

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**LA ARVEJA (*PISUM SATIVUM L.*)  
COMO ALTERNATIVA EN LA SECUENCIA DE CULTIVOS  
AGRÍCOLAS Y HORTÍCOLAS**

**por**

**Daniel Eduardo MARTÍNEZ AGUSTONI**

TESIS presentada como uno de los  
requisitos para obtener el Diploma  
en Agronomía opción Suelos y  
Aguas

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
febrero, 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todos los que de alguna manera u otra han colaborado en la realización de este trabajo.

A Amabelia del Pino por su paciencia, motivación, apoyo y conocimientos que me ha brindado tanto como docente, coordinadora de opción suelos y aguas y últimamente, como tutora de mi maestría.

A Carmen González, mi señora, por su apoyo constante e incondicional.

A Inés Martínez, mi hija, por su colaboración en los resúmenes, en especial en inglés.

A Lucia Puppo, por su apoyo en los primeros pasos de mi maestría.

A Victoria Mancazzola por atender todas mis consultas en lo referente al factor C.

A Sebastian Mazzilli por sus comentarios y materiales aportados.

A Joaquín Carriquiry y Mauricio Vives por el aporte de sus experiencias.

A Miguel Scalone, por su apoyo, aporte de conocimiento y lectura crítica de este trabajo.

A Eugenia, Stephanie, Rossana y Laura de la Sección Hemeroteca de la Biblioteca de Facultad de Agronomía por la búsqueda implacable de todo material que solicité, y a Sully del Departamento de Documentación y Biblioteca por la atención a todas mis consultas.

## TABLA DE CONTENIDO

	página
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	V
SUMMARY .....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE LA ARVEJA</u> .....	4
2.1. REQUERIMIENTOS DE SUELO Y NUTRICIÓN MINERAL .....	5
2.2. SIEMBRA – INOCULACIÓN, EFECTO DE LA ÉPOCA Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL CULTIVO DE ARVEJA .....	8
2.3. NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO DE ARVEJA .....	11
2.4. ETAPAS FISIOLÓGICAS Y REQUERIMIENTOS TÉRMICOS DE LA ARVEJA.....	12
2.5. EFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR .....	14
2.6. COSECHA DEL CULTIVO DE ARVEJA.....	16
3. <u>CRECIMIENTO Y ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE ARVEJA</u> .....	17
3.1. FACTORES QUE AFECTAN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO .....	17
3.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO .....	19
3.3. PARTICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA .....	21
3.3.1. <u>Producción de grano</u> .....	21

3.3.2 <u>Arveja como cultivo de cobertura y abono verde</u> .....	22
3.4. ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO POR EL CULTIVO DE ARVEJA – DILUCIÓN.....	23
4. <u>EL CULTIVO DE ARVEJA Y LA EROSIÓN HÍDRICA EN     URUGUAY</u> .....	25
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	31
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	32
7. <u>ANEXO</u> .....	41

## **RESUMEN**

Los sistemas de producción vegetal en Uruguay (agrícola y hortícola) tienden a la especialización y presentan pocas alternativas que contribuyan a un uso sustentable del suelo. Existen algunos aspectos que mitigan esta problemática, como lo son: la implementación de secuencias de cultivos donde se maximiza la cobertura del suelo por los mismos, el retorno de biomasa de rastrojos al suelo, la incorporación de especies capaces de fijar nitrógeno, la alteración mínima del suelo, las asociaciones de cultivos y la diversificación de las rotaciones. El cultivo de la arveja para grano seco surge como alternativa a incorporar en estos sistemas, contribuyendo de alguna forma en los aspectos mencionados, y contando además con demanda, tanto a nivel nacional como internacional, con una rentabilidad adecuada en relación al momento de producción del año. No obstante, existe escasa información en el país sobre este cultivo. El objetivo de este trabajo es el de reunir, procesar y ordenar la información recabada para contribuir a la toma de decisión del productor, de técnicos y autoridades en cuanto a la inclusión de este cultivo en el sistema productivo uruguayo. Se examinaron a lo largo de esta revisión: los aspectos referentes a las características del cultivo de la arveja, el crecimiento y la acumulación de nitrógeno, y la influencia de la presencia del cultivo de la arveja sobre la erosión hídrica en la secuencia de cultivos.

**PALABRAS CLAVE:** partición de la biomasa, fijación simbiótica de nitrógeno, pérdidas por erosión tolerable.

## **THE PEA (*PISUM SATIVUM L.*) AS AN ALTERNATIVE IN THE SEQUENCE OF AGRICULTURAL AND HORTICULTURAL CROPS**

### **SUMMARY**

Vegetal production systems in Uruguay (agricultural and horticultural) tend to specialization and present few productive alternatives that contribute to a sustainable use of the soil. There are some aspects that mitigate this problem, such as the implementation of sequences of crops where soil coverage is maximized by these crops, return of stubble biomass to the soil, incorporation of species capable of fixing nitrogen, minimum soil alteration, associations of crops and its rotation diversification. The cultivation of field pea emerges as an alternative to be incorporated in these systems, contributing not only in some of the aspects previously mentioned but also counting on national and international demand with an adequate profitability in relation with the moment of production of the year. Nevertheless, there is limited information about this crop in the country. The aim of this paper is to gather, process and organize the compiled information in order to help producers, technicians and authorities when making decisions regarding the inclusion of this crop in the Uruguayan productive system. The following were analysed throughout this revision: the aspects related to field pea characteristics, the growth and accumulation of nitrogen and the influence of the presence of the field pea on hydric erosion in the crop sequence.

**KEY WORDS:** biomass partitioning, symbiotic nitrogen fixation, soil loss tolerance.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, los sistemas de producción hortícola y agrícola tienden a perder sustentabilidad debido entre otros, a la estrategia de intensificación en el uso del suelo en los primeros (Dogliotti *et al.*, 2005) y del proceso de intensificación y expansión para los segundos (Sawchik *et al.*, 2015). En el caso de los sistemas hortícolas del sur del Uruguay son poco sustentables, además, de acuerdo con Hill *et al.* (2015a) debido a problemas de erosión hídrica, lo que determina la necesidad de generación de tecnologías adecuadas para su mitigación. La depreciación de los productos vegetales, junto al incremento en los costos de la energía y de los insumos agrícolas llevaron a muchos productores a especializarse y destinar mayores áreas a un solo cultivo, reducir las rotaciones y aumentar el uso de irrigación y agroquímicos (Corres *et al.*, 2015). De acuerdo a estos autores, como consecuencia, aumentaron los riesgos para el sustento y bienestar de las familias, así como el deterioro del agroecosistema y de la región, donde la erosión afecta del 60 al 70% del área.

En cuanto a los sistemas agrícolas, en la zafra 2015/2016, la soja con más de 1.1 millones de hectáreas aporta el 88 % del área cultivos de verano y, por su lado, el trigo y la cebada representaron el 89% del área agrícola de invierno (DIEA-MGAP, 2016). El dominio de estos cultivos en la secuencia ha conducido a sistemas de agricultura continua en siembra directa, relativamente simples y poco diversos, generando interrogantes sobre la sustentabilidad de los mismos (Macedo *et al.*, 2015). Los principales cambios tecnológicos asociados a este sistema de producción son: la adopción de siembra sin laboreo, el empleo de cultivos transgénicos, el cambio de una agricultura basada en cultivos de invierno a una basada en cultivos de verano fundamentalmente soja, la disminución de pasturas dentro de la rotación, la implementación de sistemas de agricultura continua y el desarrollo de sistemas agrícolas en nuevas zonas de producción, no tradicionalmente agrícolas (García Préchac *et al.*, 2010). En términos generales, las especies de cultivos de cobertura más utilizadas en nuestro país son gramíneas anuales (avena o raigrás), reconocidas por su precocidad o por poseer altas tasas de crecimiento durante el invierno. Por otra

parte, el empleo de leguminosas anuales o especies del género *Raphanus* ha sido menos relevante. (Sawchik *et al.*, 2015).

Debido a esa situación Macedo *et al.*, (2015) recomiendan el diseño de secuencias agrícolas donde se maximice la cobertura del suelo por los cultivos, el retorno de biomasa de rastrojos al suelo, así como la incorporación de especies capaces de fijar nitrógeno (N), como forma de contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de producción. En coincidencia Corres *et al.*, (2015) consideran que la agricultura de conservación constituye una alternativa para optimizar la productividad y los servicios que brinda el suelo, y se define por tres principios básicos: alterar el suelo lo mínimo posible, mantener una cubierta orgánica permanente y diversificar las rotaciones y asociaciones entre cultivos. Según Gilzanz (2012), los sistemas conservacionistas se basan en el uso de cultivos de cobertura o abonos verdes en combinación con la reducción del laboreo.

Esta necesidad de diversificar las rotaciones ha llevado a que se plantee la posibilidad de incorporar cultivos de leguminosas a las rotaciones tradicionales. Las leguminosas tienen el potencial de contribuir con cantidades sustanciales de nitrógeno a los sistemas de producción (Peoples *et al.*, 1995). Existe una asociación directa entre la materia seca producida por una leguminosa y la cantidad de N incorporado al suelo por la muerte de raíces de esa planta y por los restos de residuos orgánicos que deja (Diaz *et al.* 1980). Sistemas de producción que frecuentemente incluyan cultivos de leguminosas o pasturas como parte de la rotación, se ven beneficiados ambos -las leguminosas como el siguiente cultivo en la rotación- por la fijación biológica de N de aquellas (McCallum *et al.* 2000; Jensen y Hauggaard-Nielsen, 2003).

Según Contreras *et al.* (1995) las leguminosas han recobrado el interés no sólo como los abonos verdes capaces de suministrar N de bajo costo para insumo agrícola, sino como las especies vegetales que tienen el potencial para proveer alimento de calidad a ambos, humanos y animales, como también protectores de la erosión del suelo y de la contaminación de las aguas.

En este contexto, el cultivo de arveja (*Pisum Sativum L.*) ha sido recomendado para

su inclusión en sistemas de producción vegetal tanto hortícolas como agrícolas. Para Calegari y Peñalva (1994) como abono verde la arveja forrajera presenta las siguientes características y ventajas: muy buena cobertura, producción de biomasa, fijación de N, competición con malezas y enraizamiento profundo. Además, puede ser utilizada en la alimentación de vacas lecheras y suinos tanto como forraje o como grano, y como grano en aves y en la alimentación humana. Este cultivo se caracteriza por poseer elevada eficiencia de uso del agua, lo cual sería importante en casos de realizar doble cultivo y alta capacidad de fijar N (Prieto, 2012). El aporte de N por fijación biológica sería superior al 50%, por lo cual es de gran importancia la inoculación de la semilla (Appella y Manso, 2015). En cuanto a beneficios prácticos de la inclusión de arveja en las rotaciones, según Prieto (2010) esta leguminosa podría constituir una alternativa interesante para el invierno, porque desocupa el lote 15 a 20 días antes que el trigo.

