

**CARACTERIZACION AGROECOLOGICA DE  
POBLACIONES NATURALES DE *Vicia villosa* Roth  
(FABACEAE) DE ARGENTINA.**

Tesis de Doctorado en Agronomía

Ing. Agr. (Mag.) Juan Pablo Renzi

Departamento de Agronomía  
Universidad Nacional del Sur



Diciembre de 2020

## PREFACIO

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctorado en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Departamento de Agronomía de la UNS y en el Campo Experimental de la Estación Agropecuaria Hilario Ascasubi del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) durante el período comprendido entre el 8 de abril de 2014 y el 20 de junio de 2020, bajo la **dirección del Dr. Miguel Ángel Cantamutto**, Profesor Titular de Cultivos Extensivos.

## DEDICATORIA

*A mis hijos Antonia y Mirko.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi esposa Rocío, por su constante estímulo y apoyo para cumplir este objetivo.*

*A mis padres, hermano/a, sobrinos/as y resto de mi gran familia, motor emocional para darme confianza y seguir adelante, desde “La hoja seca de Berta Finkel” ... ¡Son mi orgullo!*

*A Bochi (Miguel Cantamutto), sus consejos me sirvieron no solo para la realización de esta tesis sino para el trabajo cotidiano desde que arranque mi ciclo profesional. Un gran amigo incondicional.*

*A Guille (Guillermo Chantre) por todos sus aportes en largas charlas, siempre dispuesto a ayudar y a clarificar inquietudes.*

*A Omar y Matí por su trabajo y momentos vividos, con ellos el camino fue fácil de recorrer.*

*A Matías B., Julián C., Adrián L., Juan L. y Luciano Z., por su continua colaboración y significantes aportes para la realización de esta tesis.*

*A Ignacio y Eugenio Ducos del Criadero El Cencerro, que hicieron realidad el sueño de que Ascasubi INTA sea conocida en Argentina y atravesara la frontera. ¡Un ejemplo de empresa nacional!*

*A Tomas Vymyslický, Angelo Loi, Lucía De la Rosa y Lisa Kucek, con ellos aprendí mucho sobre vicias y leguminosas en países hermosos como República Checa, Australia, España y EEUU.*

*A todos los colegas y amigos del INTA y de la UNS, por su colaboración y constantes muestras de interés y apoyo.*

*A Estelita, Chela y demás personal administrativo de la EEA H. Ascasubi por gestionar la financiación de esta tesis apoyada por el INTA. A las autoridades de la UNS-DA, por permitirme la realización del posgrado.*

## RESUMEN

*Vicia villosa* ssp. *villosa* Roth (VV), es una leguminosa forrajera nativa de Europa (EU) y Asia occidental, que cuenta con una alta adopción en la agricultura mundial. Se la cultiva como forraje en ambientes semiáridos, donde sobresale por su notoria tolerancia al frío, sequía y gran plasticidad productiva. En ambientes con alto potencial agrícola, se la emplea como cultivo de cobertura (CC) o cultivo de servicio, debido a que suprime la interferencia de las malezas y aporta nitrógeno (N) al suelo. Dado que su domesticación es incompleta, puede formar poblaciones espontáneas o sub-espontáneas, que se mantienen bajo resiembra natural. Se estudió la distribución geográfica de las poblaciones naturalizadas de VV en el centro de Argentina (AR), y se las caracterizó fenotípicamente, frente a accesiones introducidas de EU. Se desarrolló un modelo predictivo de emergencia y demografía poblacional, para orientar prácticas de manejo integrado. Los nichos ocupados por las poblaciones naturalizadas se hallaron en áreas perturbadas, con suelos neutros a alcalinos, textura gruesa, con buena capacidad de drenaje. Las condiciones cálidas y secas, que ocurren en el verano junto a la dispersión de las semillas, se asociaron a la entrada y salida de la dormición física (PY). Las condiciones frías y húmedas, tal como ocurren en el invierno, se asociaron al aumento del crecimiento vegetativo. Las poblaciones naturalizadas en AR no mostraron divergencias fenotípicas marcadas entre ellas, aunque si se diferenciaron de las provenientes de EU. La variabilidad observada permitió la selección de genotipos con elevada producción de biomasa de invierno-primavera y diversos niveles de PY. Empleando el modelo predictivo se validó la demografía de la VV en secuencias agrícolas cortas, de años consecutivos o intercalados con un cereal de invierno. La producción y dispersión de semillas son las variables que más influyeron en la resiembra de la VV. Si se impidiera la reposición del banco de semilla del suelo, durante tres o más años consecutivos, se minimizará la aparición de plantas voluntarias. En esta Tesis se caracterizaron 70 accesiones y 29 poblaciones de VV naturalizadas en la región central de AR, que se conservarán como germoplasma útil para futuros programas de mejoramiento. Dos accesiones preservadas desde 2008 fueron utilizadas para generar una variedad que fue inscrita en los registros oficiales del país (Ascasubi INTA) y del exterior (Patagonia INTA).

## ABSTRACT

*Vicia villosa* ssp. *villosa* Roth (VV) a winter annual legume is native of Europe (EU) and Western Asia, adopted in several agricultural systems around the world. It is cultivated for pasture grazing in semiarid environments; it is winter hardiness, drought tolerance, and high biomass plasticity. Under environments with high agricultural potential, it is used as a cover crop (CC), with high weed suppression capacity and enhances soil nitrogen (N) content by biological fixation. Being an incompletely domesticated species, VV can form spontaneous or semi-spontaneous populations in a new environment, which high natural reseeding capacity. Niche occupancy based on geographic occurrence and environmental data of naturalized populations in central Argentina (AR) was studied, were phenotypically characterized, and compared to introduce accessions from the EU. A field emergence model considering different crop-legume scenarios was developed to guide integrated management practices. Niche occupancy of naturalized populations showed that these populations were distributed mainly on disturbed areas with coarse soil texture and alkaline-type soils. Low rainfall and warm temperatures during pre- and post-seed dispersal explained the potential distribution under sub-humid and semiarid conditions and were associated with the induction and release of physical dormancy (PY). Cold and wet winter conditions were associated with increased vegetative growth. Local adaptation along environmental gradients did not drive the phenotypic divergence among recently established AR populations, although naturalized AR populations showed strong differentiation with the EU accessions. Detected variation in the quantitative traits allowed the selection of genotypes with high winter-spring biomass production and several PY levels. A simulation model was validated to VV self-regeneration capacity considering different VV–winter cereal crop rotation (pasture-crop phase) scenarios. Seed yield and seed rain were the most important variables affecting seed bank replenishment and VV self-regeneration capacity. From a weed management perspective, VV control should not be a considerable problem as a “volunteer plants” if management practices avoid seed production and seed bank replenishment for at least three consecutive years. In this Thesis, 70 accessions and 29 populations of naturalized VV in the central region of AR were characterized, which will be conserved as useful germplasm for future breeding programs. Two *landraces* preserved since 2008 were used to generate a variety that was registered in the official records of AR (Ascasubi INTA) and EEUU (Patagonia INTA).

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>CAPITULO I</b> .....	1
	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	El género <i>Vicia</i> .....	1
1.2	<i>Vicia villosa</i> Roth.....	3
<b>2</b>	<b>CAPITULO II</b> .....	9
	DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE POBLACIONES NATURALIZADAS.....	9
2.1	Poblaciones naturalizadas de <i>Vicia villosa</i> en Argentina.....	9
2.2	Materiales y Métodos.....	12
2.2.1	<i>Colecta de poblaciones naturalizadas</i> .....	12
2.2.2	<i>Variables ambientales</i> .....	13
2.2.3	<i>Análisis de nicho ecológico</i> .....	14
2.3	Resultados.....	15
2.4	Discusión.....	19
<b>3</b>	<b>CAPITULO III</b> .....	22
	CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE POBLACIONES NATURALIZADAS.....	22
3.1	Introducción.....	22
3.2	Materiales y Métodos.....	25
3.2.1	<i>Material vegetal</i> .....	25
3.2.2	<i>Jardín común</i> .....	27
3.2.3	<i>Evaluación de la dormición física (PY)</i> .....	29
3.2.4	<i>Análisis estadístico y relación entre caracteres fenotípicos de las poblaciones naturalizadas, ubicación geográfica y condiciones ambientales</i> .....	30
3.3	Resultados.....	31
3.3.1	<i>Condiciones ambientales, desarrollo y variabilidad fenotípica</i> .....	31
3.3.2	<i>Relación entre caracteres fenotípicos de las poblaciones naturalizadas, ubicación geográfica y condiciones ambientales</i> .....	36
3.4	Discusión.....	37
<b>4</b>	<b>CAPITULO IV</b> .....	40

MODELADO DE LA EMERGENCIA .....	40
4.1  Introducción.....	40
4.2  Materiales y Métodos .....	44
4.2.1 <i>Sitio de estudio</i> .....	44
4.2.2 <i>Estructura del modelo de emergencia</i> .....	44
4.2.3 <i>Desarrollo del modelo de emergencia</i> .....	53
4.2.4 <i>Evaluación de la emergencia de plántulas en condiciones de campo</i> .....	54
4.2.5 <i>Evaluación del modelo de emergencia</i> .....	55
4.3  Resultados .....	55
4.3.1 <i>Salida de la dormición física (sub-modelo I)</i> .....	55
4.3.2 <i>Parámetros de hidro-tiempo en relación con la liberación de PD</i> .....	56
4.3.3 <i>Tasas de crecimiento de las plántulas de Vicia villosa en función de la temperatura y el potencial hídrico</i> .....	57
4.3.4 <i>Patrones de emergencia a campo</i> .....	59
4.3.5 <i>Salida de la dormición física (PY) y fisiológica (PD)</i> .....	65
4.3.6 <i>Emergencia de campo observada vs estimada</i> .....	66
4.4  Discusión.....	69
<b>5  CAPITULO V</b> .....	<b>75</b>
MODELADO DEMOGRÁFICO BAJO DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA TEMPLADA .....	75
5.1  Introducción.....	75
5.2  Materiales y Métodos .....	77
5.2.1 <i>Sitio de estudio</i> .....	77
5.2.2 <i>Estructura del modelo demográfico</i> .....	78
5.2.3 <i>Análisis de sensibilidad</i> .....	83
5.2.4 <i>Simulación del modelo</i> .....	83
5.2.5 <i>Validación del modelo</i> .....	84
5.3  Resultados .....	87
5.3.1 <i>Eficiencia de cosecha y dispersión de semillas</i> .....	87
5.3.2 <i>Simulación del modelo</i> .....	87
5.3.3 <i>Validación del modelo</i> .....	91
5.4  Discusión.....	92
5.4.1 <i>Resiembra de Vicia villosa como pastura</i> .....	93

5.4.2	<i>Vicia villosa</i> como maleza de cereales de invierno .....	94
<b>6</b>	<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>96</b>
	DESARROLLO DEL CULTIVAR ASCASUBI INTA .....	96
6.1	Introducción.....	96
6.2	Materiales y Métodos .....	98
6.2.1	<i>Sitio experimental</i> .....	98
6.2.2	<i>Origen genético</i> .....	98
6.2.3	<i>Método de selección y estabilización de la variedad</i> .....	98
6.2.4	<i>Evaluación e Inscripción en el INASE</i> .....	102
6.2.5	<i>Comercialización</i> .....	103
6.3	Resultados .....	103
6.3.1	<i>Evaluación de Ascasubi INTA</i> .....	103
6.3.2	<i>Difusión comercial</i> .....	107
6.4	Discusión.....	107
<b>7</b>	<b>CAPITULO VII</b> .....	<b>110</b>
	PROSPECTIVA FUTURA.....	110
7.1	Conservación de germoplasma .....	110
7.2	Zona diferencial para la producción de semillas con aprovechamiento de la resiembra.....	111
7.3	Desarrollo de cultivares superiores.....	113
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>115</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>117</b>

