: número de plantas y producción*. *Revista Argentina de Producción Animal* 11 (1): 411-417.

ROMERO, L.A.; J. MATTERA; A. CUATRIN. 2008. *Efecto del tipo de siembra sobre la producción y el número de plantas en pasturas de alfalfa en el año de implantación*. *Revista Argentina de Producción Animal* 28 (1): 505-506.

SARDIÑA, C.; M. DIEZ; C. OTTAVIANO. 2015. *Densidad de siembra y arreglo espacial de plantas en un cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.)*. (Disponibile: <https:// inta.gob.ar/documentos/densidad-de-siembra-y-arreglo-espacial-de-plantas-en-un-cultivo-de-alfalfa-medicago-sativa-l> consultado: 03/03/2020).

SCHENEITER, O. 2006. *Efecto del sistema y densidad de siembra sobre la implantación de agropiro alargado (Thinopyrum ponticum (Podp.) Barkw. and Dewey)*. Reunión Anual sobre Forrajeras: Novedades en Mejoramiento Genético y Producción de Pasturas. Pergamino. 6 p.

SEVILLA, G.H.; A.M. PASINATO; J.M. GARCÍA. 2003. *Producción de forraje y densidad de plantas de alfalfa irrigada comparando distintas densidades de siembra*. *Archivos Latinoamericanos de Prod. Animal* 10 (3): 164-170.

SIM, R.E. 2014. *Water extraction and use of seedling and established dryland lucerne crops*. PhD Thesis, Lincoln University, Lincoln, NZ. 287 p.

SIM, R.E.; D.J. MOOT; H.E. BROWN; E.I. TEIXEIRA. 2015. *Sowing date affected shoot and root biomass accumulation of lucerne during establishment and subsequent re-growth season*. *European Journal of Agronomy* 68: 69-77.

TA, H.T.; E.I. TEIXEIRA; D.J. MOOT. 2016. *Impact of autumn (fall) dormancy rating on growth and development of seedling lucerne*. *Journal of New Zealand Grasslands* 78:169-176.

TEIXEIRA, E.I.; H.E. BROWN; E.D. MEENKEN; D.J. MOOT. 2011. *Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crops (Medicago sativa L.)*. *European Journal of Agronomy* 35: 47-55.

TESAR, M.B.; V.L. MARBLE. 1988. *Alfalfa Establishment*. En: HANSON, A.A.; D.K. BARNES; R.R. HILL Jr. (Eds.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, American Society of Agronomy, Madison, WI, Agronomy Series 29. 303-332 pp.

THIÉBEAU, P.; N. BEAUDOIN; E. JUSTES; J.M. ALLIRAND; G. LEMAIRE. 2011. *Radiation use efficiency and shoot: root dry matter partitioning in seedling growths and regrowth crops of lucerne (Medicago sativa L.) after spring and autumn sowings*. *European Journal of Agronomy* 35: 255-268.

THOM, E.R.; W.R. RITCHIE. 1993. *Banded versus blanket spraying and direct drilling*. *Pasture Renovation Manual*. AgResearch, Ruakura, Hamilton, New Zealand. 55-58 pp.

TRIPLETT, G.B. JR.; M.B. TESAR. 1960. *Effects of Compaction, Depth of Planting, and Soil Moisture Tension on Seedling Emergence of Alfalfa*. *Agronomy Journal* 52 (12): 678-684.

UNDERSANDER, D.; M.V. HALL; P. VASSALOTTI; D. COSGROVE. 2011. *Alfalfa Germination & Growth*. *National Alfalfa & Forage Alliance*, 22 p.

VOLENEC, J.J.; J.H. CHERNEY; K.D. JOHNSON. 1987. *Yield components, plant morphology, and forage quality of alfalfa as influenced by plant population*. *Crop Science* 27:321-326.

WATT, M.S.; M. BLOOMBERG; W.E. FINCH-SAVAGE. 2011. *Development of a hydrothermal time model that accurately characterizes how thermo inhibition regulates seed germination*. *Plant, Cell and Environment* 34: 870-876.