Por la anteriormente expuesto, se plantea como objetivo del presente trabajo revisar, ordenar y presentar la información nacional e internacional que se ha generado de los aspectos más importantes que conlleva la inclusión de la arveja en secuencias de cultivos hortícolas y agrícolas. Este abordaje se realizará desde el punto de vista de la sustentabilidad de los sistemas de producción que incluyan arveja, principalmente en el aporte de biomasa y la capacidad de fijación biológica de N (FBN), como así también la incidencia de este cultivo sobre la erosión a través del factor C (Uso y Manejo) de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), (Wischmeier y Smith, 1978) y su versión revisada RUSLE (Renard *et al*, 1997). En el mismo se hará hincapié en las variedades de tipo “arveja forrajera”, debido a la posibilidad de incluirla tanto en los sistemas de producción hortícolas como agrícolas del país.

## **2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE LA ARVEJA**

El género *Pisum*, al cual pertenece la arveja, se identifica por tener los foliolos en número par, el terminal ausente o representado por un zarcillo, las alas de la corola adheridas a la quilla hasta la mitad, el estilo barbado lateralmente y los lóbulos del cáliz foliosos (Bailey, citado por Sarli, 1980). Es oriunda del Asia Central, Cercano Oriente y Mediterráneo. Según Huamancayo y René, (2007) la arveja es una leguminosa herbácea anual que como planta cultivada es muy antigua, y su empleo en la alimentación humana se remonta a 6000 - 7000 años antes de Cristo. El cultivo de la arveja abarca alrededor de 8 millones de hectáreas y ostenta el tercer lugar dentro de la superficie destinada a las legumbres secas en el mundo. Rusia es el primer país productor, le siguen China, India, Estados Unidos y Canadá.

En Uruguay fundamentalmente se trabaja con dos tipos de variedades:

*Pisum sativum* L. ssp. *sativum* var. *Sativum*, destinada fundamentalmente al consumo en fresco (integrada por cultivares hortícolas) y

*Pisum sativum* L. ssp. *sativum* var. *Arvense*, conocida como arveja forrajera y cuyo destino principal son producción de grano seco para obtención de harina de consumo humano y como abono verde.

La arveja es un cultivo de clima frío o templado, con óptimo de temperatura de 10° a 25° (Sarli, 1980). No tolera las temperaturas altas y es sensible a heladas durante la floración (Aldabe, 2000). Se ha señalado que puede ser cultivada en todo el país, pero prospera mejor en las zonas costeras, con clima marítimo, que tiene menores riegos de heladas en invierno y temperaturas más frescas en primavera cuando ocurre el crecimiento y maduración de los granos (Izaguirre, 1989; Aldabe, 2000). Es así que según Aldabe (2000) la arveja germina bien a 18°C, en tanto que temperaturas del suelo menores a 10° resultan en una mala instalación del cultivo. En cuanto al fotoperiodo, algunas variedades son indiferentes al mismo, mientras las temperaturas nocturnas no sean inferiores a 10°, lo que si ocurre en días largos que activan el

proceso reproductivo. Otras variedades en cambio necesitan días largos para florecer, cualquiera sea la temperatura nocturna (Aldabe, 2000).

## **2.1. REQUERIMIENTOS DE SUELO Y NUTRICIÓN MINERAL**

La arveja es un cultivo exigente en suelo, requiriendo aquellos que tienen buena estructura, profundos y bien drenados. Para Huamancayo y René (2007), la arveja requiere suelos de buena estructura, profundos, bien drenados, ricos en nutrientes asimilables y de reacción levemente ácida a neutra. En coincidencia según Sarli (1980) el pH óptimo es de 5,5 a 6,7.

El cultivo es muy sensible a los excesos de humedad por lo que se debe evitar cultivarlo en zonas que se producen encharcamientos (Aldabe, 2000). Los mejores resultados se logran en suelos con buen drenaje, que aseguren una adecuada aireación y, a su vez, tengan la suficiente capacidad de captación y almacenaje de agua para su normal abastecimiento, especialmente durante su fase crítica (período de floración y llenado de vainas). De acuerdo a Sarli (1980) un drenaje deficiente que favorezca el encharcamiento, inclusive durante un breve período después de las lluvias o el riego, es determinante para provocar un escaso desarrollo y, en muchos casos, pérdidas por ataque de enfermedades. Por lo tanto, estos autores aconsejan elegir lotes bien drenados, con buena infiltración y escurrimiento superficial. En caso de los suelos con infiltración lenta, se debe buscar aquellos bien estructurados, con alto contenido de materia orgánica y moderada pendiente, que permita escurrir el exceso de agua de lluvia, aunque evitando provocar daños por erosión. También Bauza *et al.* (2013) como aspecto limitante en la producción de arveja señala su baja tolerancia a la saturación de agua del suelo en el proceso de germinación; por lo que para su implantación recomienda suelos con buen drenaje y escurrimiento. En consecuencia, Izaguirre (1989) indica que para el logro de una buena implantación y densidad del cultivo es necesario la sistematización del terreno, preparación con anticipación, afinado del mismo y correcta profundidad de siembra.

En cuanto a la nutrición mineral, según Prieto (2010), cómo es una especie que produce granos con un alto valor proteico (20 al 24 %), es exigente en N, siguiéndole en importancia cuantitativa el potasio (K), luego el magnesio (Mg) y en menor medida fósforo (P) y azufre (S). Las necesidades específicas de la arveja por tonelada de grano producido son 42 kg de N; 5 kg de P; 24 kg de K; 4 kg de Mg y 2 kg de S.

La arveja obtiene el N a través de la FBN en los nódulos radiculares formados por *Rhizobium leguminosarum* y desde nitrato y amonio originados de la mineralización de la materia orgánica del suelo y ocasionalmente también de la aplicación de fertilizantes nitrogenados dependiendo de las prácticas del productor (Jensen, 1986). Como toda leguminosa, la arveja se basa en dos vías diferentes para la adquisición de N: fijación de N resultante de la simbiosis con bacterias y la absorción de N mineral del suelo por las raíces. Las bacterias fijadoras de N en arveja pertenecen a la especie *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*, las cuales son infectivas también de lenteja y vicia. Forman una gran cantidad de nódulos de tamaño pequeño, muy activos. Mientras en soja se considera que el 50 % del N fijado proviene de la FBN, en arveja este porcentaje sería superior (Ferraris *et al.* 2012). Voisin *et al.* (2002), estudiaron el efecto de la disponibilidad de N mineral en la nutrición de N y partición de biomasa entre la parte aérea y las raíces de arveja (*Pisum sativum L., cv Baccara*) en condiciones adecuadas de suministro de agua, utilizando cinco niveles de la aplicación de N como fertilizante a la siembra (0, 50, 100, 200 y 400 kg N ha<sup>-1</sup>). Observaron que, aunque el aumento de la disponibilidad de N mineral en el campo mejoró la biomasa aérea a través de la estimulación del crecimiento vegetativo, no hubo un efecto significativo del tratamiento con N ni en el rendimiento del grano, ni en la concentración de N del grano, a excepción del tratamiento de 400 N, el cual presentó un mayor crecimiento vegetativo, pero el rendimiento de grano se vio deprimido. Este trabajo muestra que la fijación simbiótica de N es inhibida por N mineral en el suelo, siendo sustituida por absorción de N mineral proveniente del fertilizante, dando lugar a una nutrición de N óptima para todos los tratamientos.

En el experimento mencionado de Voisin *et al.* (2002), observaron que la biomasa y crecimiento de raíces fue mayor cuando se aumentó la disponibilidad de N durante la siembra. La densidad de enraizamiento también fue promovida por el aumento de N

mineral, siendo las raíces más numerosas, pero más finas que las producidas sin fertilizante nitrogenado. Sin embargo, la profundidad y la distribución de las raíces se mantuvieron sin cambios.

En cuanto a los requerimientos de fósforo Izaguirre (1989) menciona que según los datos obtenidos en la Estación experimental de INTA San Pedro no hay respuesta al agregado de P si el suelo tiene un contenido de P disponible superior a 15 ppm. No obstante, según la experiencia de este autor considera que sería igualmente necesario el agregado de P aunque en cantidades menores cuando el suelo esté por encima de ese nivel.

Para Aldabe (2000) las necesidades de P en función del análisis de suelo por P disponible por el método Bray 1 varían entre una fertilización de 70 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> cuando el suelo tenga un nivel menor a 7 mg kg<sup>-1</sup> según el método Bray 1, hasta dosis de 30 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> cuando el suelo tenga un nivel de 12 a 16 mg kg<sup>-1</sup>, no recomendándose la fertilización fosfatada por encima de ese contenido.

Prieto *et al.*, (2010) en un suelo con nivel de P disponible bajo (P Bray 1 = 9,7 ppm), al igual que el de S (S-SO<sub>4</sub> = 2,85 ppm), obtuvieron respuesta a la fertilización ya que el rendimiento promedio del experimento fue de 3852 kg ha<sup>-1</sup>, en tanto que el testigo tuvo un rendimiento de 3080 kg ha<sup>-1</sup>. En ese experimento no se obtuvo respuesta a la aplicación de S, ni hubo interacción entre P y S. En cambio, hubo una marcada respuesta a P, con incrementos del 46% respecto de los testigos, lográndose una eficiencia agronómica de casi 72 kg de grano por kg de P aplicado.

Por su lado, Ferraris *et al.*, (2012) condujeron un experimento donde se evaluó la respuesta a la aplicación de P y S a la siembra, y boro (B) en el estado de floración (el P disponible en el suelo era de 7,8 ppm). Las dosis aplicadas fueron 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup> de P, 15 kg ha<sup>-1</sup> de S y 0,12 kg ha<sup>-1</sup> de B. Se determinó un incremento de rendimiento considerable por la aplicación de P, siendo significativo con relación al testigo cuando se agregó también S, no habiendo respuesta a la aplicación de B foliar. Aldabe (2000) señala las necesidades de aplicación de K al cultivo de arveja en función del contenido de K intercambiable del suelo, considerando un nivel crítico de 0,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> por encima del cual no se recomienda la aplicación. Este autor para

suelos con contenidos de K intercambiable menores a  $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  recomienda una dosis de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , y dosis menores para contenidos intermedios.

## **2.2. SIEMBRA – INOCULACIÓN, EFECTO DE LA ÉPOCA Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL CULTIVO DE ARVEJA**

El suelo en torno al sistema radicular de un cultivo se caracteriza por presentar una alta concentración de azúcares, aminoácidos, lípidos, vitaminas, proteínas. Estas sustancias liberadas por las raíces favorecen el establecimiento de poblaciones microbianas. Dentro de los microorganismos que se pueden encontrar en esta zona, existe un grupo específico llamado “PGPR ó Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal”, las cuales favorecen el desarrollo de los cultivos a través de diferentes estrategias. Por un lado, se encuentran las bacterias fijadoras de N, las cuales toman N del aire y se lo entregan al cultivo. También existen microorganismos solubilizadores de P y los que sintetizan vitaminas, aminoácidos, hormonas, que estimulan el crecimiento vegetal y/o dificultan el desarrollo de patógenos. Asimismo, las micorrizas, que otorgan a la planta una mayor capacidad de absorción de todos los nutrientes y agua porque actúan como una extensión de la raíz de la planta (Carrasco, 2016). La arveja y el haba son noduladas por las especies de rápido crecimiento de *Rhizobium leguminosarum* (Sprent *et al.* 1988). En el caso de la arveja interesan las bacterias fijadoras de N que pertenecen a la especie *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*, las cuales también son infectivas de lenteja y vicia, las cuales forman una gran cantidad de nódulos de tamaño pequeño, muy activos (Ferraris *et al.*, 2012). En general se ha observado respuesta a la inoculación en el cultivo de arveja, pudiendo alcanzar hasta  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  en suelos con historia de legumbres y aún mayores en suelos sin antecedentes de legumbres en el corto plazo (Prieto 2010). Al nivel del plan llevado a cabo por la Comisión Nacional de Fomento Rural, en la etapa inicial de desarrollo del cultivo, no existió experiencia respecto a la inoculación del cultivo de arveja en Uruguay (Izaguirre, 1989). En cambio, actualmente empresas semilleras como

SERKAN SA y Greysing & Elizarzú SRL proveen la semilla de arveja forrajera inoculada.