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figura 2.1.</b> Distribución espacial de poblaciones naturalizadas de <i>Vicia villosa</i> de Argentina y sitios de recolección de semillas (círculo). El área gris muestra regiones monitoreadas y los círculos negros indican las poblaciones utilizadas para la caracterización fenotípica en jardín común (ver CAPÍTULO III) (a). Distribución potencial prevista de las poblaciones de <i>Vicia villosa</i> en el centro de Argentina en función de los resultados del modelado de nicho ecológico (b). En escala de grises los colores claros corresponden a menores probabilidades de ocurrencia, mientras que los colores oscuros corresponden a mayor probabilidad de ocurrencia (creado con Maxent 3.4.1k). .....	16
<b>Figura 2.2.</b> Poblaciones naturalizadas de <i>Vicia villosa</i> de Guaminí (a), S. F. Belloq (b), Sierra de la Ventana (c), Guatraché (d), San Luís (e), Tte. Origone (f), Paso Carretas (g) y Chelforó (h). .....	17
<b>Figura 3.1.</b> Condiciones climáticas durante 2014 (a) y 2016 (b) en la EEA H. Ascasubi del INTA. ....	32
<b>Figura 3.2.</b> Análisis canónico discriminante de accesiones de <i>Vicia villosa</i> clasificadas <i>a priori</i> en cuatro estatus de mejora (silvestre, naturalizada, cultivares de origen Europeo EU y Argentino AR), en base a 13 caracteres fenotípicos observados en el jardín común y en laboratorio durante 2014 y 2016. .....	33
<b>Figura 3.3.</b> Relación entre la biomasa relativa de invierno y la dormición física PY (AUC) para cada genotipo (media y error estándar) evaluado en un jardín común durante 2014 y 2016. Las referencias numéricas se encuentran en la Tabla 3.1 .....	36
<b>Figura 3.4.</b> Correlaciones entre matrices (Mantel) de distancias geográficas, ambientales y fenotípicas en 2014 y 2016 para las poblaciones naturalizadas de <i>Vicia villosa</i> . .....	37
<b>Figura 4.1.</b> Dinámica de la salida de la dormición física (PY) en semillas de <i>Vicia villosa</i> enterradas a campo dentro de bolsas permeables en función del tiempo térmico ( $\theta_{ATPY}$ ), observada durante 2009/10, 2010 y 2012/2015. En la figura se muestra la ecuación que describe la salida de la dormición PY. .....	56
<b>Figura 4.2.</b> Tasa de crecimiento de hipocótilo y de radícula de <i>Vicia villosa</i> en función de la temperatura de incubación (a 0 MPa) (a), o del potencial de agua de incubación (a 20°C) (b). $R_h$ y $R_r$ son las funciones que describen el alargamiento de hipocótilo y de la radícula en función de la temperatura ( $T$ ) y el potencial de agua ( $\Psi$ ). .....	59

<b>Figura 4.3.</b> Patrones de emergencia a campo anuales de <i>Vicia villosa</i> durante los experimentos realizados en H. Ascasubi en 2013 (a), 2014 (b) y 2015 (c).....	61
<b>Figura 4.4.</b> Patrones de emergencia a campo semestrales de <i>Vicia villosa</i> durante los experimentos realizados en H. Ascasubi en 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) y 2019 (d)....	62
<b>Figura 4.5.</b> Condiciones de microclima del suelo para experimentos de emergencia en el campo experimental de H. Ascasubi durante 2013 (a), 2014 (b) y 2015 (c). Las líneas representan los valores diarios promedio de la temperatura del suelo (línea punteada) y el contenido volumétrico de agua (VWC) (línea continua). Las flechas muestran el valor medio más bajo del potencial hídrico del suelo ( $\Psi_{b(50)} \approx 10,7\%$ VWC) para la germinación de <i>Vicia villosa</i> . .....	63
<b>Figura 4.6.</b> Condiciones de microclima del suelo para experimentos de emergencia en el campo experimental de H. Ascasubi durante 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) y 2019 (d). Las líneas representan los valores diarios promedio de la temperatura del suelo (línea punteada) y el contenido volumétrico de agua (VWC) (línea continua). Las flechas muestran el valor medio más bajo del potencial hídrico del suelo ( $\Psi_{b(50)} \approx 10,7\%$ VWC) para la germinación de <i>Vicia villosa</i> . .....	64
<b>Figura 4.7.</b> Estimación de la dinámica de salida de la dormición física (PY) y fisiológica (PD) de <i>Vicia villosa</i> en 2013, 2014 y 2015 (a) y 2016, 2017, 2018 y 2019 (b). .....	65
<b>Figura 4.8.</b> Germinación (G) y emergencia de plántulas (E) de <i>Vicia villosa</i> estimada en relación a la emergencia observada durante los años 2013 (a), 2014 (b), 2015 (c), 2016 (d), 2017 (e), 2018 (f) y 2019 (g). Las líneas punteadas y continuas representan la germinación de campo y los valores de emergencia predichos a partir del modelado de simulación; los símbolos representan datos de emergencia observados, las barras verticales indican E.E. (n = 5) RMSE, error del cuadrado medio. ....	69
<b>Figura 5.1.</b> Modelo demográfico de las rotaciones agrícolas con <i>Vicia villosa</i> , que representa las fases de pastoreo y cultivos de cereales de invierno. <i>R</i> , producción total de semillas (variable de entrada); <i>SR</i> , dispersión de semillas; <i>SB</i> , banco de semillas en el suelo; <i>Z</i> , plántulas (variable de salida, con cuatro cohortes: <i>c</i> <sub>1</sub> de enero a mediados de febrero, <i>c</i> <sub>2</sub> de mediados de febrero a mediados de abril, <i>c</i> <sub>3</sub> de mediados de abril a junio y el <i>c</i> <sub>4</sub> de junio a agosto) y <i>A</i> , plantas adultas. Tasas demográficas: <i>h</i> , semilla cosechada; <i>sr</i> , pérdidas de semillas por dispersión; <i>e</i> , emergencia de plántulas; <i>m</i> , mortalidad de semillas en el suelo; <i>c</i> <sub>2</sub> , supervivencia de plántulas en la fase de pastoreo y <i>c</i> <sub>4</sub> en la fase de cultivo; <i>f</i> , fecundidad (no incluido en el modelo). .....	79

<b>Figura 5.2.</b> Relación entre la producción total de semillas de <i>Vicia villosa</i> y el rendimiento obtenido con cosechadora convencional de cereales. ....	87
<b>Figura 5.3.</b> Balance de semillas simulado durante cinco años bajo secuencias de monocultivo de VV (a), VV-cereal-VV (b) y VV-cereal-cereal-VV (c). El punto (a) representa la densidad inicial de siembra; (b) es la producción total de semillas al final del primer año de cultivo para un rendimiento medio supuesto de 600 kg ha <sup>-1</sup> (2143 semillas m <sup>-2</sup> ); (c) es la proporción de semillas que se dispersa e incorpora en banco de semillas del suelo después de la cosecha mecánica; (d) son pérdidas del banco de semillas debido a la mortalidad natural y la depredación; los puntos (e-a-h) representan las pérdidas del banco de semillas debido a la emergencia a campo durante el segundo año de la rotación (1° cohorte de enero a mediados de febrero (e), 2° cohorte desde mediados de febrero hasta mediados de abril (f), 3° cohorte de mediados de abril a junio (g), y 4° cohorte de junio a agosto (h)). Las barras indican la densidad de resiembra de VV. Referencias V: fase de pastura de VV, C: fase del cultivo del cereal y B: período de barbecho.....	90
<b>Figura 5.4.</b> Balance de semillas simulado para la secuencia de VV-cereal-VV mostrando los rendimientos mínimos del primer año de VV a lograr para obtener un stand productivo de VV por resiembra natural. Referencias ver en Figura 5.3.....	90
<b>Figura 5.5.</b> Densidad simulada versus observada para poblaciones de <i>Vicia villosa</i> obtenidas por resiembra en la fase de pastoreo (desde mediados de febrero hasta mediados de abril) (a); y durante la fase de cultivo de cereales (período de junio a agosto) (b). NRMSE, error de raíz cuadrada normalizada.....	92
<b>Figura 6.1.</b> Esquema de mejoramiento de Ascasubi INTA, desde la evaluación de variedades <i>landraces</i> (a y b), selección masal (b y d), criterios de selección en estado vegetativo (e), y reproductivo (f) y estabilización de la variedad e incremento (g y h).	101
<b>Figura 6.2.</b> Producción de biomasa en floración (a) y de semilla (b) para Ascasubi INTA y Tolse FCA (media ± error estándar). ‘***’ indica significancia a p<0.01 y ‘*’ a p<0.05..	104
<b>Figura 6.3.</b> Biomasa relativa de invierno y de primavera de cada accesión (media ± error estándar), respecto a la biomasa total promedio de todos los materiales evaluados en cada año en un jardín común durante 2014 y 2016 en la EEA H. Ascasubi (Sección 3.2.2). ....	105
<b>Figura 6.4.</b> Detalle de los folíolos (a), inflorescencia (b), tolerancia al frío (c) y semillas (d) de Ascasubi INTA. ....	106

<b>Figura 6.5.</b> Difusión del cultivar Ascasubi INTA en toneladas comercializadas y estimación de la superficie sembrada con la semilla legal. ....	107
<b>Figura 6.6.</b> Evaluaciones realizadas con el cultivar o línea experimental (L.E.) Ascasubi INTA en diferentes localidades de la Región Pampeana durante los años 2013 a 2019. ....	109
<b>Figura 7.1.</b> Manejo de banquinas con siembra de cultivos y aplicación de herbicidas en algunos sitios de la región Pampeana.....	111
<b>Figura 7.2.</b> Propuesta de zonificación de la producción de semilla de <i>Vicia villosa</i> , aprovechamiento de la resiembra natural (marrón oscuro) y áreas con mayor (gris oscuro) a menor (gris claro) difusión como cultivo de cobertura o de servicio, según Madias 2020. Los departamentos con color marrón claro corresponden a áreas de transición donde los dos fines serían posibles. ....	113
<b>Tabla 2.1.</b> Contribución (%) de cada variable bioclimática y de suelo en el modelo de nicho ecológico (MaxEnt), y valores medios y de rangos de cada variable en hábitats considerados adecuados para el desarrollo de las poblaciones naturalizadas de <i>Vicia villosa</i> en la región central de Argentina.....	18
<b>Tabla 2.2.</b> Especies dominantes asociadas con las poblaciones de <i>Vicia villosa</i> en el centro de Argentina.....	19
<b>Tabla 3.1.</b> Estatus de mejora (cultivar, silvestre y naturalizado) de accesiones EU y nacionales (AR), y nombre de las accesiones de <i>Vicia villosa</i> incluidas en las evaluaciones fenotípicas.....	26
<b>Tabla 3.2.</b> Variabilidad fenotípica de <i>Vicia villosa</i> (medias y rango) para cada estatus de mejora y sitio de origen evaluados en un jardín común en Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina (2014 y 2016).....	35
<b>Tabla 4.1.</b> Parámetros estimados de hidro-tiempo poblacional para semillas de <i>Vicia villosa</i> incubadas en condiciones de laboratorio a temperaturas constantes de 5, 10 y 30°C durante 0, 20, 69, 161 o 287 días, y enterradas en condiciones de campo durante 0, 27, 62, 118 o 251 días de post-maduración. ....	57
<b>Tabla 4.2.</b> Ajuste obtenido entre los resultados estimados con el sub-modelo (I a IV) y los observados en la emergencia de plántulas de <i>Vicia villosa</i> , en base al error del cuadrado medio (RMSE). Observaciones 2013-2019. Sub-modelo I, salida de la dormición física (PY) y sub-modelo II, parámetros térmicos relacionados con el estado de la dormición fisiológica (PD) (Figura 4.7). Sub-modelo III, parámetros hídricos	

relacionados con la dormición fisiológica y la germinación. Sub-modelo IV, tasa de crecimiento del hipocótilo de acuerdo con la temperatura del suelo y el contenido de humedad (Figura 4.8).....	67
<b>Tabla 5.1.</b> Datos mensuales de precipitación y temperaturas promedio para los años 2007-2017 en INTA EEA Ascasubi, Buenos Aires, Argentina .....	78
<b>Tabla 5.2.</b> Descripción de los lotes en el INTA EEA Ascasubi utilizados para cuantificar la eficiencia de cosecha de la <i>Vicia villosa</i> .....	82
<b>Tabla 5.3.</b> Simulación de escenarios de rotaciones combinando cultivos de cereales de invierno (trigo o centeno) con <i>Vicia villosa</i> . .....	84
<b>Tabla 5.4.</b> Datos experimentales de campo del cultivo de <i>Vicia villosa</i> utilizado en diferentes secuencias bajo sistemas convencionales (CT) y sin labranza (NT) en la EEA Hilario Ascasubi (39°22´S, 62°39´O). .....	85
<b>Tabla 5.5.</b> Parámetros del modelo e índice de sensibilidad para la simulación de la demografía poblacional de VV. SI; índice de sensibilidad. ....	91
<b>Tabla 6.1.</b> Detalle del esquema de mejoramiento y criterios de selección realizados. ....	99
<b>Tabla 6.2.</b> Fecha de floración y madurez para ambos cultivares evaluados durante 3 ciclos en la EEA H. Ascasubi del INTA.....	104
<b>Tabla 6.3.</b> Variables morfológicas diferenciables para Tolse FCA y la L.E. Ascasubi INTA (media ± desvío estándar).....	104