Si bien el cultivo de arveja puede sembrarse en todo el país, deben realizarse correcciones en la fecha de siembra según la región (Izaguirre, 1989). Este autor sugiere como más conveniente del punto de vista climático la zona costera del Río de la Plata especialmente el sur de San José y parte de Montevideo. En cultivos de arveja de grano seco para rehidratado recomienda para la zona sur el período de siembra de julio y principios de setiembre, (óptimo del 15 y el 30 de agosto). Aldabe, (2000) tiene en cuenta especialmente la incidencia de heladas, por lo que para la producción de estación (mercado en fresco e industria) considera más conveniente la plantación en julio y agosto. En tanto que las empresas que actualmente producen arveja en Uruguay tienen como objetivo realizar la siembra entre la segunda quincena de junio y la primera quincena de julio, para cosechar sobre fin de noviembre – principios de diciembre (Carriquiry 2016 com. pers.).

En los experimentos realizados por Mazzilli (2011) existió una fuerte asociación entre la fecha de siembra y los rendimientos en grano, los mayores rendimientos se lograron con siembras desde junio hasta mediados de julio, en tanto que se observaron descensos en las siembras más tardías. En una de las experiencias realizadas por Mazzilli (2011) en el campo experimental de la empresa Greizing & Elizarzú SRL ubicado en el departamento de Colonia se obtuvieron para 4 fechas de siembra (17 y 30 de junio, 3 de agosto y 13 de setiembre del 2011) los rendimientos expresados en la Figura 1.

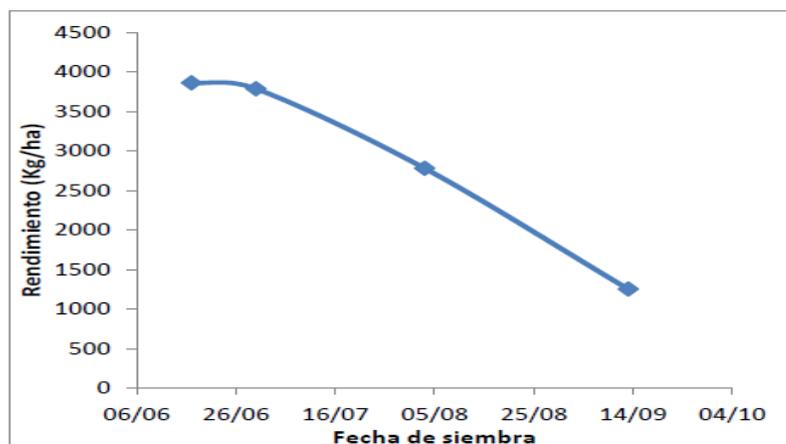


Figura 1: Rendimientos en función de la fecha de siembra. Fuente: Mazilli (2011).

En lo que respecta a densidad de siembra Huamancayo y René, (2007) ponen de relevancia la importancia de atender a la densidad del cultivo, debido a que el rendimiento está muy relacionado con este factor. Es así que, para sitios con larga historia de agricultura continua, para variedades de grano pequeño, recomiendan entre 850.000 - 900.000 plantas por hectárea. Para situaciones de mayor abundancia de nutrientes (con fertilización) indican que la densidad podrá reducirse a 750.000-800.000 plantas por hectárea. En tanto que para Izaguirre (1989) el efecto de la densidad de siembra se relaciona a la época de siembra y al nivel de fertilidad y grado de preparación del suelo, por lo tanto, en la medida que se retrasa la siembra la densidad debe ir aumentando. Señala a su vez, las recomendaciones en función de los resultados experimentales obtenidos por la Estación San Pedro del INTA (Argentina): a) para suelos con más de 5 años de agricultura continua densidades de siembra de 850.000 a 900.000 plantas por hectárea, b) suelos similares a los anteriores pero fertilizados: 750.000 a 800.000 y c) suelos con buenas propiedades físicas y químicas con no más de 3 años de agricultura: 700.000 a 750.000 plantas por hectárea. Para la obtención de densidades en el entorno de 700.000 plantas por hectárea se logran con unos 140 a 170 kg ha<sup>-1</sup> dependiendo del tamaño y poder germinativo de la semilla.

### 2.3. NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO DE ARVEJA

De acuerdo a Allen *et al.* (2006) la cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. La relación ETc/ETo que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (Kc), y se utiliza para relacionar ETc a ETo de manera que  $ETc = Kc \times ETo$ . Los Kc de las diferentes etapas del cultivo de arveja sugeridos por estos autores son: 0,5 para la etapa inicial, 1,15 para la etapa media y 0,3 para la etapa final. Para estos cálculos consideran alturas medias de plantas (0,5 m para la arveja de grano seco) para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ( $HR_{\text{mín}} = 45\%$  y velocidad del viento =  $2 \text{ m s}^{-1}$ ).

El período crítico (máximo requerimiento de agua por el cultivo) de la arveja es la floración y el crecimiento de los granos. El déficit causa fallas en el cuajado, vainas vacías y granos pequeños (Aldabe, 2000).

El cultivo de arveja presenta como ventaja respecto de las gramíneas de invierno, que consume entre 250 a 300 mm de agua útil, con eficiencias de uso de alrededor de 10 a 12 kg de grano por mm de agua consumido (Prieto, 2010). Esto implica que deja en el perfil de suelo un remanente de agua que puede ser aprovechado por los cultivos de verano posteriores (soja o maíz de segunda). Este hecho, asociado a que libera el lote entre 15 y 20 días antes que el trigo, lo convierte en una buena alternativa para el doble cultivo.

Respecto a la tolerancia a la salinidad del agua de riego, la arveja es considerada sensible, con un umbral de conductividad eléctrica (CE)  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  (Aldabe, 2000). La

salinidad en la zona radicular se mide como la (CE) en el extracto de saturación del suelo, y se expresa en deciSiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ) a  $25^{\circ}\text{C}$ . La clasificación en relación a la tolerancia a la (CE) de un cultivo es en Tolerante, Moderadamente Tolerante, Moderadamente Sensitivo y Sensitivo. Allen et al. (2006), clasifican a la arveja como Sensitivo. La salinidad promedio en la zona radicular, a partir de la cual comienza a reducirse la productividad del cultivo sugerida por estos autores es de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$  y la reducción porcentual de la productividad por cada incremento de  $1 \text{ dS m}^{-1}$  es de 14 %. Estos datos son guías generales, ya que la tolerancia depende del clima, condiciones de suelo y prácticas culturales. Además, los cultivos son generalmente menos tolerantes durante las etapas de germinación y llenado de grano.

#### **2.4. ETAPAS FISIOLÓGICAS Y REQUERIMIENTOS TÉRMICOS DE LA ARVEJA**

Para la descripción de las diferentes etapas de desarrollo, Prieto (2010) propone para el caso de Argentina la escala sugerida por Knott (1987), en la que se definen los 4 estados principales: emergencia, crecimiento vegetativo, reproductivo y senescencia. Prieto (2010), considera esta clasificación clave para la identificación de la fenología de la arveja, con el propósito de usarlo en todo lo referente al manejo del cultivo. En el Anexo de este trabajo, se presenta una tabla y la representación gráfica de la secuencia de los diferentes estados fenológicos del cultivo realizada por Knott. La temperatura tiene gran influencia sobre los cultivos y es clave en la determinación de la fecha de siembra, cosecha y las variables de producción. Los grados-día (GD) es uno de los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas y para predecir la fecha de cosecha (García *et al.*, 2012). Los GD se calculan como:  $\Sigma (\text{temp. máx. diaria} - \text{temp. mín. diaria}) / 2 - \text{temp base}$  o como  $\Sigma \text{temp. media diaria} - \text{temp. base}$ . La mayoría de los autores utilizan como temperatura base para la arveja  $0^{\circ}\text{C}$  (Etévé y Derieux, 1982; Ney y Turc, 1993). Para el caso específico

de este cultivo, Ney y Turc (1993) trabajando con tres cultivares diferentes mostraron que el desarrollo progresivo del cultivo puede ser descrito por una función lineal basada en los GD acumulados usando el promedio entre las temperaturas máximas y mínimas diarias, y como temperatura base  $0^{\circ}\text{C}$ . Para estimar los valores óptimos para la temperatura base y la fase en la que el número de granos, importante componente del rendimiento se establece, Poggio *et al.*, (2005), aplicaron un procedimiento de optimización a un conjunto de datos utilizando 25 combinaciones de temperatura base (cinco valores de 3 a 5  $^{\circ}\text{C}$  a intervalos de 0,5  $^{\circ}\text{C}$ ) y de la fase en la que el número de granos se define (cinco valores de 175 a 275 GD). La combinación óptima obtenida fue una temperatura base de  $4^{\circ}\text{C}$  y de 200 GD para todos los grupos. Por su lado, Prieto y Antonelli (datos no publicados, mencionados por Prieto 2010) determinaron las etapas desde germinación en función de la temperatura, debiendo acumular la arveja a la emergencia entre 120 y 166  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_b=0$ ), mientras que, a floración, necesita acumular entre 650 y 700  $^{\circ}\text{C}$  dependiendo de la variedad.

Mazzilli (2011), concluye que es importante ajustar de la mejor manera posible la definición de las etapas de desarrollo, por ejemplo, a qué se llama floración, inicio, plena floración y su momento de ocurrencia y duración en función de los GD. En tanto que Ney y Turc, (1993) en su trabajo, observaron que la progresión de las etapas reproductivas a lo largo del tallo principal fue descrita por regresiones lineales en función de los GD acumulados desde la emergencia. Las progresiones del desarrollo del grano a lo largo del tallo principal definen tres etapas del desarrollo reproductivo en la arveja (floración, llenado de grano y la madurez fisiológica). Debido a que las tasas de desarrollo de las diferentes etapas son relativamente estables en un amplio rango de densidades de plantas, les fue posible cuantificar el desarrollo reproductivo de las plantas de arveja usando tres medidas simples: el inicio de la floración, el tiempo de maduración y el número de nudos en la cosecha. Por lo expuesto, concluyen que los periodos durante los cuales se forman los componentes del rendimiento (número de semilla y masa de semilla individual) se definen con precisión en una planta o incluso en un nudo.