## ABREVIATURAS

<b>A</b>	Planta adulta
<b>ALS</b>	Acetolactato sintetasa
<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza
<b>AOSCA</b>	Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas
<b>AR</b>	Argentina
<b>ARS</b>	Agricultural Research Service
<b>AUC</b>	Área bajo la curva
<b>B</b>	Periodo de barbecho
<b>bv.</b>	Biovar o biotipo
<b>c</b>	Cohorte
<b>C</b>	Fase de cereal
<b>CC</b>	Cultivo de cobertura
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>CRI</b>	Research Institute of Crop Production
<b>CT</b>	Labranza convencional
<b>CV</b>	Coefficiente de variación
<b>CVA</b>	Análisis de variación canónica
<b>CWR</b>	Crop Wild Relatives
<b>DA</b>	Departamento de Agronomía
<b>DDP</b>	Días desde la postura
<b>DE</b>	Desvío estándar
<b><math>D_{\theta}</math></b>	Desviación estándar de $\theta$
<b>E</b>	Emergencia
<b>E.E.</b>	Error estándar
<b>EEA</b>	Estación Experimental Agropecuaria
<b>EU</b>	Europa
<b>f</b>	Fecundidad
<b><math>F_{(\theta(g))}</math></b>	distribución de $\theta$
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FCA</b>	Facultad de Ciencias Agropecuarias
<b><math>F_h</math></b>	Proporción de semillas germinadas en $T_h$
<b><math>F_l</math></b>	Proporción de semillas germinadas en $T_l$
<b>G</b>	Germinación
<b>g</b>	Fracción de población
<b>GBIF</b>	Global Biodiversity Information Facility

<b>GGD</b>	Distancia geográfica
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>H.</b>	Hilario
<b>H</b>	Semilla cosechada
<b>i.a.</b>	ingrediente activo
<b>INASE</b>	Instituto Nacional de Semillas
<b>INTA</b>	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
<b>IPGRI</b>	International Plant Genetic Resources Institute
<b>ISTA</b>	International Seed Testing Association
<b><math>K_{\psi b}</math></b>	Potencial hídrico del suelo base que permite la acumulación de $\theta_{AT}$
<b>L</b>	Laboratorio
<b>L.E.</b>	Línea experimental
<b>LSD</b>	Least Significant Difference
<b>m</b>	Mortalidad
<b>MaxEnt</b>	Máxima entropía
<b>MIM</b>	Manejo integrado de malezas
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>NC</b>	Nombre comercial
<b>NRMSE</b>	Error de raíz cuadrada normalizada
<b>NS</b>	No significativa
<b>NT</b>	No laboreo
<b>°Cd</b>	Grados día
<b>P</b>	Fósforo
<b>PD</b>	Dormición fisiológica
<b>PEG</b>	Polietilenglicol
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>PY</b>	Dormición física
<b><math>r</math></b>	Coeficiente de correlación lineal
<b>R</b>	Producción total de semillas
<b>RNC</b>	Registro Nacional de Cultivares
<b>RNCyFS</b>	Registro Nacional de Comercio y Fiscalización de Semillas
<b><math>r^2</math></b>	Coeficiente de regresión
<b><math>R^2</math></b>	Coeficiente de determinación
<b><math>R_h</math></b>	Tasa de alargamiento de hipocótilo
<b>RMSE</b>	Error del cuadrado medio

<b>rpm</b>	Revolución por minuto
<b><math>R_r</math></b>	Tasa de alargamiento de radícula
<b>SB</b>	Banco de semillas del suelo
<b>SI</b>	Índice de sensibilidad
<b>sp.</b>	Especie
<b>spp.</b>	Especies
<b>SR</b>	Dispersión de semillas
<b>ssp.</b>	Subespecie
<b>STM2</b>	Soil Temperature and Moisture Model
<b><math>T</math></b>	Temperatura
<b><math>t</math></b>	Tiempo
<b><math>T_b</math></b>	Temperatura base
<b><math>T_{bPY}</math></b>	Temperatura base de PY
<b><math>T_h</math></b>	Temperatura límite superior
<b><math>T_i</math></b>	Temperatura media diaria
<b><math>T_l</math></b>	Temperatura límite inferior
<b><math>T_{IPD}</math></b>	Temperatura base de PD
<b><math>T_m</math></b>	Temperatura máxima
<b><math>T_o</math></b>	Temperatura óptima
<b>U.E.</b>	Unidad experimental
<b>UNC</b>	Universidad Nacional de Córdoba
<b>UNS</b>	Universidad Nacional del Sur
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>V.</b>	<i>Vicia</i> spp.
<b>V</b>	Fase de pastura
<b>VV</b>	<i>Vicia villosa</i> Roth
<b>VWC</b>	Agua volumétrica del suelo
<b>WGS84</b>	World Geodetic System 1984
<b>Z</b>	Plántula
<b><math>\theta_{AT}</math></b>	Tiempo térmico
<b><math>\theta_{ATPD}</math></b>	Tiempo térmico post-maduración para PD
<b><math>\theta_{ATPY}</math></b>	Tiempo térmico post-maduración para PY
<b><math>\theta_g</math></b>	Tiempo térmico para la germinación
<b><math>\theta_H</math></b>	Tiempo hídrico
<b><math>\sigma_{Th}</math></b>	Desviación estándar de $T_h$
<b><math>\sigma_{Ti}</math></b>	Desviación estándar de $T_i$
<b><math>\sigma_{\psi_b}</math></b>	Desviación estándar de $\Psi_b$

$\Phi$	Integral de probabilidad normal
$\Psi$	Potencial hídrico
$\Psi_b$	Potencial hídrico base

# 1 CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1.1 El género *Vicia*

La tribu *Viciae*, que pertenece a la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionoideae*, incluye varios géneros de elevado interés agrícola, tales como *Lens* sp., *Cicer* sp., *Pisum* sp., *Lathyrus* sp. y *Vicia* sp. Entre ellos, el género *Vicia* sp. es el que posee la mayor adopción agrícola. Diferentes especies del género pueden cultivarse como hortalizas, grano para consumo humano, grano forrajero, para pastoreo directo, para reservas forrajeras y también para cumplir diferentes servicios ambientales. El género también cuenta con un buen número de parientes que integran la flora natural de varios continentes (Maxted 1995).

Debido a la amplia diversidad fenotípica, la taxonomía del género *Vicia* sp. es sumamente compleja. Ello ha motivado a que se realizaran más de dos decenas de revisiones, comprendiendo desde la clasificación original de Linneo del siglo XVIII (Linneo 1735). Su taxonomía no se encuentra completamente resuelta y es motivo de discrepancias entre autores (Jaaska 1997; 2005; Potokina 1997; van de Wouw et al. 2003a, b; Yeater et al. 2004). Para ilustrar esta afirmación, se señala que el número de especies del género puede variar desde 140 hasta 210, dependiendo de la fuente (Hanelt y Mettin 1989; Jaaska 2005).

La revisión más reciente divide al género *Vicia* sp. en dos subgéneros: *Vicia* y *Vicilla*, con 9 y 17 secciones respectivamente (van de Wouw et al. 2001). Treinta y cuatro especies de este complejo taxonómico se cultivan para alimentación animal bajo pastoreo directo, heno, ensilaje o como grano proteico. En la agricultura de conservación el empleo es como cultivo de cobertura de suelo (CC) (cultivo de servicio o puente) o abono verde (Enneking 1995; Tate y Enneking 2006). Las vicias aparecen como cultivos de alto valor potencial para la biorremediación de sitios contaminados con metales pesados o hidrocarburos (Ibañez et al. 2019).

Mateo-Box (1961) clasifica a las especies del género *Vicia* sp. según su utilidad agronómica. Entre las destinadas a la cosecha de grano incluye a *V. faba* L., *V.*

*narbonensis* L., *V. ervilia* (L.) Willd. y algunos biotipos de *V. sativa* L. Como fuente de biomasa para fines agropecuarios, el mismo autor incluye a *V. sativa*, *V. villosa* ssp. *villosa* Roth (= *V. villosa*), *V. villosa* ssp. *dasycarpa* Ten. (= *V. dasycarpa*), *V. benghalensis* L. y *V. pannonica* Crantz. La mayoría de las especies agrícolas están adaptadas al doble propósito. Ello implica que, luego del pastoreo del forraje verde durante el período vegetativo, el rebrote, floración y fructificación posterior, puede dar lugar a una cosecha de grano o semilla de valor comercial (Francis et al. 1999).

Las diferentes especies de *Vicia* sp., tanto nativas, naturalizadas o cultivadas, se encuentran presentes en todas las regiones templadas del mundo. La mayor biodiversidad del género se concentra en una franja costera del Mar Mediterráneo, que incluye África, Asia y Europa. Si bien esa región es considerada el principal centro de origen del género, existen centros secundarios de variabilidad genética en el Sur de Siberia, en Europa continental, América del Norte y América del Sur, incluyendo Argentina (AR) (Reid et al. 1992; van de Wouw et al. 2001).

Varios autores consideran que, en América del Sur, la distribución geográfica de las especies endémicas de vicia, particularmente las del subgénero *Vicilla*, necesita ser revisada y documentada (Manganaro 1919; Francis et al. 1999; van de Wouw et al. 2001). El estudio más reciente fue realizado por Hechenleitner (2015). Se considera que al menos dos decenas de especies del género son componentes de la flora natural en el sur de Brasil, Paraguay, Argentina, Chile y Uruguay (Vanni y Kurtz 2005). Más de una decena de ellas habitan las regiones fitogeográficas Patagónico-Andina, Andino-Chilena y Mesopotámico-Pampeana de AR (Covas 1978). Excepto *Vicia nigricans* H. et Arn., que podría ser cultivada en los bosques patagónicos donde crece espontáneamente, las especies americanas no presentan potencial forrajero ni se comportan como malezas (Covas 1978; Hanelt y Mettin 1989). Todas ellas constituyen un potencial recurso fitogenético que debería ser conservado.

En el Catálogo Nacional de Cultivares del Instituto Nacional de Semillas (INASE)<sup>1</sup> se registran solo nueve variedades de vicia, correspondientes a *V. sativa*, *V. benghalensis*, *V. pannonica*, *V. villosa* y *V. dasycarpa*. A nivel nacional, los trabajos de mejora se habían discontinuados en 1989 (Renzi y Cantamutto 2013). Debido a la falta de renovación

---

<sup>1</sup> <https://gestion.inase.gov.ar/>

varietal, los cultivos de vicia que empleaban los productores generalmente estaban constituidos por poblaciones heterogéneas de *V. sativa*, *V. villosa* o sus mezclas físicas (Gorostegui 1971; Larreguy 1982; Renzi et al. 2010 y 2011).

## **1.2 *Vicia villosa* Roth**

*Vicia villosa* (VV) que se incluye en el subgénero *Vicilla* de la sección *Cracca*, ocupa el segundo lugar entre las vicias cultivadas en el mundo (Francis et al. 1999). Esta vicia se cultiva para proveer forraje, abono verde y también como CC. Se destaca por su elevada producción de biomasa, adaptación a estreses abióticos como frío y sequía, resistencia a plagas y a enfermedades (Goar 1934; Aarssen et al. 1986; Hanelt y Mettin 1989; Rees 1992; Clark 2007; Francis et al. 1999; Brandsaeter y Netland 1999; Brandsaeter et al. 2000; 2002 2008; Teasdale et al. 2004). El rendimiento de grano o semilla de la VV es generalmente muy bajo. Ello podría deberse a que la especie no ha sido suficientemente mejorada por selección genética y es altamente dependiente de la actividad de polinizadores (McGregor 1976; Zhang y Mosjidis 1995; Renzi 2009).

La inclusión de VV en las pasturas forrajeras cumple un rol relevante para mejorar la calidad del forraje incluido en la dieta animal (Puricelli 1996). Cuando las raciones para el ganado incluyen al grano de VV, pueden ocurrir intoxicaciones. Estas son debidas a una elevada concentración del aminoácido no proteico L-canavanina, que es tóxico para rumiantes y monogástricos. Cuando se realiza pastoreo del forraje verde de la VV, también pueden aparecer eventos de intoxicaciones (Odriozola et al. 1991; Saxena et al 1992; Enneking 1995; Miranda et al. 2005). Los riesgos de estas intoxicaciones se reducen cuando la VV se cultiva consociada con cereales de invierno, como avena, cebada, centeno o trigo (Renzi y Cantamutto 2013).

Como se trata de un cultivo versátil, la utilidad agronómica de la VV es muy variable y depende del objetivo de incluirla en cada planteo de manejo. En la actualidad, el interés por esta leguminosa está en aumento, debido a que se la considera una alternativa promisoriosa para disminuir la dependencia de fertilizantes nitrogenados de síntesis química (Crews y Peoples 2004; Vanzolini 2011). También se ha observado que cuanto se utiliza la VV como

CC, entre dos cultivos principales, suprime la interferencia de las malezas, disminuye la erosión y aporta N edáfico (Restovich et al 2012; Rinski-Korsakov et al. 2015).

Se ha observado que luego de cultivar VV, el N acumulado en el suelo se libera lentamente durante el ciclo del cultivo que la sucede, cubriendo una buena parte de los requerimientos en este nutriente (Enrico et al. 2020). Este aporte es económicamente muy valioso, considerando la tendencia creciente del precio de los fertilizantes de síntesis petroquímica (Ruffo y Parsons 2004).

El cultivo de VV como CC se incrementó notoriamente durante los últimos años, como parte de la estrategia de manejo integrado de malezas (MIM). Ello fue promovido por la creciente aparición de biotipos de malezas con resistencia a herbicidas, que no pueden ser controlados por métodos químicos convencionales. En AR, este proceso comenzó en 1996, con la aparición de un biotipo de *Amaranthus hybridus* resistente a herbicidas inhibidores de la ALS. En la actualidad nuestro país consigna 25 biotipos de 17 especies con resistencia genética confirmada a herbicidas (Bertolotto y Marzetti 2017).

Se considera que la VV constituye un integrante clave en la rotación de cultivos de los ambientes semiáridos. En estos ambientes, la alta variabilidad en el rendimiento de los cultivos limita la aplicación de fertilizantes de síntesis, debido a lo aleatorio de su respuesta económica (Agamennoni y Vanzolini 2006 a, b). En las condiciones semiáridas de la región Pampeana, la VV muestra gran adaptación y estabilidad productiva, bajo circunstancias donde no prosperan otras leguminosas.

Como una evidencia de su elevada adaptabilidad a las condiciones agroecológicas de la región Pampeana, se consigna la existencia de extensas poblaciones naturales de VV. En forma recurrente, estas poblaciones aparecen espontáneamente en varios ambientes ruderales de la región semiárida de AR. Dado que están sujetas a estreses bióticos y abióticos, estas poblaciones podrían haber desarrollado una biodiversidad espontánea novedosa, que podría contar con valor potencial para el mejoramiento de la especie. Para ser consideradas un recurso fitogenético, las poblaciones deberán estudiarse sistemáticamente, de modo tal de poder dimensionar su valor agronómico (Laliberté et al. 2000).

En Argentina, las líneas de investigación están enfocadas en los efectos del CC de VV sobre las propiedades físico-químicas del suelo, considerando la disponibilidad de N, de agua, la supresión de malezas y el rendimiento del cultivo que la sucede (maíz o soja) (Baigorria et al. 2011; Restovich et al. 2012; Rimski-Korsakov et al. 2015; Bertolotto y Marzetti 2017; Vanzolini et al. 2017; Pinto et al. 2017; Frasier et al. 2017; Enrico et al. 2020). Las investigaciones sobre la biodiversidad espontánea de la especie y su alineamiento con la actividad agropecuaria son escasas.

Para aumentar la difusión de la VV, resulta crucial contar con una alta disponibilidad de semillas de alta calidad, a un precio que pueda ser absorbido por los costos que manejan los agricultores. En un estudio previo, Renzi (2009) encontró que el rendimiento en semilla de la VV alcanzaba un tope de 1,2 t/ha, bajo un rango amplio de densidades de cultivo, a partir de un piso de 50 plantas m<sup>2</sup>. Este techo de rendimiento estuvo principalmente condicionado por la baja biomasa unitaria de la semilla de la VV, notoriamente menor que el de su congénere *V. sativa*. También halló que el manejo agronómico de los cultivos de VV para semilla se facilitaba instrumentando policultivos con hasta 60 plantas m<sup>2</sup> de avena. Si bien esta estructuración apunta a mejorar la cosecha mecánica, suele generar complicaciones para ajustar el estado óptimo para la recolección de los componentes del policultivo. En esa Tesis de Maestría, Renzi observó que la madurez fisiológica de la VV se alcanzó cuando las vainas se tornaban de color amarillo, estado de desarrollo que suele ser posterior a la madurez fisiológica del cereal de invierno acompañante. Las dificultades para ajustar el momento adecuado para la cosecha mecánica de la VV, así como lo indeterminado de su hábito de crecimiento, suelen favorecer la dehiscencia temprana de las vainas y la dispersión natural de las semillas. Estos procesos de dispersión anticipada, junto a las usuales pérdidas de las cosechadoras, explicaría la magnitud de algunas poblaciones de plantas voluntarias que suelen observarse luego de estos cultivos. Un proceso de estas características tuvo lugar en un lote de producción en Hilario Ascasubi, donde se generó una población natural que persistió por más de una década y que fue estudiado en la presente Tesis (Capítulo IV).

En esta Tesis doctoral se estudiarán aspectos genéticos, biológicos y ecológicos de las poblaciones de VV conservadas en los agroecosistemas de Argentina. Se caracterizará la distribución de las poblaciones naturalizadas en la región central del país y los mecanismos adaptativos que podrían explicar la formación de poblaciones persistentes.

Se evaluará la biodiversidad de las poblaciones naturalizadas y de las preservadas por los agricultores, en comparación a materiales proveniente del centro de origen y cultivares mejorados en el exterior.

La modelización de los procesos involucrados en el establecimiento de las poblaciones resultará de valor para delinear prácticas de manejo integrado que usufructúen de la capacidad de resiembra de la VV y modulen la difusión en agroecosistemas de clima templado. La variabilidad fenotípica de las poblaciones naturalizadas, estudiada en comparación con poblaciones introducidas del centro de origen permitirá estimar el valor potencial para la agricultura. Con las accesiones que demostraran atributos de valor agronómico, se realizará mejoramiento mediante selección masal, con el fin de fijar rasgos deseables. En el caso de poder lograr un adecuado grado de diferenciación y estabilidad, el germoplasma mejorado se inscribirá en el Registro Nacional de Comercio y Fiscalización de Semillas (RNCyFS) del Instituto Nacional de Semillas (INASE). Se desea propiciar la preservación de recursos genéticos de valor en bancos de germoplasma, para que estén disponibles para el futuro.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

**1. Estudiar la distribución y caracterizar la biodiversidad espontánea de las poblaciones de *V. villosa* Roth presentes en la región Pampeana.**

**1.1 Hipótesis:** La distribución geográfica de las poblaciones espontáneas de *V. villosa* está asociada a las condiciones ambientales y ecológicas de los hábitats ocupados (Capítulo II).

**1.2 Hipótesis:** Las poblaciones naturales de *V. villosa* poseen una elevada biodiversidad genotípica que se expresa en el fenotipo observado en un jardín común (Capítulo III).

**2. Modelar la emergencia natural de *V. villosa* mediante la comprensión de los procesos de dormición y germinación de la semilla.**

**2.1 Hipótesis:** La dormición y germinación de la *V. villosa* están asociadas al establecimiento de la especie bajo sistemas agrícolas y es posible predecir su patrón de emergencia mediante un modelo mecanístico (Capítulo IV).

**3. Modelar la demografía de *V. villosa* utilizada en secuencia de cultivos agrícolas utilizados en la región semiárida Pampeana.**

**3.1 Hipótesis:** Los parámetros poblacionales de *V. villosa* relacionados con la producción y dispersión de semillas, dinámica del banco de semillas en el suelo y patrón de emergencia a campo, permitirán desarrollar un modelo demográfico de simulación para orientar estrategias de manejo en secuencias de *V. villosa* y cultivos de cereales de invierno (Capítulo V).

**4. Debido a los beneficios agronómicos de la *V. villosa* en los agroecosistemas, se preservará el recurso genético con valor potencial para la mejora en bancos de germoplasma, y dejarlo disponible para su empleo en el futuro.**

**4.1 Hipótesis:** La biodiversidad del germoplasma de *V. villosa* desarrollada y conservada en los agroecosistemas del país puede emplearse para seleccionar poblaciones mejoradas de la especie para diferentes objetivos de uso del cultivo (Capítulos VI y VII).

## 2 CAPITULO II

### DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE POBLACIONES NATURALIZADAS <sup>(2)</sup>

#### 2.1 Poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa* en Argentina

*Vicia villosa* Roth (VV), que es una leguminosa nativa de las regiones que rodean al Mar Mediterráneo, en Europa, África y Asia Occidental, ha sido introducida en más de veinte países de América, África, Oceanía y Asia oriental. Actualmente ocupa el segundo lugar dentro de las vicias cultivadas en el mundo, destinada para el uso forrajero o como CC (Hanelt y Mettin 1989, Reid et al. 1992; van de Wouw et al. 2001; Perissé 2015).

En diversos ecosistemas de todo el mundo se conoce la existencia de poblaciones naturalizadas de VV. Es posible encontrarlas en ambientes disturbados, áreas cultivadas, márgenes de caminos, bosques y estepas. En general, la VV aparece en hábitats abiertos en los que existe algún tipo de disturbio. Su convivencia con los sistemas agrícolas ha tenido gran influencia sobre la evolución de la especie y ello podría explicar la amplia distribución geográfica observable en la actualidad (Hanelt y Mettin 1989; Francis et al. 1999).

Dentro del subgénero *Vicilla*, considerado el de mayor antigüedad y difusión, la sección *Cracca* se destaca porque sus miembros producen el aminoácido no proteico canavanina. En esta sección las inflorescencias son alargadas y no poseen nectarios (Hanelt y Mettin 1989). La VV es el representante más importante de la sección y se caracteriza por ser una planta anual, con tallos trepadores por la presencia de zarcillos y folíolos pubescentes. Las vainas poseen 2-5 semillas, son comprimidas y glabras. Las semillas son esféricas y de color negra a pardo rojizas. Una clasificación morfológica más detallada se encuentra en Renzi y Cantamutto (2013).

---

<sup>2</sup> Este Capítulo ha sido parcialmente publicado en Renzi, J.P., Chantre, G.R., Smýkal, P., Presotto, A.D., Zubiaga, L., Garayalde, A.F., Cantamutto, M.A. 2020. Diversity of Naturalized Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth) Populations in Central Argentina as a Source of Potential Adaptive Traits for Breeding. **Frontiers in Plant Science** 11:189. doi: 10.3389/fpls.2020.00189

Las plantas invasoras generalmente poseen elevada plasticidad fenotípica, lo cual posibilita que puedan predominar en ambientes con alta disponibilidad de recursos, como son los suelos utilizados para la agricultura (Davidson et al. 2011). Varias especies de *Vicia* sp. introducidas en regiones fuera de su hábitat nativo, en forma intencional o por accidente, se dispersaron naturalmente hasta alcanzar una importancia económica. Tal es el caso de *Vicia cracca* y *V. angustifolia*, que se han naturalizado en el norte de América (Aarssen et al. 1986; Ivany 2001). Estas especies pueden ser consideradas invasoras exitosas, debido a que aumentaron en forma autónoma el área de dispersión, superaron el desafío de los estreses bióticos y abióticos, y desplazaron a la flora nativa bien adaptada (Booth et al. 2003).