Voisin *et al.* (2002) calculó para: (A), floración: 760 GD, (B), comienzo de llenado de grano: 970 GD (C), mitad de llenado de grano: 1200 GD, y (D) madurez fisiológica: 1460 GD.

En su experimento de evaluación de fechas de siembra para el cultivo de arveja Mazzilli (2011) encontró que en la medida que se atrasó la fecha de siembra (17/06/2011 al 13/09/2011), la duración del periodo emergencia a floración se acortó notoriamente, pasando de 90 a 56 días entre la primera y la última fecha. La acumulación de GD varió de 608 a 695, tomando como temperatura base 4°C.

## **2.5. EFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR**

De acuerdo a Prieto (2010), en Argentina las alternativas existentes como antecesores del cultivo de arveja son fundamentalmente tres: maíz, soja implantada luego de otro cultivo de invierno (llamada comúnmente soja de segunda) y soja de siembra temprana (también llamada soja de primera). El maíz presenta tres aspectos a tener en cuenta: el alto nivel de cobertura del rastrojo, que disminuye el impacto del frío; la menor eficiencia de implantación del cultivo siguiente por el alto volumen de rastrojos, lo cual puede subsanarse incrementando la densidad de siembra de la arveja; y la probabilidad de que en cosecha se levanten espigas del suelo, lo que deteriora la calidad comercial de la arveja. Este autor indica que la secuencia de cultivos trigo/soja de segunda suele presentar mejores condiciones de humedad para la siembra de arveja, pero mayor impacto de fuertes heladas, debido a la menor cobertura de suelo, daño que se atenúa en la medida de que las condiciones de humedad sean óptimas. Finalmente, lo más común es que el antecesor sea soja de primera, con lo que se maximiza la eficiencia de implantación de la arveja por el bajo nivel de cobertura, pero a su vez, la gran desventaja de este antecesor está en el hecho de que ambos cultivos dejan escaso nivel de cobertura.

Mazzilli *et al.* (2008), evaluaron el planteo futuro de incorporación de la arveja en los sistemas agrícolas (para generar cobertura en invierno, absorber N evitando que salga fuera del sistema y como estrategia de aporte de N vía FBN). Consideran que seguramente signifique la siembra sobre una proporción importante de chacras con antecesor soja, y se plantearon la duda acerca de si se podría correr algún riesgo de inoculación de esta especie con cepas naturalizadas de *Bradirhizobium japonicum*, lo cual, podría comprometer la productividad de la arveja y/o afectar la magnitud de la FBN. Para tres cultivares (4010, Sonata y Tucker) estudiaron la respuesta a la inoculación para dos situaciones de suelos: con y sin antecesor soja en los últimos 10 años. Las variedades 4010 y Sonata parecerían haber sido levemente afectadas al ser sembradas sobre suelos con antecesor soja. Es así que el peso seco de las plantas inoculadas de arveja en suelo con antecedentes de soja fue de 4,3 y 4,6 g en las variedades 4010 y Sonata respectivamente, en tanto que en los suelos sin antecedentes de soja las plantas tuvieron mayor peso (5,4 y 4,9 g en 4010 y Sonata respectivamente). Sin embargo, la variedad Tucker en peso de planta no evidenció efecto negativo alguno cuando se plantó en suelos que habían tenido soja. De acuerdo a estos resultados, estos autores descartan en forma preliminar un posible problema de siembra de arveja sobre chacras con historia de soja, por efectos negativos de cepas de *Rizhobium japonicum*, naturalizadas.

Por otra parte, según Gilsanz (2012) la arveja forrajera no debe ser plantada donde hubo soja o arveja por un periodo de tres años, debido a enfermedades de raíces. Por esas razones Izaguirre (1989) recomienda en general, no repetir el cultivo de arveja en el mismo campo durante 3 o más años, lo que generalmente se cumple, puesto que en suelos donde se ha realizado el cultivo más de 1 año, los rendimientos decaen en forma progresiva. Paralelamente Izaguirre (1989) indica que ha encontrado resultados satisfactorios cuando la arveja sigue cultivos de trigo, maíz con rastrojo incorporado temprano y papa. En consecuencia, este autor considera que la arveja puede ser una buena opción de rotación para productores papeiros. Esto es debido a que la papa como cultivo antecesor presenta dos factores que inciden favorablemente para el éxito del cultivo posterior: 1) el importante remanente de nutrientes dado por la utilización de altas fertilizaciones y 2) el hecho de que por ser la papa un cultivo

que requiere alta inversión y por el riesgo, el productor elige los mejores suelos de la chacra (Izaguirre, 1989). Sumado a esto, en la zona de producción de papa se cuenta con maquinaria específica para la nivelación de chacras como lo es el "landplane", el cual permite la eliminación del microrelieve contribuyendo a una mejor implantación del cultivo de arveja (Scalone 2017, Coms. per.).

## **2.6. COSECHA DEL CULTIVO DE ARVEJA**

Durante la madurez del grano el contenido de azúcar disminuye rápidamente y aumenta el contenido de almidón y polisacáridos (Aldabe, 2000). La cosecha de arvejas para mercado en fresco se lleva a cabo cuando los granos alcanzan su máximo tamaño y el color de la chaucha comienza a cambiar de verde oscura a verde claro. Esta operación se realiza a mano, en varias pasadas cada 3-4 días, con alto requerimiento de mano de obra y constituyendo el principal costo del cultivo (Aldabe, 2000). En contraste, en el cultivo para industria la cosecha en general se realiza mecánicamente con trilladoras. La cosecha para industria (grano seco) se realiza cuando las vainas toman un color amarillo generalizado y tienen un aspecto apergaminado (Huamancayo y René 2007). Esta cosecha mecánica es similar a la del cultivo de soja, por lo tanto, admite el mismo tipo de maquinaria. Un aspecto importante al momento de cosecha es el porte del cultivo. Appella y Manso (2015) englobando los resultados de varias campañas dejan en claro que el uso de cultivares de porte más erecto permite una recolección más segura y eficiente, lo que se traduce en un mayor rendimiento respecto a aquellas de porte rastrero.

De acuerdo a Huamancayo y René (2007) los granos deben ser almacenados con un contenido de humedad del 13 a 14%, en depósitos limpios, desinfectados o silos especiales preparados para tal fin, ventilados y frescos.

### **3. CRECIMIENTO Y ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE ARVEJA**

#### **3.1. FACTORES QUE AFECTAN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO**

Como se mencionó, las leguminosas adquieren la mayor parte del N a través de la fijación biológica llevada a cabo por los *rizobium*. La nodulación se ve afectada por la temperatura del suelo, su contenido de agua, acidez, salinidad, concentración de N y disponibilidad de P (Liu *et al.*, 2011). En coincidencia, Jayasundara *et al.* (1998) señalan que la arveja es muy sensible a los factores ambientales tales como agua, estrés salino, las altas temperaturas y la compactación del suelo.

Liu *et al.* (2011), exploran y comparan los métodos de modelado para cuantificar la fijación biológica del N por las leguminosas de grano y forraje en campo, e interpretan críticamente los métodos utilizados para cuantificarla, en función de los distintos enfoques. Estos autores encontraron que como base para estimar la FBN por las leguminosas, todos los modelos usan la tasa potencial de fijación de N, aunque difieren en cómo la estiman. Los modelos incorporan diferentes funciones para estimar cómo el potencial máximo de la tasa de fijación de N está restringido por la temperatura, el agua del suelo, concentración de N en la interfase suelo/planta, estado de la planta y la etapa de crecimiento. Concluyen que también es necesario un trabajo más profundo para caracterizar el efecto tanto del déficit hídrico del suelo como del exceso de agua sobre la FBN de las leguminosas. También señalan que la respuesta de la FBN de las leguminosas a otros factores actualmente ausente de todos los modelos, como el pH del suelo y la permeabilidad al O<sub>2</sub> debe ser incluida.

Sprent *et al.* (1988), indican los principales parámetros ambientales que inciden en las diferentes etapas del proceso de nodulación: el crecimiento del pelo radicular es afectado por el suplemento de agua, temperatura, pH, salinidad y nutrientes minerales; mientras que la infección es influenciada por: el suplemento de agua, temperatura, pH, salinidad; en el caso del crecimiento y diferenciación de los

nódulos tienen efecto promotor: las condiciones de frío, salinidad, déficit de agua y exceso de agua; finalmente para la función del nódulo (medida como N fijado) inciden temperaturas extremas, salinidad extrema, pH, suplemento de agua y dolencias generales de la planta.

Lie (1971) define el rango óptimo de temperatura de 20 a 26°C para la FBN. Waughman (1977) estima como temperatura mínima para la FBN en arveja forrajera 0,5°C y como óptima 25°C.

El contenido de agua disponible es un parámetro importante que incide en la FBN, ya sea directamente influyendo en la nodulación, o indirectamente a través de la reducción del crecimiento de la planta (Stevenson *et al.* 1995). El modelo APSIM (The Agriculture Production Systems Simulator) tiene incorporada una ecuación lineal que relaciona la FBN con el agua en el suelo. En este modelo considera el agua disponible relativa del suelo, estableciendo un valor crítico de agua en el suelo por encima del cual la fijación de N no es inhibida por el contenido de agua del mismo, y un umbral por debajo del cual la fijación de N está totalmente restringida por el déficit hídrico del suelo (Liu *et al.* 2011). En referencia a APSIM, Chen *et al.* (2015) evaluaron el mismo para cuatro especies de leguminosas, entre ellas la arveja forrajera. Las simulaciones variaron en ubicación, cultivar, fecha de siembra, clima, tipo de suelo, riego y fertilizante aplicado. En general, la acumulación y la fijación de N en la biomasa aérea se simularon razonablemente bien para todas las leguminosas, con un 93% de correlación en la acumulación de N observada y un 85% en la fijación de N explicada por el modelo. Concluyen que el buen acuerdo entre la fijación de N simulada y la medida indican que APSIM ha captado los principales factores ambientales (desarrollo del área foliar, uso de la radiación y temperatura) para estimar la fijación de N por las leguminosas y proponen que los modelos de simulación como APSIM son herramientas valiosas para mejorar el conocimiento sobre el papel de las leguminosas en los sistemas agrícolas.

Según Stevenson *et al.* (1995) la topografía influye en la distribución de agua y del N del suelo, por lo tanto, ejerce un control indirecto sobre la actividad de FBN de las leguminosas. El contenido de N mineral es la propiedad del suelo individual

fundamental en determinar la fijación biológica de  $N_2$  (Jensen, 1986). Las concentraciones minerales de N en el perfil del suelo son altamente dinámicas y espacialmente variables y pueden estar fuertemente relacionadas con otras propiedades del suelo tales como N total, materia orgánica total, textura del suelo (aireación) y contenido de agua. Sin embargo, la FBN no siempre es óptima, y se sabe que disminuye al final del ciclo de crecimiento (Jensen, 1987). Este autor, en su experimento, encontró que la tasa de fijación de N decreció simultáneamente con la reducción de la tasa de crecimiento y el área foliar del cultivo, y con la movilización del N desde los órganos vegetativos.