En AR existen dos vicias naturalizadas, que podrían contar con potencial valor agronómico (Parodi 1972). *Vicia sativa* ssp. *nigra* (= *V. angustifolia*) aparece en el centro-norte de AR. Los primeros registros del Herbario Nacional de La Plata son de 1920 (Renzi y Cantamutto 2013). El origen de las poblaciones naturales es desconocido, aunque se considera que las introducciones, intencionales o accidentales, podrían haber acontecido durante el inicio de la agricultura, cuando se utilizaba semilla importada por los colonos (Barsky y Gelman 2009). *V. sativa* ssp. *sativa* fue introducida en Brasil por colonos italianos durante el siglo XIX, aunque la *V. sativa* ssp. *nigra* posiblemente ingresó como contaminante de semillas (Weber et al. 1999; Schifino-Wittmann 2000). Es probable que un proceso similar haya ocurrido en AR.

Se considera que la VV, que es la otra especie naturalizada en nuestro país, fue introducida en forma intencional, como forrajera. Los primeros registros del Herbario Nacional de La Plata son de 1898, cuando fue hallada bajo cultivo en La Plata (Renzi y Cantamutto 2013). Es probable que el momento de entrada al país no diste mucho de esa fecha. En Estados Unidos de América del Norte la importación de VV desde Europa se registró en 1847 (Smith 1913).

La capacidad para naturalizarse de la VV podría estar vinculada a la producción de un gran número de diseminulos por planta, la dormancia de las semillas y la persistencia de las semillas en el banco del suelo. Estos atributos representan mecanismos que incrementan la probabilidad que las condiciones de germinación sean adecuadas para la supervivencia de las plántulas (Aarssen et al. 1986; Keatinge et al. 1998; Snapp et al. 2005; Renzi 2009).

La capacidad de resiembra natural de la VV es un aspecto que puede ser de alto valor agronómico, debido a que puede facilitar la utilización del recurso durante varios ciclos productivos (Renzi y Cantamutto 2009; Warwick 2011). Contrariamente, podría considerarse que cuando infecta lotes destinados a otros cultivos, como cereales de invierno, este rasgo resultaría agronómicamente indeseable (Crockett et al. 2012; Pittman et al. 2019).

No se han hallado reportes de censos o estudios sistemáticos de la distribución de las poblaciones naturalizadas de las vicias en AR. Los registros de presencia de VV informados por la base de datos mundial GBIF<sup>3</sup> (Global Biodiversity Information Facility) y del Royal Botanic Garden Kew<sup>4</sup> mencionan una amplia distribución de la especie en AR. Estos registros corresponden a observaciones humanas, especímenes preservados, en vivo, de literatura, entre otros, pudiendo sobreestimar la adaptación de la especie debido a que no se discrimina a las poblaciones naturalizadas. Estos registros de presencia no muestran un patrón definido asociado a las condiciones ambientales y ecológicas.

Para estimar el área de distribución de una especie como la VV resulta conveniente recurrir a herramientas tales como los modelos de nicho ecológico. El modelado de nicho ecológico permite identificar los factores ambientales que limitan la distribución geográfica de las poblaciones naturalizadas. En general, los modelos de nicho ecológico relacionan datos de presencia de poblaciones espontáneas de la especie con una serie de parámetros ambientales. Ello posibilita generar una aproximación de las condiciones que modulan la distribución (el nicho ecológico) de las poblaciones de la especie bajo estudio (Marcos Prado 2015). Las variables ambientales a utilizar, para elaborar un modelo de nicho ecológico, se deben seleccionar en función de la información disponible, sin embargo, es frecuente que no se conozcan *a priori* todos los factores que inciden sobre la ecología de la especie. Bajo estas consideraciones, la temperatura y precipitación, además de propiedades químicas y físicas del suelo, son las que predominan en estudios de modelización de la distribución de plantas (Pearson 2010).

---

<sup>3</sup> <https://www.gbif.org/es/species/9182154>

<sup>4</sup> <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:525259-1#distribution-map>

Dentro de la biología de la conservación, los modelos de nicho ecológico han demostrado poseer una utilidad diversa, como: orientar trabajos de campo para encontrar nuevas poblaciones de especies raras, servir de apoyo a la selección y priorización de reservas genéticas, realizar análisis de faltantes de colecciones de germoplasma (Marcos Prado 2015). Sin embargo, tienen limitaciones de aquellos factores no contemplados *a priori* como la competencia, predación, escasez de habilidad dispersiva o la influencia antrópica que condicionan sus áreas de distribución. Se asume entonces que este tipo de modelado representaría una distribución potencial aproximada al nicho real de la especie dentro del área de estudio y las dimensiones ambientales consideradas (Godoy-Bürki 2015). Estas aproximaciones aportan información que puede resultar de gran interés y representan una mejora respecto del manejo exclusivo de datos de presencia de la especie.

Actualmente existen una gran cantidad de métodos basados en el modelado de distribución de especies utilizando solo datos de presencia. Uno de los métodos destacados en términos de exactitud y precisión en el modelado de distribuciones es el utilizado mediante el software MaxEnt (Phillips et al. 2006).

Para poder conservar o establecer estrategias de manejo en VV, resulta de alto valor entender cómo se distribuye y cuáles son los aspectos del ambiente que determinan sus patrones de distribución. El objetivo de este Capítulo consistió en caracterizar la distribución geográfica de las poblaciones espontáneas de VV en una amplia área en el centro de Argentina y analizar si su distribución se encuentra asociada a las condiciones ambientales y ecológicas de los hábitats ocupados.

## **2.2 Materiales y Métodos**

### **2.2.1 *Colecta de poblaciones naturalizadas***

El área de estudio comprendió nueve provincias de AR: Buenos Aires, La Pampa, Río Negro, Neuquén, Mendoza, Córdoba, San Luis, Santa Fe y Entre Ríos. Estas provincias se encuentran dentro de tres regiones fitogeográficas según Burkart (1999), denominadas Pampeana, Espinal y distrito de monte de llanuras y mesetas (Figura 2.1). Se realizaron

tres misiones de colecta durante el mes de diciembre de 2013, 2014 y 2015, cubriendo un total de 21.400 km. Los lugares de potencial presencia de la especie fueron estimados mediante referencias de la bibliografía sistematizada (Burkart 1952) y sitios de hallazgo de los especímenes registrados en herbarios del Instituto de Botánica Darwinion<sup>5</sup> y del Museo de La Plata<sup>6</sup>.

Para ser considerada naturalizada, una población de VV debía localizarse al menos durante dos años en la misma localidad/sitio y tener una densidad mínima de medio centenar de individuos. Para cada población se registró la región ecológica de pertenencia, latitud, longitud y altitud, las condiciones del ambiente (suelo y clima) y la comunidad de especies dominantes que cohabitaban, caracterizadas en función de la familia, ciclo de vida y origen de la especie (Marzocca 1994). Durante las tres misiones se caracterizaron un total de 63 poblaciones naturalizadas. El posicionamiento fue registrado mediante GPS (Global Positioning System).

### **2.2.2 Variables ambientales**

Las variables bioclimáticas fueron obtenidas mediante el software DIVA-GIS de Worldclim (Hijmans et al. 2005), con una resolución de 30 arco-segundos (aproximadamente 1x1 km en el Ecuador) siendo el sistema de referencia geodésico el WGS84. Worldclim incluye 19 datos bioclimáticos utilizados ampliamente en la mayoría de trabajos biogeográficos. Del total, once variables son de temperatura (BIO1-BIO11) (temperatura media anual, máximas y mínimas mensuales y cuatrimestrales, estacionalidad, etc.) y ocho variables de precipitación (BIO12-BIO19) (precipitación anual, máximas y mínimas mensuales, cuatrimestrales, estacionalidad, etc.). La descripción completa de cada una se encuentra en la web de Worldclim<sup>7</sup>.

Debido a la alta correlación entre algunas de las variables BIO, para este estudio fueron seleccionadas las 10 de mayor importancia, que representan las tendencias anuales y condiciones extremas de temperatura y precipitación. La elección de estas variables de tipo bioclimático, que describen condiciones estacionales medias y extremas, suelen ser

---

<sup>5</sup> <http://www2.darwin.edu.ar>

<sup>6</sup> <http://www.museo.fcnyml.unlp.edu.ar>

explicativas de los rangos límites y óptimos en los que las especies pueden desarrollarse (Marcos Prado 2015). Estas incluyeron a la temperatura media anual (BIO1), la temperatura máxima del mes y cuatrimestre más caluroso (BIO5 y BIO10), temperatura mínima del mes y cuatrimestre más frío (BIO6 y BIO11), la precipitación anual (BIO12), la precipitación del mes y cuatrimestre más húmedo (BIO13 y BIO16), y la precipitación del mes y cuatrimestre más seco (BIO14 y BIO17). DIVA-GIS, por su parte, es un programa de software libre creado a instancias del organismo International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) específicamente diseñado para ayudar en la gestión de colecciones de recursos fitogenéticos (Hijmans et al. 2005).

Se registraron variables edáficas tales como textura del suelo, pH y densidad aparente, obtenidas de la base de datos armonizada de los suelos del mundo (Fischer et al. 2008), considerando un tamaño de celda de 30 arco-segundos.

Las variables del suelo de cada posición de las poblaciones fueron medidas en muestras compuestas extraídas a una profundidad de 15 cm, en el Laboratorio de Suelos y Agua de la EEA H. Ascasubi del INTA<sup>8</sup>. Las muestras fueron secadas, tamizadas (< 2 mm) y procesadas. Se midió el pH del suelo en una disolución de suelo:agua 1:1,5 con peachímetro. El contenido porcentual de arcilla, limo y arena se cuantificó con el método de la pipeta. Entre los valores extraídos de las bases de datos y los obtenidos *in situ* de cada población se realizaron análisis de correlación mediante el coeficiente de Pearson utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2018).

### **2.2.3 Análisis de nicho ecológico**

Se realizó un modelo de nicho ecológico utilizando las ubicaciones geográficas (coordenadas) de las poblaciones naturalizadas mediante el software MaxEnt (versión 279 3.4.1, Phillips et al. 2018). Se utilizaron las condiciones predeterminadas por el programa y se aplicó un método de aprendizaje automático basado en la entropía máxima para fines de modelado. MaxEnt presenta la ventaja frente a otros modelos en su sencillez de uso, junto con la gran cantidad de información que se puede obtener de forma automática (Hernández

---

<sup>7</sup> <http://www.worldclim.org/bioclim>

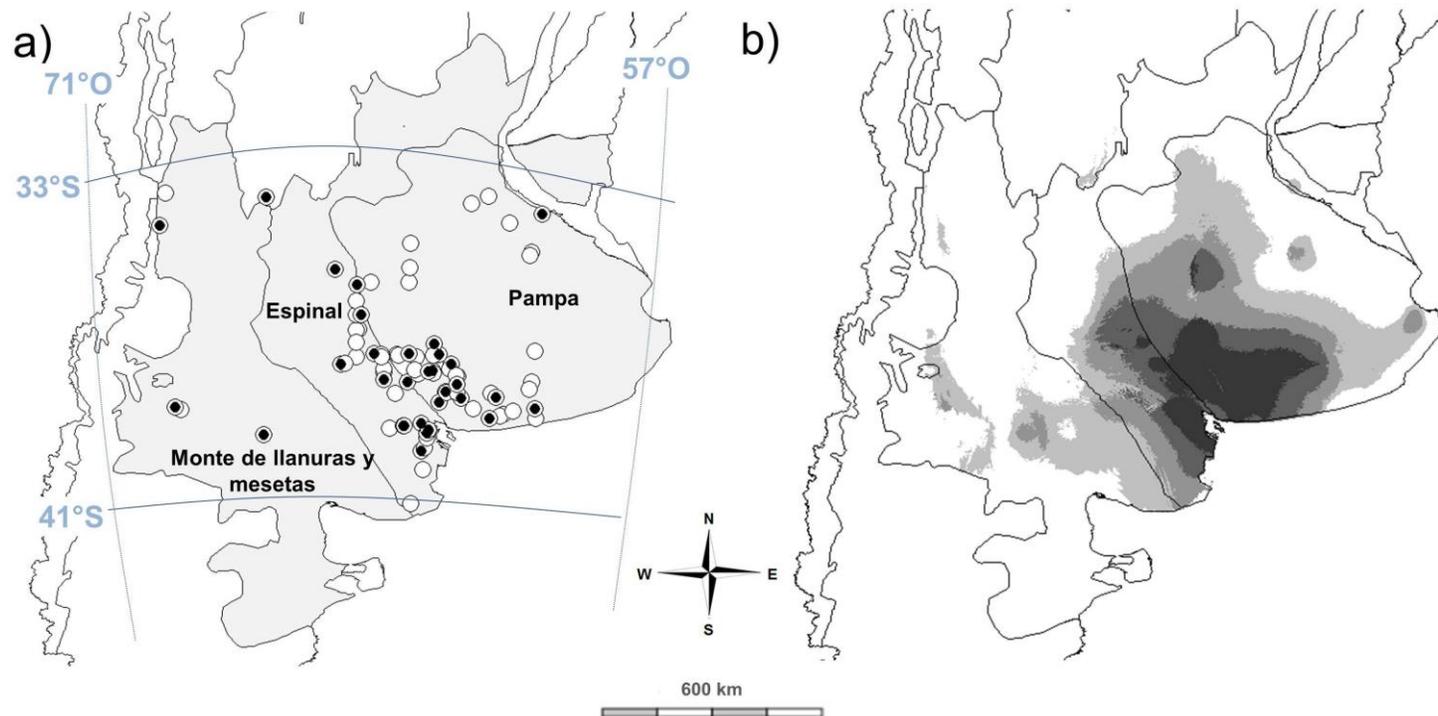
<sup>8</sup> <https://inta.gob.ar/ascasubi>

et al. 2006; Phillips et al. 2006). Como predictores ambientales, se utilizaron las variables bioclimáticas y del suelo descritas anteriormente. Se generó un mapa de probabilidades identificando la capacidad de albergar la especie por pixel. Se utilizó el modelo logístico en el que la probabilidad estimada puede tener valores comprendidos entre el rango de 0 (hábitat inadecuado) a 1 (hábitat óptimo). La muestra general se dividió aleatoriamente en dos grupos. El 75% se empleó en la calibración del modelo y 25% restante para su validación. La robustez del modelo se estimó a través del valor del área bajo la curva (AUC) generado por MaxEnt (Pearson 2010; Phillips et al. 2018). Valores de AUC cercanos a 1 indican baja probabilidad que la predicción sea producto del azar (Araújo et al. 2005).

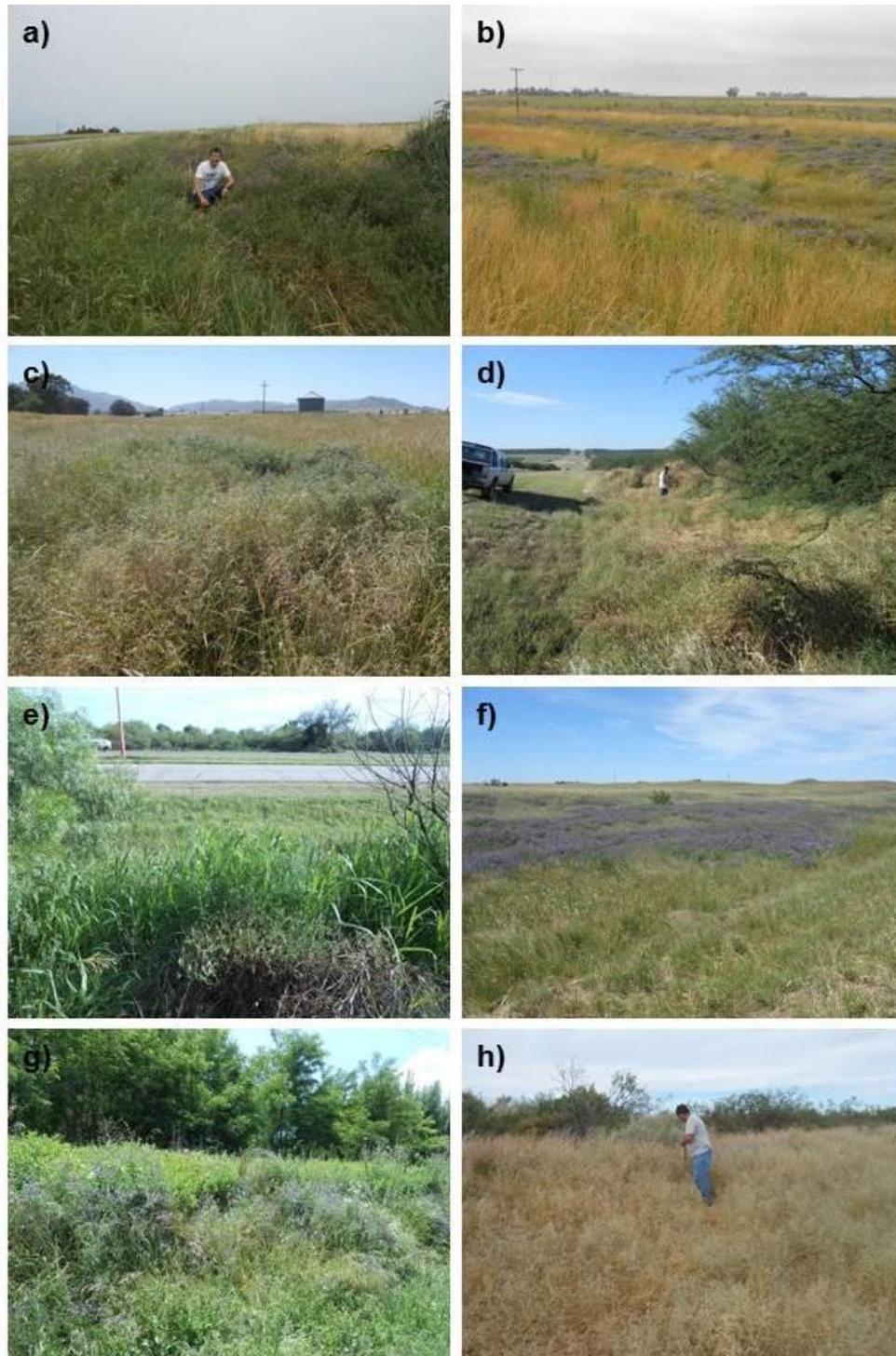
### 2.3 Resultados

La colecta de poblaciones de VV se realizó en una extensa área en la parte central de AR. En esta templada área la precipitación anual disminuye de  $\geq 1000$  mm en el este a  $\leq 200$  mm en el oeste. Desde el este, el distrito de la Pampa es una estepa de hierba sin especies leñosas, seguida del Espinal, con predominio de una pradera intermedia, con pastos y escasos árboles xéricos, principalmente del género *Prosopis* spp. La vegetación occidental de la meseta y las llanuras corresponden a una estepa árida con predominio de *Larrea* spp. y hierbas duras. Se encontraron poblaciones de VV naturalizadas en las tres regiones ecológicas estudiadas (Figura 2.1a y 2.2).

El modelo de nicho propuesto explicó la mayor parte de la variación en la distribución geográfica de VV en AR. El área bajo la curva (AUC) de los modelos MaxEnt, tanto los valores de AUC de calibración como de validación, fueron de 0,957 y 0,956, respectivamente. Esto indicó que la mayoría de las áreas climáticamente adecuadas predichas por MaxEnt estaban altamente correlacionadas con la ocurrencia de poblaciones naturales de VV. La distribución se vio significativamente afectada por la cantidad de precipitación del trimestre más seco (BIO17), la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5), la temperatura media anual (BIO1) y el contenido de arcilla en la superficie del suelo ( $t_{clay}$ , Tabla 2.1). Los principales hábitats considerados adecuados para VV se distribuyen en el sureste de Espinal y el suroeste de la región Pampeana (Pampa), caracterizados por climas templados sub-húmedos y semiáridos, con veranos cálidos y secos e inviernos fríos y húmedos (Figura 2.1b).



**Figura 2.1.** Distribución espacial de poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa* de Argentina y sitios de recolección de semillas (círculo). El área gris muestra regiones monitoreadas y los círculos negros indican las poblaciones utilizadas para la caracterización fenotípica en jardín común (ver Capítulo III) (a). Distribución potencial prevista de las poblaciones de *Vicia villosa* en el centro de Argentina en función de los resultados del modelado de nicho ecológico (b). En escala de grises los colores claros corresponden a menores probabilidades de ocurrencia, mientras que los colores oscuros corresponden a mayor probabilidad de ocurrencia (creado con MaxEnt 3.4.1k).



**Figura 2.2.** Poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa* de Guaminí (a), San Francisco de Belloq (b), Sierra de la Ventana (c), Guatraché (d), San Luís (e), Teniente Origone (f), Paso Carretas (g) y Chelforó (h).

**Tabla 2.1.** Contribución (%) de cada variable bioclimática y de suelo en el modelo de nicho ecológico (MaxEnt), y valores medios y de rangos de cada variable en hábitats considerados adecuados para el desarrollo de las poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa* en la región central de Argentina

Variables ambientales	Contribución (%)	Hábitats adecuado Media (Rango)	Unidad
Precipitación del cuarto más seco	27,2	25,5 (16,6-39,3)	mm mes <sup>-1</sup>
Temperatura máxima del mes más cálido	16,2	25,9 (24,1-27,7)	°C mes <sup>-1</sup>
Temperatura media anual	15,2	12,3 (11,0-13,6)	°C mes <sup>-1</sup>
Contenido de arcilla en suelo superficial	11,5	28,3 (8,0-38,0)	%
Precipitación anual	5,0	632 (407-812)	mm año <sup>-1</sup>
pH en suelo superficial	4,7	6,6 (6,1-9,7)	
Contenido de arena en suelo superficial	4,6	37,1 (23,0-84,0)	%
Temperatura mínima del mes más frío	4,3	1,5 (0,3-2,5)	°C mes <sup>-1</sup>
Temperatura media del cuarto más frío	3,6	6,6 (5,7-7,3)	°C mes <sup>-1</sup>
Precipitación del mes más seco	2,9	20,5 (9,0-27,0)	mm mes <sup>-1</sup>
Contenido de limo en suelo superficial	2,6	34,6 (8,0-49,0)	%
Temperatura media del cuarto más cálido	0,9	18,3 (16,8-19,8)	°C mes <sup>-1</sup>
Precipitación del cuarto más húmedo	0,8	71,7 (44,6-91,7)	mm mes <sup>-1</sup>
Precipitación del mes más húmedo	0,4	84,4 (51,0-103,0)	mm mes <sup>-1</sup>
Densidad aparente del suelo	0,1	1,3 (1,2-1,6)	kg dm <sup>-3</sup>

La comunidad asociada a las poblaciones de VV estuvo compuesta por 63 especies vegetales. Las más frecuentes fueron: *Avena fatua*, *Cynodon dactylon*, *Sorghum halepense* (Poaceae), *Carduus* sp. y *Centaurea solstitialis* (Asteraceae) y comunidades naturales de *Festuca arundinacea* (Poaceae). La Tabla 2.2 presenta los ciclos de vida y los orígenes de las 20 especies frecuentemente asociadas con poblaciones naturalizadas de VV en la región explorada, consideradas como dominantes. Dentro de estas, las especies exóticas representaron el 85% de la vegetación concurrente.

**Tabla 2.2.** Especies dominantes asociadas con las poblaciones de *Vicia villosa* en el centro de Argentina.

Especie	Familia	Ciclo	Origen	Frecuencia
<i>Avena fatua</i> L.	Poaceae	A	E	0,50
<i>Carduus nutans</i> L.y <i>C. acanthoides</i> L.	Asteraceae	A	E	0,45
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	P	E	0,42
<i>Centaurea solstitialis</i> L.	Asteraceae	A	E	0,40
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Poaceae	P	E	0,38
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Poaceae	P	E	0,38
<i>Stipa ambigua</i> Speg. y <i>A. caudate</i> Trin.	Asteraceae	P	Na	0,37
<i>Taraxacum campyloides</i> G.E.Haglund	Asteraceae	P	E	0,33
<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	Brassicaceae	P	E	0,29
<i>Melilotus albus</i> Medik.	Fabaceae	A	E	0,28
<i>Medicago lupulina</i> L.	Fabaceae	A-P	E	0,28
<i>Ammi majus</i> L.	Umbelliferae	A	E	0,24
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Poaceae	A	E	0,22
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Poaceae	P	E	0,22
<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	Brassicaceae	A	E	0,22
<i>Eragrostis curvula</i> (Schrad.) Nees	Poaceae	P	E	0,20
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	Asteraceae	A	Na	0,20
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantaginaceae	P	E	0,19
<i>Medicago sativa</i> L.	Fabaceae	P	E	0,15
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Poaceae	B	Na	0,14

Ciclo de vida: A, anual; P, perenne; B, bianual. Origen: Na, nativa; E, exótica

## 2.4 Discusión

Las poblaciones naturalizadas de VV crecieron en un límite de transición bien definido entre dos regiones ecológicas, la región Pampeana con clima subhúmedo y el Espinal con condiciones semiáridas (Figura 2.1). Los registros históricos señalan que, en Buenos Aires, la VV se introdujo como especie forrajera en el siglo XIX (Manganaro 1919). Es factible que, a partir de esa introducción intencional, la VV se hubiera escapado del cultivo (Aarssen et al. 1986), mientras que la aptitud del agroecosistema favoreció su naturalización.