Voisin, *et al.* (2002), estudió la fijación de N en arveja con el cultivar Baccara para diferentes niveles de fertilización nitrogenada: 0, 50 y 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (año 1999) y 0, 100, 200 y 400 kg de N ha<sup>-1</sup> (año 2000) aplicados a la siembra a través la técnica de dilución de isótopos <sup>15</sup>N. Estos autores observaron que el N derivado de la FBN correspondió a 83% y 84 % en el tratamiento testigo para los dos años estudiados respectivamente. En cuanto al efecto de altas dosis, en el año 1999 el mínimo (55 %) se observó en el tratamiento que recibió la dosis mayor de N (100 kg de N ha<sup>-1</sup>) en tanto que en el año 2000 no se detectó fijación de N atmosférico en el tratamiento que recibió 400 kg de N ha<sup>-1</sup>. Los autores concluyeron que la fijación simbiótica de N fue inhibida por la presencia de N mineral en el suelo, siendo sustituido por absorción de N mineral, pero de todas formas se dio una nutrición óptima de N para todos los tratamientos.

### **3.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO**

Hauggaard-Nielsen *et al.* (2009) en un estudio con el objetivo de mejorar la comprensión de variabilidad espacial a nivel de campo de la biomasa de la arveja dentro de un campo de 10 hectáreas encontraron correlaciones positivas significativas entre varias propiedades del suelo y la biomasa producida en la madurez, siendo estas propiedades: contenidos de materia orgánica, K intercambiable

y pH. En cambio, encontraron que se relacionaba inversamente con el contenido de N total en la capa de 25 a 75 cm de profundidad. A su vez, no se detectó efecto significativo de la posición topográfica para la producción de materia seca a la cosecha.

Mazzilli *et al.*, (2008), evaluando los tres cultivares de arveja forrajera mencionados anteriormente determinaron que el cultivar Tucker presentó el mejor comportamiento en casi todas las características evaluadas (resistencia al vuelco, presencia de zarcillos, producción y calidad de biomasa cosechada). La cantidad de N proveniente de la FBN no fue elevada en estas condiciones, y fue afectada por las altas disponibilidades de N. Dentro de este marco nuevamente Tucker fue el cultivar que mostró mayor potencial de FBN. A pesar de las condiciones climáticas extremas en cuanto a temperatura, en 80 días el cultivo mostró una alta capacidad de crecimiento y absorción de N, estimándose que la producción de biomasa total podría superar los 6000 kg ha<sup>-1</sup> para el cultivar “Tucker”.

En el trabajo mencionado anteriormente Hauggaard-Nielsen *et al.* (2009), observaron una variabilidad considerable en la producción en la floración y madurez entre las 56 parcelas de su estudio. La biomasa de la arveja en la floración varió de 2,4 a 7,7 Mg ha<sup>-1</sup> (mediana de 5,3 Mg ha<sup>-1</sup>) y en la madurez de 4,9 a 13,8 Mg ha<sup>-1</sup> (mediana 8,1 Mg ha<sup>-1</sup>).

A nivel nacional se ha desarrollado poca información sobre la producción de biomasa tanto como para abono verde como para la producción de grano seco en cuanto a su cantidad y calidad. Los rendimientos de grano seco obtenidos en Uruguay son del orden de 2500 kg ha<sup>-1</sup>. (Bauza *et al.* 2012). El punto de equilibrio que maneja la empresa SERKAN SA para el plan de negocio es de 2500 kg ha<sup>-1</sup>. (Carrquiry, 2016. com. pers.). La empresa GRANECO maneja como rendimientos adecuados entre 1500 a 2000 ka ha<sup>-1</sup> con pequeños productores orgánicos (Vives, 2017, com. pers.).

Parcelas de observación instaladas en un cultivo comercial de arveja en Young, departamento de Río Negro, mostraron una variación de rendimientos entre 990 kg ha<sup>-1</sup> a 3.300 kg ha<sup>-1</sup> (Solari, 2002).

### **3.3. PARTICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA**

#### **3.3.1. Producción de grano**

El rendimiento de la arveja depende fuertemente de dos componentes: el número de granos y el peso de los mismos, lo que depende a su vez, de la secuencia del proceso de desarrollo reproductivo (Ney y Turc, 1993). Meadley y Milbourn (1971) en su experimento en el que redujeron la luz solar en diferentes etapas del cultivo, sugieren que la principal fuente de materia seca para la formación del rendimiento de la arveja es el fotosintato producido durante el período posterior a la floración, en lugar de aquel trasladado de raíces o tallos después del almacenamiento durante el período vegetativo. Siendo entonces la radiación uno de los factores más importante en la generación del rendimiento, es deseable que al momento de iniciada la floración se intercepte la mayor proporción de radiación fotosintéticamente activa por parte del cultivo, y se mantenga durante el llenado de granos, para lo cual se requiere un elevado porcentaje de cobertura del mismo, el cual según Appella y Manso (2013) difícilmente se logre con densidades inferiores a 100 plantas m<sup>-2</sup>. Por otro lado, Poggio et al. (2005), demostraron que tanto el número de vainas, como el número de granos por unidad de superficie, se relacionaron positivamente con el coeficiente fototermal (relación entre energía de la radiación incidente por unidad de superficie, y la temperatura media, en MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). El número de semillas por unidad de superficie se relaciona con el rendimiento de arveja, donde el mismo explica el 95 % del rendimiento con un coeficiente de correlación de  $r^2 = 0,90$  (Prieto, 2010).

Voisin *et al.* (2002), en el trabajo citado, relacionaron el efecto del régimen de nutrición nitrogenada sobre la biomasa y la partición de N en parte aérea. Los granos, las vainas, órganos vegetativos aéreos y raíces se consideraron por separado. Dentro de los resultados más relevantes observaron que el rendimiento de grano no tuvo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos (0, 100, 200 y 400 kg de N ha<sup>-1</sup>), variando entre 631 a 700 g m<sup>-1</sup> (400 y 200 kg de N ha<sup>-1</sup> respectivamente). Sin embargo, encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de N en cuanto a la biomasa de las vainas (98 a 112 g m<sup>-1</sup> para 0 y 200 kg de N ha<sup>-1</sup>

respectivamente) y los órganos vegetativos aéreos (tallos y hojas) (329 a 412 g m<sup>-1</sup> para 0 y 400 kg de N ha<sup>-1</sup> respectivamente). La concentración de N en el grano fue similar para los tratamientos de 0 N, 100 N y 200 N (3,58 %) y significativamente menor para el tratamiento de 400 N (3.23 %), pero la concentración de N de las partes vegetativas (vainas, tallos y hojas) no fue significativamente diferente entre tratamientos para cada tipo de órgano. A pesar de diferencias pequeñas pero significativas medidas en la cosecha en 1999, la acumulación de biomasa total en el ciclo de crecimiento fue similar entre los tratamientos.

### **3.3.2 Arveja como cultivo de cobertura y abono verde**

Calegari y Peñalva (1994) definen al abono verde como la utilización de plantas en rotación, sucesión o consociadas a cultivos, incorporándolas al suelo o dejándolas en superficie. Contribuyen de esta forma a la protección superficial, así como al mantenimiento y/o mejoría de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, inclusive a profundidades significativas a través de las raíces de las plantas. Estas plantas pueden tener también otros destinos como producción de semillas, alimentación animal etc. En cambio, los cultivos de cobertura (CC) son aquellos que se siembran específicamente para mantener el suelo cubierto, minimizando las pérdidas de suelo por erosión, y la pérdida de nutrientes en sedimentos o por lavado (Ernst, 2004).

Gilsanz (2012) propone utilizar la arveja forrajera como abono verde, destacando que con inoculación apropiada realiza un buen aporte de N (el N fijado biológicamente está en el rango de 50-200 kg/ha), tiene un ciclo relativamente corto (de unos 180 días) y resulta fácil de incorporar, siendo la producción de 2-3 Mg de materia seca (MS) ha<sup>-1</sup>.

Sawchik *et al.* (2015) analizaron los resultados de un experimento llevado a cabo para evaluar diferentes CC invernales y su efecto en algunas propiedades del suelo y

en el rendimiento posterior del cultivo de maíz, durante ocho años continuos (2008-2014) en la EEMAC (Paysandú). Los tratamientos utilizados fueron barbecho limpio, avena, triticale, raigrás, trébol alejandrino y arveja. La producción de biomasa fue muy afectada por el tipo de CC y por el año. Los CC que produjeron más biomasa fueron arveja, avena y triticale, 6.06, 4.4 y 3,72 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Para el caso específico de la arveja, la producción osciló entre 4.7 a 7.38 Mg ha<sup>-1</sup> de MS en 2008 y 2009 respectivamente. Las respuestas mayores al agregado de N en V6 del maíz se lograron con CC gramíneas (avena, raigrás y triticale), fueron en promedio de 32%, en cambio, el maíz sembrado sobre los CC de leguminosas (T. alejandrino y arveja) tuvieron un impacto de 25%. Este resultado indica que hubo aporte de N de las leguminosas al cultivo siguiente en la rotación.

#### **3.4. ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO POR EL CULTIVO DE ARVEJA - DILUCIÓN**

Hauggaard-Nielsen *et al.* (2009) estudiaron la acumulación de N total en el cultivo de arveja, la cual osciló entre 63-248 kg N ha<sup>-1</sup> (media 136 kg N ha<sup>-1</sup>) en la floración, y 87-333 kg N ha<sup>-1</sup> (media 280 kg N ha<sup>-1</sup>) en la madurez. Este autor indica que la proporción del N total derivado de la atmósfera (% Ndfa) en la floración varió de 65% a 92%, (promedio 80%). En la madurez el % Ndfa varió de 26 a 81% (promedio 55%). Concluyó que la mayoría del N de la arveja acumulado en la floración se originada de la FBN, mientras que el N total acumulado en la madurez se originó de la absorción adicional de N en el suelo.

A partir de la curva de dilución de N se puede definir la concentración más baja de N para la producción máxima de biomasa. Ney *et al.* (1997) establecieron la curva de dilución de N crítica, que corresponde al nivel de nutrición de N óptima, trabajando con mutantes no nodulantes de arveja a los que se les suministraron diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Según estos autores los coeficientes de la ecuación ajustada son  $\%N = 5,08 x^{-0,32}$ , siendo x materia seca expresada en g m<sup>-2</sup>. La

curva de dilución de N crítica de la arveja se ha utilizado para el diagnóstico para el nivel de nutrición de N de los cultivos. Posicionando los valores experimentales en la curva de dilución de N definida por Ney *et al.* (1997), Voisin *et al.* 2002, obtuvieron los valores que se expresan en la Figura 2 y señalan que no hubo ningún tipo de estrés de N durante el ciclo de crecimiento, independientemente del tratamiento de N, concluyendo que la nutrición óptima de N se obtuvo mediante la sustitución de la fijación simbiótica por absorción radicular de N mineral.