La dispersión natural de VV es muy limitada, debido al gran tamaño de su semilla y la ausencia de mecanismos específicos, como ganchos o *papus* (Jannink et al. 1997). Posiblemente, el derrame de semillas durante el procesamiento de la simiente y durante el transporte, fueron los principales mecanismos de dispersión. La actividad agropecuaria podría explicar la difusión y colonización de los hábitats adecuados para la VV (Pascher et al. 2017; Horvitz et al. 2017). La dispersión mediada por animales (endo-zoocoria) resulta

poco probable dado que las semillas de VV no sobreviven al paso por el tracto digestivo de algunos animales (Armke y Scott 1999, Renzi et al. 2017).

Puede asumirse que, luego de su introducción intencional en AR, con fines agropecuarios, la VV se difundió en las áreas que presentaban condiciones adecuadas para su reproducción, con un patrón de distribución irregular. Las poblaciones de VV se naturalizaron en un rango geográfico comprendido entre 33-41°S de latitud y 60-66°O de longitud. También se restringió a un rango climático con 400-800 mm de lluvia; 11-13,6 °C de temperatura media anual (Tabla 2.2). Duke (1981) y Nan et al. (2006) consideran que VV está adaptada a un mayor rango de temperaturas medias anuales, entre 4,3-21,1°C, que las registradas en el presente análisis de nicho ecológico. En este estudio, las bajas precipitaciones y las temperaturas cálidas durante los meses de verano explicaron la distribución potencial de las poblaciones naturales de la especie (Tabla 2.2).

Las poblaciones naturalizadas de VV ocurrieron en suelos alcalinos a neutros, con 6,1-9,7 pH, textura arenosa o franco arenoso, aunque también ocurrieron en otros tipos de suelo con suficiente capacidad de drenaje (Duke 1981). Clark et al. (2007) demostraron que VV se adapta mejor a los suelos neutros (pH 6,0-7,0) y tiene tolerancia a los suelos alcalinos (Duke 1981). Un pH bajo (<6,2) puede disminuir la tasa de crecimiento, la nodulación y la fijación de nitrógeno e impactar negativamente sobre su potencial de adaptación (Aarssen et al. 1986).

Dado que la VV es una especie de polinización cruzada entomófila, los polinizadores juegan un importante rol en el desarrollo de semillas (Zhang y Mosjidis 1995). Por ello, el clima seco y cálido sería también favorable para aumentar la fecundidad de la especie con el auxilio de los polinizadores (Petraityte et al. 2007; Al-Ghzawi et al. 2009).

La capacidad de VV para producir semillas con dormición (física más fisiológica) y su posterior germinación y emergencia son factores que influyen en la dinámica y persistencia de la población natural (Kimball et al. 2010). Durante el período de formación de la semilla, las condiciones secas y cálidas podrían acortar el ciclo de vida de la especie, debido a la rápida acumulación de tiempo térmico (Petraityte et al. 2007). Ello también acelera la desecación de la semilla y la adquisición de dormición física (PY). Se conoce que la PY de

la semilla de VV se inicia cuando el contenido de humedad es igual o menor a 14% (Hyde 1954).

La formación de poblaciones naturalizadas de VV en los ambientes húmedos de la región pampeana de AR, podría estar limitada por la combinación negativa de dos factores. La humedad ambiental aumenta la virulencia de las enfermedades foliares, que reducen el área foliar activa, como *Ramularia sphaeroidea* Sacc. y *Ascochyta viciae* Lib., y de ese modo la producción de semillas (Petraityte et al. 2007; Renzi y Cantamutto 2013). En segundo lugar, la humedad ambiental exagera el crecimiento indeterminado de la VV, por lo cual se prolonga el ciclo, que llega a ser bienal, y ello causa detrimento de la producción de semillas (Duke 1981).

En ambientes húmedos la escasa formación de semillas con bajo nivel de PY, pueden conducir al agotamiento del banco del suelo y limitar la consiguiente regeneración natural. Toser y Ooi (2014) mostraron que el nivel de PY en *Acacia saligna* era más baja cuando las semillas se producían en ambientes de mayor humedad. En *Astragalus nitidiflorus* también fueron hallados resultados similares (Segura et al. 2015).

Después de la dispersión, las temperaturas cálidas de verano desbloquearían la dormición de las semillas de VV (Renzi et al. 2014; 2016). La dormición de las semillas, su desbloqueo y las condiciones para la emergencia de las plántulas, determinan la validez de los parámetros que describen de aptitud de los nichos ecológicos para la VV (Figura 2.1.b). Estos rasgos adaptativos parecen haber evolucionado en entornos de clima mediterráneo, donde las condiciones cálidas y secas del verano regulan la salida de la dormición de las semillas. Por su parte, los inviernos fríos y húmedos contribuyen a mejorar el crecimiento vegetativo proporcionando sitios seguros para el establecimiento de las plántulas luego de la germinación (van Assche y Vandellook 2010; Picciau et al. 2018).

Comprender la distribución de plantas de VV, así como las áreas que son adecuadas para la producción de semillas y la regeneración natural, resulta de valor agronómico, tanto para la conservación del recurso, como para su utilización en los sistemas de producción agrícola (Bariotakis et al. 2019).

### 3 CAPITULO III

## CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE POBLACIONES NATURALIZADAS <sup>(9)</sup>

### 3.1 Introducción

El mejoramiento genético para la obtención de nuevas y mejores variedades, contempla tres pasos cruciales, dentro de los cuales pueden darse distintos ciclos: *i)* la reunión y generación de nueva variabilidad, *ii)* la evaluación y selección de los “mejores” entre los materiales recombinantes y *iii)* el desarrollo y comercialización de los cultivares-variedades (Gepts 2002). En la primera etapa es importante tener en claro los objetivos de mejora, procedimientos y la acertada elección de los progenitores (Ranalli y Cubero 1997).

Para la mejora de la VV los recursos genéticos pueden ser básicos, tales como taxones silvestres, poblaciones naturalizadas, variedades o ecotipos locales (“*landraces*”) o cultivares primitivos. También puede emplearse aquellos derivados de variedades obsoletas, líneas y cultivares avanzados (De la Rosa 2013). Es prioritario tener claro el objetivo de la mejora, establecido en función del ambiente al cual se destinará el material y el aprovechamiento que se propone.

Los objetivos de mejora de la VV se orientan al tipo de utilización del cultivo, que incluye pastura para pastoreo directo, forraje conservado, grano para alimentación, abono verde o cultivo de cobertura (CC). A fin de facilitar la multiplicación del material, también debe considerarse una buena aptitud para producir semilla para cosecha.

En ambientes sub-húmedos y húmedos el empleo de la VV como CC es una práctica de creciente interés por parte de los productores. Ello es debido a la intensificación del uso agrícola de los suelos, a veces denominado proceso de *agriculturización*. La inclusión de VV en las rotaciones agrícolas con cultivos de verano, como maíz y soja, conforma una

---

<sup>9</sup> Este Capítulo ha sido parcialmente publicado en: a- Renzi, J.P., Chantre, G., Cantamutto, M.A. 2016. Effect of water availability and seed source on physical dormancy break of *Vicia villosa* ssp. *villosa*. **Seed Science Research** 26: 254-263; b- Renzi, J.P., Chantre, G.R., Smýkal, P., Presotto, A.D., Zubiaga, L., Garayalde, A.F., Cantamutto, M.A. 2020. Diversity of Naturalized Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth) Populations in Central Argentina as a Source of Potential Adaptive Traits for Breeding. **Frontiers in Plant Science** 11:189.

práctica de sumo interés. Las razones de su adopción son las múltiples mejoras que se observan tanto en el suelo, en el cultivo comercial, que no están supeditadas únicamente al N que aportan (Rimski-Korsakov et al. 2015). La emergencia de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas se ha incrementado notoriamente durante la última década (Heap 2020). En los suelos en los que se han instalado los biotipos de malezas con resistencia genética a herbicidas, la utilización de CC constituye una estrategia promisoriosa para disminuir su interferencia sobre los cultivos (Bertolotto y Marzetti 2017). El empleo de la VV como CC disminuye la interferencia de las malezas (Wayman et al. 2016; Aapresid 2018).

En ambientes semiáridos la VV presenta múltiples destinos y flexibilidad de manejo agrícola. El cultivo se puede destinar a pastoreo directo de bovinos y ovinos, confección de rollos y/o para la producción de semilla. Para el empleo forrajero, el cultivo de la VV asociada a cereales invernales, puede mejorar el valor nutritivo de la ración, al hacerla más balanceada. El policultivo también contribuye a eliminar los trastornos como la hipocalcemia e hipomagnesemia en animales lactantes, que ocurre en los verdeos de cereales, especialmente en avena (Labarthe y Pelta 1971). Las pasturas de VV que se cultivan en mezclas con cereales son menos propensas a producir *empastes* del ganado. La mezcla de especies mejora la concentración de proteínas y la digestibilidad del forraje.

La VV aumenta la disponibilidad de néctar para la producción apícola (Rebek y Mulder 2020). Se destaca por aportar néctar durante los dos tercios finales de la primavera, cuando generalmente se registra un bache en la cadena de floración disponible para el pecoreo de las abejas (Martínez et al. 2008).

Para obtener variedades de VV destinadas a CC de ambientes sub-húmedos a húmedos, la selección tendrá como objetivo un elevado vigor inicial durante el período de establecimiento del cultivo, con alta producción de biomasa en fines de invierno y comienzo de primavera. También será deseable un bajo nivel de dormición de las semillas, para evitar que queden semillas sin germinar y produzcan la recarga del banco en el suelo. Eso permitirá limitar la aparición de plantas voluntarias, vulgarmente denominadas *guachas* que suelen constituir un problema para algunos agricultores (Jacobsen et al. 2010; Maul et al. 2011).

El rápido crecimiento inicial en condiciones de bajas temperaturas ( $< 10^{\circ}\text{C}$ ) es especialmente importante cuando la VV se utiliza como CC previamente a la siembra del cultivo de verano (Kissing Kucek et al. 2019). En esta modalidad de empleo, el crecimiento del CC debe detenerse artificialmente mediante desecación química con herbicidas o mecánica mediante laboreo. El estado en el que se detiene el crecimiento dependerá de la fecha de siembra del cultivo de verano. Ello es un factor clave debido a que determina el volumen de biomasa acumulado por la VV. Con el incremento de la temperatura, que ocurre con el avance de la primavera, la tasa de crecimiento de la VV se incrementará en forma exponencial. Esta producción de biomasa primaveral determina, en gran medida, la cantidad de N acumulado en el suelo, que podría ser suministrado a los cultivos siguientes (Vanzolini 2011; Enrico et al. 2020). A mayor biomasa acumulada, mayor aporte de N.

En algunos agroecosistemas de regiones semiáridas, la capacidad de resiembra natural de la VV es un rasgo deseable, debido a que incrementa el número de ciclos en que puede hacerse uso forrajero del cultivo. La dormición de las semillas permite el re-establecimiento del cultivo, en forma cíclica, reduciendo los costos de implantación (Renzi et al. 2017). En estos ambientes, además de una buena productividad invernal y primaveral, también es deseable que la VV posea tolerancia al frío, sequía, buena capacidad de rebrote, alta fertilidad (bajo vaneo) y elevada dormición física de las semillas.

El esfuerzo realizado para el mejoramiento de la VV pareciera ser escaso. Es posible que en etapas avanzadas de la selección deban considerarse objetivos de mejora de alta complejidad, superiores a los enunciados precedentemente, que aparecen como básicos. Esos nuevos objetivos de mejora, para etapas más avanzadas, deberían incluir el valor nutritivo de forraje, concentración de N en planta, taninos condensados, tolerancia a sales, entre otros (Renzi y Cantamutto 2013).

Las poblaciones naturalizadas de AR aparecen como una posible fuente de variabilidad para el proceso de mejoramiento. No se han hallado antecedentes sobre la evaluación agronómica de las poblaciones naturalizadas en el centro de AR. La caracterización de plantas por su fenotipo informa sobre los atributos que permiten establecer las peculiaridades de cada una de ellas y diferenciarlas del resto.