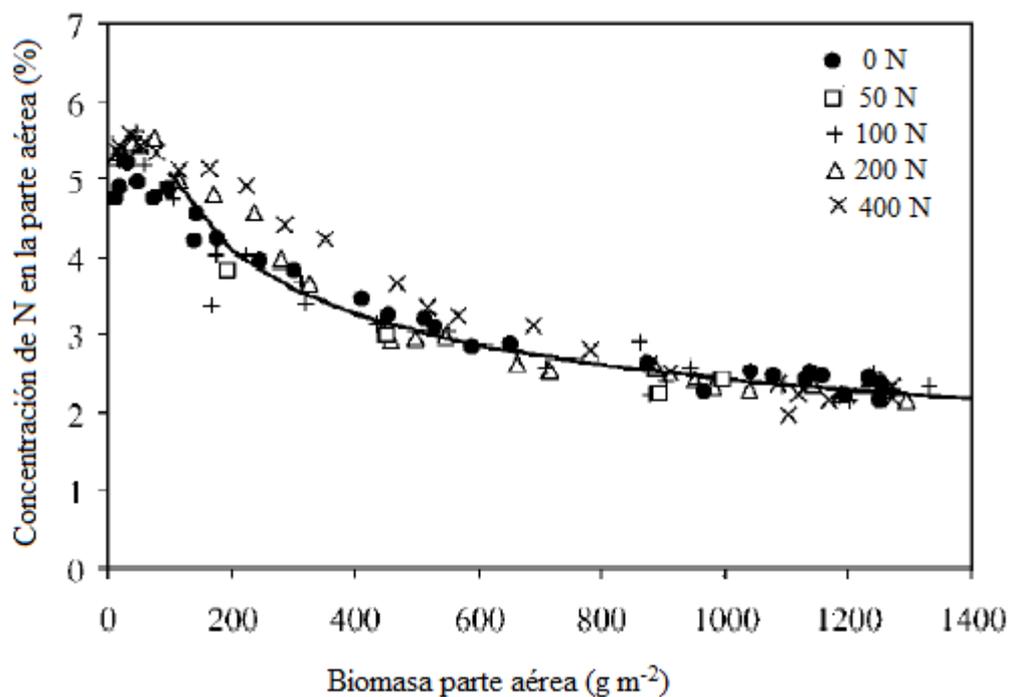


Figura 2. Curva de dilución de N en el cultivo de arveja. Adaptada de Voisin *et al.*, (2002).

Esta curva expresa la concentración de N en parte aérea (% N) en relación con la MS de la parte aérea en función de la disponibilidad de N mineral en el suelo para los diferentes tratamientos (0 N, 50 N, 100 N, 200 N y 400 N) para los años 1999 y 2000. Cada punto es la media de las cuatro repeticiones.

#### **4. EL CULTIVO DE ARVEJA Y LA EROSIÓN HÍDRICA EN URUGUAY**

Sawchik *et al.* (2015) realizaron un diagnóstico del esquema agrícola actual que indica que el cultivo que controla la rotación es la soja. En este marco, el área actual de soja duplica la suma del área de los cultivos de invierno para grano (trigo, cebada, colza). Esto determina que, durante la secuencia agrícola, se generan períodos de barbecho largos, con alto riesgo de erosión entre cultivos de verano y más precisamente entre la cosecha de cultivos de soja de segunda y la soja o maíz de primera. Por lo tanto, estos autores señalan que la generación de cobertura rápida durante el invierno es el principal problema a solucionar en el corto plazo, para proteger al suelo de la gota de lluvia, siendo desde el punto de vista del control de la erosión el período más indicado para colocar un CC.

Por otro lado, a cielo abierto, la horticultura presenta más problemas en cuanto a la conservación de los suelos que otros sistemas de producción. Esto se debe a que aún no es aplicable la eliminación total del laboreo (aunque se lo puede reducir significativamente). Los cultivos hortícolas cubren poco el suelo por períodos relativamente cortos y no es económica ni prácticamente posible, en muchos casos, la rotación con pasturas o intercalar abonos verdes. (Durán y García Préchac, 2007).

El decreto N° 405/2008 exige la presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable de los Suelos en Uruguay. En los Planes se debe exponer un sistema de producción proyectado o rotación, que determine una erosión tolerable teniendo en cuenta los suelos del predio, la secuencia de cultivos y las prácticas de manejo, siendo obligatorio desde 2013. El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca tiene en sus objetivos estratégicos ir incorporando los Planes de Uso a nuevos rubros y sistemas, en forma gradual (Hill *et al.* 2015b). Para su evaluación se plantea la utilización del modelo USLE/RUSLE ajustado y validado a las condiciones del país (Clérici y García Préchac, 2001). Estos autores argumentan que la erosión de los suelos es determinante de la sustentabilidad de los sistemas de producción, ya que a nivel de las unidades productivas (predios), la erosión perjudica por la propia pérdida de suelo y

por asociarse a la degradación de las propiedades del suelo que permanece *in situ*. Consideran además que la principal ventaja de un modelo de simulación es poder estimar la tasa de erosión que ocurriría con determinado uso y manejo del suelo, o variantes tecnológicas de un mismo uso (diferentes manejos), en el proceso de elaboración de los proyectos de explotación prediales. Puentes (1981) adaptó las máximas pérdidas tolerables a las condiciones de nuestro país, para los perfiles de suelos seleccionados de las 99 unidades de mapeo de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:1.000.000. El criterio utilizado para asignar las máximas pérdidas es el usado corrientemente por el Servicio de Suelos de los Estados Unidos. Las pérdidas tolerables varían entre 2 y 12 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en base a: conservar una profundidad adecuada de suelo productivo, evitar el desarrollo incipiente de cárcavas y evitar pérdidas de nutrientes vía escurrimiento (Puentes, 1983).

La determinación de la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie se realiza de acuerdo a la estimación que realiza la USLE/RUSLE (Wischmeier y Smith, 1978) y que se plantea como:  $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$

Donde A es la pérdida de suelo por unidad de superficie. Sus unidades son toneladas o megagramos por unidad de superficie (Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

- R es el factor erosividad de la lluvia; es el producto acumulado para el período de interés (normalmente un año), con cierta probabilidad de ocurrencia (normalmente 50% o promedio), de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 minutos de las lluvias. Sus unidades, simplificadas, son julios por unidad de superficie (J ha<sup>-1</sup>).
- K es el factor erodabilidad del suelo; es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor erosividad de la lluvia (MgvJ<sup>-1</sup>), cuando el suelo es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de una pendiente de 9% de gradiente y 22,1 m de longitud.

Los demás factores son adimensionales:

- L es el factor longitud de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en 22,1 m de longitud, a igualdad de los demás factores.
- S es el factor gradiente de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con un determinado gradiente y el estándar de 9%, a igualdad de los demás factores.
- C es el factor uso y manejo; es la relación de pérdidas por erosión entre un suelo con un determinado sistema de uso y manejo (rotación de cultivos, manejo de los mismos, laboreo, productividad, manejo de residuos, etc.) y el mismo suelo puesto en las condiciones en que se definió K, a igualdad de los demás factores.
- P es el factor práctica mecánica de apoyo; la relación entre la pérdida de suelo (RPS) con determinada práctica mecánica (laboreo en contorno, en fajas, terrazas, etc.) y la que ocurre con laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores.

Las determinaciones para estimar el factor C deben hacerse en condiciones promedio o ser el promedio de diferentes situaciones de una misma condición de uso y manejo.

Para el cálculo del Factor C (uso y manejo), se determina la Relación de Pérdida de Suelo (RPS) a partir de la versión revisada RUSLE (Renard *et al.*, 1997). La RPS está referida a la relación entre un suelo con un uso y manejo particular y ese mismo suelo mantenido permanentemente desnudo. La ecuación que la estima es:  $RPS = UP \cdot CV \cdot CR \cdot R \cdot CA$  donde: UP es el subfactor de uso previo, CV el subfactor cobertura vegetal, CR el subfactor cobertura por residuos, R el subfactor rugosidad superficial y CA el subfactor contenido de agua.

Para el cálculo de los subfactores se debe medir la fracción de la superficie cubierta por la parte aérea de la vegetación (Stocking, 1988), la altura de la vegetación, la superficie cubierta por residuos (Hartwig y Laflen, 1978) y la rugosidad al azar (Allmaras *et al.*, 1966). A su vez se toma de tablas la masa de raíces vivas y el subfactor contenido de agua en el suelo vale 0 cuando el contenido de agua del suelo

es igual o menor al punto de marchitez permanente y varía linealmente entre 0 y 1 con contenidos de agua en el suelo en el rango de agua disponible (Hill *et al.* 2008).

Para determinar la duración de las diferentes etapas del cultivo se sigue el modelo definido en 1965 por Wischmeier y Smith (García Préchac, 1992). Según este procedimiento el Período 0 o F: Barbecho rugoso; desde la arada con volteo hasta el comienzo del afinamiento de la sementera. Período SB: Cama de semillas; desde el comienzo del afinado de la sementera hasta que el cultivo haya cubierto el 10 % de la superficie del suelo. Período 1: Establecimiento; fin del período anterior hasta que el cultivo haya cubierto el 50% del suelo. Período 2: Crecimiento; fin del período anterior hasta que el cultivo haya cubierto el 75% del suelo. Período 3: Maduración; fin del período anterior hasta la cosecha. Período 4: Rastrojo; desde la cosecha hasta la próxima arada con volteo o siembra (cuando se hace siembra directa o laboreo reducido). ídem al período F anterior.

Hill *et al.* (2015a) realizaron la estimación de RPS para cultivos hortícolas, ya que estos tienen particularidades, como: ser cultivados en surcos o camellones y mayoritariamente bajo riego. Para el caso del cultivo de arveja hortícola (se planta sobre camellones), detallaron cuidadosamente la metodología a seguir de acuerdo al manejo del suelo. Para el cálculo del Factor C, se dividió cada cultivo en diferentes periodos y en esos periodos se determinó la RPS que multiplicada por el valor de EI30 (se define como la energía cinética por la máxima intensidad de lluvia en 30 minutos y según García Préchac (1992) expresa cuantitativamente la interacción entre los fenómenos que provocan la erosión hídrica: la magnitud del golpeteo, disgregación y transporte por salpicadura del suelo -energía cinética- y la de la acción de transporte del escurrimiento superficial que está relacionada a la máxima intensidad en 30 minutos) y el valor asignado para contenido de agua da como resultado el Factor C de cada periodo. Sumados estos resultados para el total de los cultivos de la rotación, se pondera por los años de la rotación y la superficie ocupada por el surco y el entresurco dando como resultado el Factor C del sistema evaluado.

De acuerdo a la estimación realizada por el modelo con los Factores C calculados para Uruguay, Hill *et al.* (2015a) concluyen que los sistemas hortícolas

convencionales presentan un alto riesgo de erosión, lo que concuerda con la situación de erosión actual severa, ya que presentan una larga historia de uso agrícola intensivo. De acuerdo a estos autores en un escenario de cambio climático que aumente la erosividad de la lluvia, sería necesario incluir pasturas para reducir la erosión promedio anual. Encontraron que en los sistemas que incorporan abonos verdes y pasturas se redujo la tasa de erosión estimada en 30 % y 60 % respectivamente para todas las situaciones de pendiente analizadas.

Mancassola *et al.* (2016) trabajaron con 15 cultivos hortícolas durante dos años medidos a campo, encontrando valores de RPS que variaron entre un mínimo de 0,002 (en el período 2) y un máximo de 0,442 (en el período 1) para camellones y valores mínimos de 0,017 (en el período 2) y máximo de 0,500 (en los períodos 1 y 2) para el entresurco. Para el caso específico del cultivo de arveja (hortícola) en un sistema conservacionista encontraron los siguientes valores de acuerdo con cada período para camellones que se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estimaciones de relación de pérdida de suelo para el cultivo de arveja realizado en camellones.

Período USLE/RUSLE	0	1	2	3	4
Período en días	0	14	80	122	182
RPS camellón	0,293	0,295	0,144	0,068	0,028
RPS entresurco	0,381	0,500	0,316	0,09	0,039

Fuente: Adaptado de Mancassola *et al.* (2016).

Al contrario que para la arveja hortícola no se ha realizado la estimación del Factor C de la USLE/RUSLE para el cultivo de arveja forrajera para las condiciones de nuestro país. Debido a que este cultivo se siembra sobre terreno liso es necesario estimar las RPS para su inclusión en el modelo de erosión. Esto se debe a que las estimaciones realizadas para arveja hortícola sembrada en camellones, y por lo tanto

con un manejo de suelos completamente diferente, no es probable que coincidan con las del cultivo de arveja forrajera.

## **5. CONCLUSIONES**

La arveja forrajera es una alternativa de cultivo que puede ser destinado a varios propósitos: abono verde, CC, alimentación animal y humana, tanto en secuencias de producción agrícolas como hortícola.

Dentro de sus principales ventajas se destacan: el realizar la FBN, lo que redundará en beneficios económicos en cuanto al ahorro de fertilizantes minerales, y ambientales, por menor contaminación de suelos y cuerpos de agua. No utiliza mano de obra comprometida en otras tareas del predio ya que se puede mecanizar 100% en forma similar a la soja; permite la realización de otro cultivo de verano en la misma zafra en la secuencia agrícola y la rotación con la papa (principal cultivo hortícola del país) u otros cultivos hortícolas dentro de este sistema; presentar demanda de mercado tanto a nivel externo como interno y siendo relativamente de costo bajo.

En cuanto a las principales restricciones se señalan: siembra vulnerable por condiciones atmosféricas (intensas lluvias en invierno), necesidad de contar con suelos con buen drenaje, disponibilidad de maquinaria para siembra, tratamientos sanitarios y cosecha, por la zona o por competencia con trigo,

Por otra parte, sería necesaria profundizar en el conocimiento del aporte de N a través de la FBN, tanto para la reducción de los aportes en fertilizantes en su desarrollo como el aporte de N para el cultivo sucesor (entrada y salida del N del sistema), el volumen de materia orgánica que aporta al sistema y su relación Carbono/N, el potencial de rendimiento en grano en diferentes secuencias de cultivo o como aporte biomasa como abono verde o cultivo de CC, y como incide su inclusión en el sistema productivo en la erosión hídrica a través de la determinación del factor C de la USLE/RUSLE.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Aldabe L. 2000. Arveja. En: Aldabe L. (Ed.) Producción de hortalizas en Uruguay. Montevideo: Epsilon. Pp 118 -120.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, FAO. 298 pp
- Allmaras RR, Burwell RE, Larson WE, Holt RF. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington : USDA. (Conservation Research Report ; N°7). 22 pp
- Appella C, Manso L. 2015. Tecnología de manejo en el cultivo de arveja. [En línea]. Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2014/15. INTA Serie: Informes Técnicos Año 3 N°1: 100-102. Consultado 27 de nov. De 2017. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_barrow\\_-\\_tecnologa\\_de\\_manejo\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_ar.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_tecnologa_de_manejo_en_el_cultivo_de_ar.pdf)
- Appella C, Manso L. 2013. El cultivo de arveja, una alternativa para el invierno. [En línea]. 5 pp. Consultado 27 de nov. De 2017. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_barrow\\_-\\_tecnologa\\_de\\_manejo\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_ar.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_tecnologa_de_manejo_en_el_cultivo_de_ar.pdf)
- Bauza R, Bratschi C, Capra G. 2013. Evaluación de la arveja forrajera como alimento para cerdos en engorde. Agrociencia Uruguay, 17(2): 91-98
- Bauza R, Capra G, Bratschi C. 2012. Valor nutritivo para cerdos de la arveja forrajera. Revista INIA N°29. Montevideo: Aguila Comunicaciones y Marketing. 29 - 33

- Calegari A, Pañalva M. 1994. Abonos verdes: importancia agroecológica y especies con potencial de uso en Uruguay. MGAP (JUNAGRA)-GTZ. Montevideo. Hemisferio Sur. 151 pp
- Carrasco N. 2016. Inoculantes para Fina. Bacterias que fertilizan nuestros cultivos. [En línea]. Informe Técnico – Cultivos de fina 2015/16 – CEI Barrow En: Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2015/16 1a ed. Tres Arroyos, Buenos Aires: INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Libro digital, PDF Archivo Digital. Pp 128-129 Consultado 27 de nov. de 2017. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_actualizacion\\_tecnica\\_en\\_cultivos\\_de\\_cosecha\\_fina\\_2015-16.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_actualizacion_tecnica_en_cultivos_de_cosecha_fina_2015-16.pdf)
- Clérici C, García Préchac F. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur del Río de la Plata. *Agrociencia Uruguay*, 5 (1): 92-103.
- Contreras VE, Thomason RC, Wilson LW. 1995. Metodología para estimar el máximo potencial de nitrógeno fijado simbióticamente con *Pisum sativum* ssp *arvense* (L.) Poir y *Vicia villosa* Roth., una aproximación aritmética. *Agronomía Tropical* 46(4):447-464.
- Corres A, Gilsanz J.C., Silvera M, Arboleña J, Carolina L. 2015. Abonos verdes, enmiendas orgánicas y mínimo laboreo: alternativas para mejorar la salud del suelo y potenciar la producción hortícola. *Revista INIA* N° 42. Montevideo: Aguila Comunicaciones y Marketing. Pp 31-35
- Chen Ch, Lawesa R, Fletcher A, Olivera Y, Robertson M, Bell M, Wang E. 2015. How well can APSIM simulate nitrogen uptake and nitrogen fixation of legume crops? *Field Crops Research* 187 (2016), 35–48.

Diaz RM, García F, Bozzano A. 1980. Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotaciones de pasturas y cultivos. En: Rotaciones. Colonia, Uruguay: MAP (Ministerio de Agricultura y Pesca) - Centro de Investigaciones Agrícolas “Alberto Boerger”. Miscelánea 24: 1-25

DIEA-MGAP (Oficina de Estadísticas Agropecuarias-Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2016. Encuesta Agrícola: Invierno 2016. [En línea]. Serie Encuestas N° 337. Consultado 13 de nov. de 2017. Disponible en: [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_agricola\\_invierno\\_2016](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_agricola_invierno_2016)

Dogliotti S, Van Ittersum MK, Rossing WAH. 2005. A method for exploring development options at farm scale: a case study for vegetable farms in south Uruguay. *Agricultural Systems*, 86(1): 29-51

Durán A, García Préchac F. 2007. Suelos del Uruguay. Origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur. Vol II: 358 pp

Ernst O. 2004. Las leguminosas como cultivo de cobertura. [En línea]. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21. 9 p. Consultado 17 de nov. de 2017. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=Ernst+O.+2004.+Las+leguminosas+como+cultivo+de+cobertura.+En%3A+Informaciones+Agron%C3%B3micas+del+Cono+Sur+21.+9+pp&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>

Etévé G, Derieux M. 1982. Variabilité de la durée de la phase végétative chez le pois (*Pisum sativum* L.). Application à la sélection de types résistants à l’hiver et à la détermination de la date de semis. *Agronomie* 2 (9) 813-817

Ferraris GN, Couretot LA, Magnone G. 2012. Nutrición del cultivo de arveja. [En línea]. Experiencias de la campaña 2011/12. Área de Desarrollo Rural INTA

EEA Pergamino, Proyecto Regional Agrícola, CRBAN. 3 p. Consultado 27 de nov. de 2017. Disponible en: <http://www.agroconsultasonline.com.ar>

García DH, Morales JG, Chavarría H, Montoya AP, Correa G, Jaramillo S. 2012. Acumulación de grados-día en un cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un modelo de producción aeropónico. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 65(1): 6389-6398.

García Préchac F, Ernst O, Arbeletche P, Pérez Bidegain M, Pritsch C, Ferencsi A, Rivas M. 2010. Intensificación Agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural. Uruguay: Tradinco S.A. 126 pp

García Préchac F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos 3ª Aproximación. En: Conservación de suelos. Serie Técnica N° 26. INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur. 63 pp

Gilzanz JC. 2012. Abonos verdes en la producción hortícola: usos y manejo. Serie Técnica N° 201. INIA INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur. 64 pp

Hartwig RO, Laflen JM. 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, 32: 260 - 264

Hauggaard-Nielsen H, Holdensen L, Wulfsohn D, Jensen ES. 2009. Spatial variation of N<sub>2</sub>-fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the <sup>15</sup>N natural abundance method. Plant and Soil (2010) 327:167–184

Hill M, Clérici C, Mancassola V, Sanchez G. 2015a. Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. Agrociencia Uruguay, 19(1):94-101

- Hill M, Clérici C, Sanchez G, Kacevas A. 2015b. Planes de uso y manejo de suelos: base de la política de conservación de suelos en Uruguay, a dos años de su implementación. En: Ribeiro A, Barbazán M. (Eds.). IV Simposio Nacional de Agricultura. Paysandú: Hemisferio Sur. Pp 191-198
- Hill M, García Prechac F, Terra J, Sawchik J. 2008. Incorporación del efecto de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar la erosión en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 12 (2): 57-67
- Huamancayo B, René A. 2007. Capítulo 1: Producción y cultivo de arveja. [En línea]. En: Manual de conocimientos básicos para la producción y comercialización de arveja y haba. En: Cadenas productivas de arveja y haba. Una experiencia en Acobamba – Huancavelica. Programa Redes Sostenibles para la Seguridad Alimentaria. Lima- Perú. Pp 57-66. Consultado 26 de setiembre de 2017. Disponible en: <http://www.care.org.pe/wpcontent/uploads/2015/06/Cadena-productiva-de-arveja-haba-una-experiencia-en-Acobamba-Huancavelica.pdf>
- Izaguirre J. 1989. Cultivo de arveja para industria. Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Cátedra de Horticultura. 13 pp
- Jayasundara HPS, Thomsom BD, Tang C. 1998. Responses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses. *Advances in Agronomy* 63, 77–151.
- Jensen ES. Hauggaard-Nielsen H, 2003. How can increased use of biological N<sub>2</sub> fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil* 252: 177–186.
- Jensen ES. 1987. Seasonal patterns of growth and nitrogen fixation in field-grown pea. *Plant and Soil* 101: 29-37

- Jensen ES. 1986. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation in pea and field bean estimated by 15N fertilizer dilution in field experiments with barley as a reference crop. *Plant and Soil* 92: 3-13
- Knott CM. 1987. A key for stage development of the pea (*Pisum sativum*). *Annals of Applied Biology* 111:233-244.
- Lie TA. 1971. Symbiotic nitrogen fixation under stress conditions, *Plant and Soil* 35: 117–127.
- Liu Y, Wu L, Baddeley J, Watson C. 2011. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31: 155 – 172.
- Macedo I, Otaño C, Barrios E, Beyhaut E, Rossi C, Sawchik J, Terra J. 2015. Leguminosas anuales de verano como opciones de cobertura en sistemas agrícolas. *Revista INIA N° 43*. Montevideo. Aguila Comunicaciones y Marketing. 50-54
- Mancassola V, Hill M, Clérico C, Sánchez G. 2016. Estimación de la relación de pérdida de suelo (RPS) para cultivos hortícolas en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 20 (2): 95-108
- Mazzilli S. 2011. Ensayos manejo de arveja, zafra 2011. [En línea]. Libertad 1856 Colonia-Uruguay, Greissing and Elizarzú. s.q. Consultado 19 de nov. 2017. Disponible en: <http://docplayer.es/28981357-Ensayos-manejo-de-arveja-zafra-2011.html>
- Mazzilli S, Hoffman E. González N. 2008. Respuesta a la inoculación de tres cultivares de arveja forrajera (*Pisum sativum - arvense*), para suelos con y sin soja previa. Paysandú. Ed.: Unicampo SRL y G y E SRL. 9 pp.

- McCallum MH, Peoples MB, Connor DJ. 2000. Contributions of nitrogen by field pea (*Pisum sativum* L.) in a continuous cropping sequence compared with a lucerne (*Medicago sativa* L.)- based pasture ley in the Victorian Wimmera. Australian Journal of Agricultural Research. 51:13-22.
- Meadley JT, Milbourn GM. 1971. The growth of vining peas: III. . The effect of shading on abscission of flowers and pods. The Journal of Agricultural Science, 77:103-108.
- Ney B, Doré T, Sagan M. 1997. The nitrogen requirement of major agricultural crops: Grain Legumes. En: Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. Ed. G. Lemaire Heigelberg : Springer-Verlag. Pp 107–118.,
- Ney B, Turc O. 1993. Heat-Unit-Based Description of the Reproductive Development of Pea. Crop Science 33:510-514
- Peoples MB, Herridge DE, Ladha JK. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? Plant and Soil 174: 3-28.
- Poggio SL, Satorre EH, Dethiou S, Gonzalo GM. 2005. Pod and seed number as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (*Pisum Sativum* L.) crops. European Journal of Agronomy 22, 55-69
- Prieto GM. 2010. Pautas para el manejo del cultivo de Arveja. AER INTA Arroyo Seco. 13 pp. Consultado 15 de may. De 2017. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/249385051/Pautas-Manejo-Cultivo-Arveja>
- Prieto GM. 2012. Tecnología de legumbres: ¿qué tenemos y qué nos falta? Centro Regional Santa Fe Estación Experimental Oliveros Agencia de Extensión Rural Arroyo Seco. Tema desarrollado día de campo EEA Oliveros. 8 pp. Dispo-

nible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-tecnologia-legumbres-da-de-campo-2012.pdf>

Prieto GM, Casciani A, Eduardo Vita E. 2010. Fertilización con fósforo y azufre en el cultivo de Arveja (*Pisum sativum*). [En línea]. Agencia de Extensión Rural Inta Arroyo Seco: 2 pp. Consultado 26 de nov. De 2017. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fertilizacion-con-fosforo-y-azufre-en-el-cultivo-de-a.pdf>

Puentes R. 1983. Una metodología para evaluar la capacidad de uso de las tierras. Montevideo, Uruguay: MAP-IICA-INC (Ministerio de Agricultura y Pesca-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Instituto Nacional de Colonización). 46 pp

Puentes R. 1981. A framework for the use of the Universal Soil Loss Equation in Uruguay. Msc. Thesis. Texas A & M University. College Station Texas. 157 pp

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Mc Cool DK, Yoder DC. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: USDA. Agriculture Handbook 703, 64 pp

Sarli AE. 1980. Leguminosas. En: Sarli AE. (Eds.). Tratado de horticultura. Buenos Aires: Hemisferio Sur. Pp 202 – 217.

Sawchik J, Siri G, Ayala W, Barrios E, Bustamante, M, Ceriani M, Gutiérrez F, Mosqueira J, Otaño C, Pérez M, Piñeiro G, Pinto P, Terra J, Zarza R. 2015. El sistema agrícola bajo amenaza: ¿qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas? En: Ribeiro A, Barbazán M. (Eds.). IV Simposio Nacional de Agricultura. Paysandú: Hemisferio Sur. Pp 149-168

- Solari L, 2002. Nitrógeno biológico en pasturas y cultivos. En: Montevideo. Almanaque 2002. Banco de Seguros del Estado. Pp 159 – 163.
- Sprent JI, Stephens J H, Rupela OP, 1988. Environmental effects on nitrogen fixation. En: Sumerfield RJ. (Eds.) World Crops: Cool Season Food Legumes. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Pp 801–810
- Stevenson FC, Knight JD, Van Kessel C. 1995. Dinitrogen Fixation in Pea: Controls at the Landscape- and Micro-Scale. Soil Science Society of America Journal 59: 1603-1611
- Stocking MA. 1988. Assesing vegetative cover and management effects. En: Lal R. (Eds.) Soil erosion research methods. Iowa : SWCS-ISSS. Pp 163 - 185.
- Voisin A, Salon Ch, Munier-Jolain NG, Ney B. 2002. Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). Plant and Soil 242: 251–262.
- Waughman GJ. 1977. The effect of temperature on nitrogenase activity, Journal of Experimental Botany 28: 949–960.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook N° 537, 58 pp

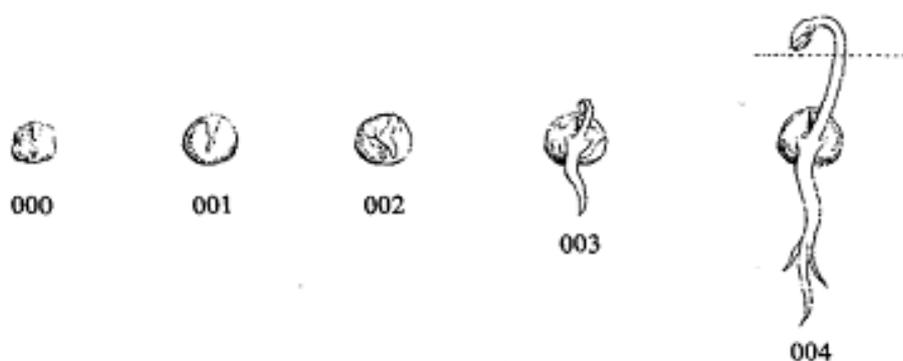
## 7. ANEXO

**Cuadro 2.** Escala Fenológica de Knott, 1987, tomada de Prieto, 2010.

Estados	Código	Definición	Descripción
Emergencia	000	Semilla seca	
	001	Semilla embebida	
	002	Aparición de la radícula	
	003	Aparición de plúmula y radícula	
	004	Emergencia	
Estados Vegetativos	101	Primer nudo visible	Primer nudo visible Hoja totalmente desplegada sin zarcillos.
	102	Segundo nudo	Segundo nudo Hoja con un par de folíolos y zarcillo simple
	10n	Enésimo nudo en tallo	Enésimo nudo en tallo principal n número de nudo en tallo ppal. con hoja totalmente expandida
Estados Reproductivos	201	Pimpollo floral encerrado en Brácteas	Pequeño pimpollo encerrado en el ápice del tallo ppal.
	202	Pimpollo visible	Pimpollo expuesto por fuera de las brácteas
	203	Primera flora abierta	
	204	Fijación de grano	Presencia de vaina inmadura

	205	Vaina plana	
	206	Vaina engrosada	Desarrollo completo de la vaina pero con semillas inmaduras
	207	Llenado de grano	
	208	Semilla Verde Arrugada	Pérdida de humedad del grano, aún de color verde
	209	Semilla Amarilla Arrugada	Cambio de color de la semilla
Senescencia	301	Vainas inferiores secas de color marrón, vainas superiores estado 209	
	302	Vainas superiores estado 209	
	302	Todas las vainas de color marrón. Humedad de cosecha.	

**Figuras 1 a 12.** Estados fenológicos de la arveja. Adaptado de Knott (1987).



**Fig. 1.** Germinación y emergencia. Semilla seca (000); semilla embebida (001); Radícula aparente (002); Plúmula y radícula aparente (003); Emergencia (004).

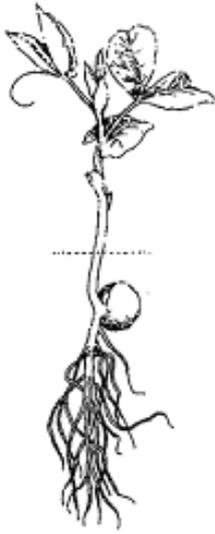


Fig. 2

**Fig.2. Etapa vegetativa. Primer nudo.** Dos hojas de pequeña escala aparecen primero y los nudos donde ocurren no se cuentan. Primera hoja completamente desplegada en el primer nudo (registrado) con un par de hojuelas, sin zarcillo (101).



Fig. 3

**Fig.3. Etapa vegetativa. Segundo nudo.** Estípula, y segunda hoja en el segundo nudo completamente desplegada con un par de hojuelas, zarcillo simple (102).



Fig. 4

**Fig.4. Etapa vegetativa. Tercer nudo.**  
Tercer hoja completamente desplegada al tercer nudo con un par de hojuelas, zarcillo complejo (103).



Fig. 5

**Figura 5.** Estado vegetativo. x nudo.  
Enésima hoja totalmente desplegada en el nudo x, con además un par de pequeñas hojas, zarcillo completo.



**Figura 6.** Estado reproductivo. Botón cerrado. Punto de crecimiento abierto para mostrar pequeño botón floral cerrado (201).

**Fig. 6**



**Figura 7.** Estado reproductivo. Primera flor abierta (203).

**Fig. 7**



**Figura 8.** Estado reproductivo. Primera vaina (205).

**Fig. 8**



**Figura 9.** Estado reproductivo. Llenado de granos. Los granos verdes llenan la cavidad de la vaina (207).



(a)



(b)



(c)

**Fig. 10**

**Figura 10.** Estado reproductivo. Vainas abiertas para mostrar los granos.

a) llenado de granos (207);

b) vaina amarilla (209) Grano con 35% de humedad.

c) grano seco, vainas secas y marrones, semilla seca y dura (210). Grano con 25% de humedad.

En estado seco, la forma de la semilla varía con el cultivar.



Fig. 11

**Figura 11.** Senescencia. (301).

Vainas inferiores secas y marrones, grano seco. Vainas medias medio amarillas y granos arrugados. Vainas superiores verdes y arrugadas.



Fig. 12

**Figura 12.** Senescencia. Estado de cosecha (303). Todas las vainas secas y marrones, grano seco. Humedad del grano 14 -16%.