A pesar de que se estudian las mismas estructuras de la planta, las variables que se consideran y su forma de medirlas son diferentes según se trate de colecciones de germoplasma o se esté desarrollando material para la mejora. En el primer caso, es habitual utilizar listas de descriptores publicados por Bioversity International<sup>10</sup>, mientras que en el segundo se utilizan los atributos agronómicos de interés de utilidad para la selección en programas de mejoramiento, en función de los descriptores establecidos por el Instituto Nacional de Semillas<sup>11</sup>.

La VV se introdujo en AR hace más de un siglo (Manganaro 1919). Desde entonces, se han establecido poblaciones naturalizadas, en hábitats ruderales que rodean los campos agrícolas. Los parámetros agroecológicos que se vinculan a la distribución de las poblaciones naturalizadas fueron descriptos en el Capítulo II. El objetivo de este Capítulo consistió en evaluar la variabilidad fenotípica de las poblaciones naturalizadas, en comparación con un conjunto de 41 accesiones introducidas de VV, que incluyeron algunas especies silvestres y cultivares, originados en Europa. Se espera detectar en las poblaciones naturales y *landraces* de VV de AR una elevada biodiversidad genotípica que se expresará en el fenotipo observado en un jardín común.

## **3.2 Materiales y Métodos**

### **3.2.1 *Material vegetal***

Las poblaciones naturalizadas de AR (Capítulo II; Figura 2.1.a), fueron comparadas con accesiones importadas de Europa (EU). Las observaciones se hicieron en plantas cultivadas en un jardín común durante dos estaciones de crecimiento (2014 y 2016). Se seleccionaron veintinueve poblaciones nacionales (Tabla 3.1), en función a la disponibilidad de semillas (> 30 g) y la distribución geográfica en AR (Figura 2.1.a). Se incluyó germoplasma cultivado en el país, consistente en 10 variedades o ecotipos locales ("*landraces*") mantenidas por los productores durante más de diez años (Tabla 3.1), el único cultivar registrado en INASE<sup>7</sup> y disponible de la especie hasta 2014 (Tolse F.C.A) y

---

<sup>10</sup> [www.bioversity.org](http://www.bioversity.org)

<sup>11</sup> [www.argentina.gob.ar/inase](http://www.argentina.gob.ar/inase)

una línea experimental (L.E.) que posteriormente se inscribió como cultivar Ascasubi INTA (Capítulo VI).

El germoplasma silvestre (n = 5) y cultivado (n = 24) de VV de EU estuvo representado por 29 accesiones (Tabla 3.1). El origen y el nombre de cada accesión o cultivar fueron proporcionados por el Research Institute of Crop Production (CRI) de República Checa<sup>12</sup> (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1.** Estatus de mejora (cultivar, silvestre y naturalizado) de accesiones EU y nacionales (AR), y nombre de las accesiones de *Vicia villosa* incluidas en las evaluaciones fenotípicas.

País de origen	N	Accesión/Localidad <sup>†</sup> (nombre)	Evaluación**
Cultivar EU			
Hungría	1	Kartali	A
	2	Simabuekkoeny	A
	3	Rea	A
Polonia	4	Rod MPI	A
	5	Sielecka	A,B
Turquía	6	617 81	A,B
	7	Capello	A,B
Bulgaria	8	266 99	A,B
	9	Arida	A
	10	HS 1884	A
Checoslovaquia	11	Modra	A,B
	12	nsl. Dobrenice	A
	13	Troubsko	A,B
Francia	14	Viola	A
	15	Savane	A,B
	16	Ebsdorfer	A
Alemania	17	Oregon	A,B
	18	Polyp	A
	19	SAM 21	A
	20	Welta	A
URSS	21	Pridesnjanskaja	A
	22	Stavcanka	A,B
	23	Stenskaja 24	A
Yugoslavia	24	Sarajevo	A
Silvestre			
República Checa	1	Pouzdrany <sup>†</sup>	A
	2	Zavojno jezero I <sup>†</sup>	A
	3	Petrovo Selo <sup>†</sup>	A,B
Serbia	4	Radenka II <sup>†</sup>	A,B
	5	Senokos <sup>†</sup>	A

<sup>12</sup> <https://grinczech.vurv.cz/gringlobal/search.aspx>

Naturalizadas AR			
	1	Algarrobo†	A,B
	2	Bordenave†	A
	3	C. Dorrego†	B
	4	C. Pringles†	B
	5	C. Suarez†	A
	6	Chelforó†	B
	7	Doblas†	A
	8	E. Martini†	B
	9	E. S. Pablo†	A
	10	G. Acha†	B
	11	Guamini†	A,B
	12	Guatraché	B
	13	I. Rico†	B
	14	Médanos†	A
Argentina	15	Ombucta†	A,B
	16	P. Carretas†	B
	17	P. Luro†	B
	18	Pasman†	A
	19	Pigue†	A,B
	20	Rancul†	A
	21	Rivera†	B
	22	S. Luis†	B
	23	S. Pedro†	A,B
	24	Saldungaray†	A,B
	25	T. Arroyos†	B
	26	T. Origone†	A
	27	T. Picos†	A,B
	28	Tratayen†	B
	29	Winifreda†	A
Cultivar* AR			
	1	Algarrobo†	A
	2	L.E. Ascasubi INTA	A,B
	3	Bordenave†	A
	4	Buratovich†	A
	5	Carhuét	A
Argentina	6	G. Chávez†	A
	7	Guatraché†	A
	8	M. Juárez†	A
	9	Oriente†	A
	10	Pergamino†	A
	11	T. Origone†	A
	12	Tolse F.C.A	A,B

\*Corresponden a variedades "landraces" o ecotipos locales mantenidas por los productores.

\*\*Evaluación en jardín común en 2014 (A) y 2016 (B)

### 3.2.2 Jardín común

Las accesiones (Tabla 3.1) se cultivaron en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de Hilario Ascasubi (Buenos Aires, AR; 62°37'O, 39°23'S) durante los ciclos de cultivo 2014 y 2016. El clima predominante es templado semiárido, precipitación media anual de 489 mm y temperatura media anual de 14,8 ° C (EEA H. Ascasubi, 1966-2018). El suelo empleado fue un haplustoll énterico, franco arenoso, ligeramente alcalino (pH ≈ 7,5), con alto contenido de fósforo (P) (≈ 22 ppm P Bray & Kurtz) y con bajo contenido de materia orgánica (≈ 1,6%) en la capa 0-20 cm. Los datos meteorológicos se registraron en la estación meteorológica<sup>13</sup> de la EEA (< 500 m).

Las accesiones se dispusieron en micro-parcelas bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. En cada unidad experimental (U.E.) se sembró una línea de 2,50 m con 30 semillas el 10 de abril de 2014 y el 27 de abril de 2016. En los dos casos se utilizaron las semillas provenientes de la colecta de campo o de importación, para evitar contaminaciones por cruzamientos o segregación. Las semillas se inocularon con inoculante comercial en base turba marca BIOAGRO ® (*Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*) inmediatamente antes de la siembra (Deaker et al. 2004).

Se registró la duración del ciclo desde la siembra hasta el 50% de floración mediante observación directa, realizada dos veces por semana. Luego de este estado se midió la longitud de la hoja (mm), foliolos por hoja y el número de flores por racimo, en diez tallos individuales seleccionados al azar. Para las observaciones foliares, se utilizó la hoja del tercer nudo superior del tallo y los foliolos que se disponían en la base de esa hoja.

La acumulación de materia seca total aérea se midió al final del invierno (mediados de septiembre) y finales de la primavera (mediados de diciembre), cortando las plantas a nivel del suelo en una longitud de 0,50 m en sectores diferentes de cada U.E. La biomasa relativa en cada estación y para cada año, se calculó como la relación entre la biomasa acumulada en invierno y al final de la primavera de cada accesión, respecto a la biomasa total promedio de todos los materiales evaluados en cada año.

La madurez del cultivo se definió cuando el 75% de vainas presentaban coloración marrón y desprendimiento de la semilla del funículo en el interior de la vaina. Este estado de

---

<sup>13</sup> <http://inta.gob.ar/documentos/informes-meteorologicos>

madurez tuvo lugar al comienzo del verano (diciembre). Las vainas maduras se cosecharon y trillaron inmediatamente de recolectadas, en forma manual, el 21 de diciembre de 2014 y el 26 de diciembre de 2016. En forma inmediata se realizó la evaluación de la dormición física (PY). Para ese estado de recolección, el contenido de humedad en la cosecha fue menor al 14% (Renzi y Cantamutto 2013).

### **3.2.3 Evaluación de la dormición física (PY)**

Inmediatamente luego de la cosecha en el jardín común, se procedió a trillar y limpiar las semillas en forma manual y se estimó la biomasa por semilla, empleando una muestra de 100 semillas en 2014 (n = 1) y 50 en 2016 (n = 3). La proporción de semillas con PY, que no se hidrataron, manteniéndose "duras" (o impermeables), se determinó mediante la prueba de imbibición, realizada a  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 38 días (Baskin y Baskin, 2014). Grupos de 50 semillas de cada accesión se colocaron en cajas de Petri sobre papel de filtro húmedo (n = 3). Las semillas embebidas se detectaron debido a que se hincharon y mostraron un cambio visible en su relación tamaño / volumen, y se distinguieron fácilmente de las no embebidas. El color de la cubierta (testa) de la semilla resultó más claro para las semillas embebidas que para las no embebidas (Jones 1928; Renzi y Cantamutto 2009). El primer recuento de imbibición se realizó a los 3 días y adicionalmente, para todas las accesiones, los valores acumulados de ruptura PY (es decir, semillas que no son PY = semillas germinadas + embebidas) se evaluaron hasta 38 días de iniciada la prueba, manteniendo el medio con humedad constante. En todos los casos se cuantificó el número de semillas embebidas y se las dejó sobre el papel hasta que se observó la salida prominente de la radícula ( $> 1\text{ mm}$ ), para corroborar la viabilidad de las mismas. Al final de la instancia de imbibición, la viabilidad para aquellas semillas remanentes, que no embebieron y no germinaron, se estimó cortándolas longitudinalmente y sumergiéndolas en una solución de cloruro de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) al 0,5% (p / vol) durante 24h  $35^{\circ}\text{C}$  en la oscuridad (ISTA 2019). Las semillas con embriones teñidos de rosa o rojo se consideraron viables. El número total de semillas viables consistió en la suma de las germinadas más las teñidas.

La PY inicial (%) luego de la cosecha, el 26 de diciembre de 2014 y 30 de diciembre de 2016, estimada en el 3° día de la prueba, y la dinámica de ruptura de PY hasta los 38° días

de imbibición a 20°C de temperatura en condiciones húmedas, se analizaron mediante regresión lineal utilizando GraphPad Prism Software versión 6.0 (GraphPad, San Diego, California, EE.UU.). Como una medición integrada de la dinámica de ruptura PY en función del tiempo de almacenamiento se estimó con el mismo software el área bajo la curva (AUC). Donde AUC = 1 indicó semilla sin PY (100% embebidas en el primer recuento) y AUC = 0 indicó semilla con PY (con 100% de dormición final en el último recuento).

### **3.2.4 *Análisis estadístico y relación entre caracteres fenotípicos de las poblaciones naturalizadas, ubicación geográfica y condiciones ambientales***

Las variables fenotípicas (n = 7) observadas en el jardín común y las evaluadas en el laboratorio (n = 6) se analizaron mediante modelo lineal mixto (LMM) utilizando las accesiones y estatus (EU Cultivar, silvestre, AR Cultivar y Naturalizadas; Tabla 3.1) como factores fijos y el año como aleatorio. El diseño fue en bloques completos al azar con 3 repeticiones. El análisis LMM se realizó con R versión 3.6.1 (R Development Core Team 2019) usando los paquetes MASS, *nlme* y GLM en Infostat (2018) y su interfaz con R. Las medias de las accesiones y las medias de cada estatus se compararon mediante la prueba de Fisher (LSD), usando un umbral de significancia de P <0.05.

La correlación entre rasgos cuantitativos se calculó utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. El análisis de variación canónica (CVA) se realizó con todos los rasgos fenotípicos (Tabla 3.2) utilizando una distancia euclídea. Todos los análisis se realizaron mediante el software InfoStat (2018).

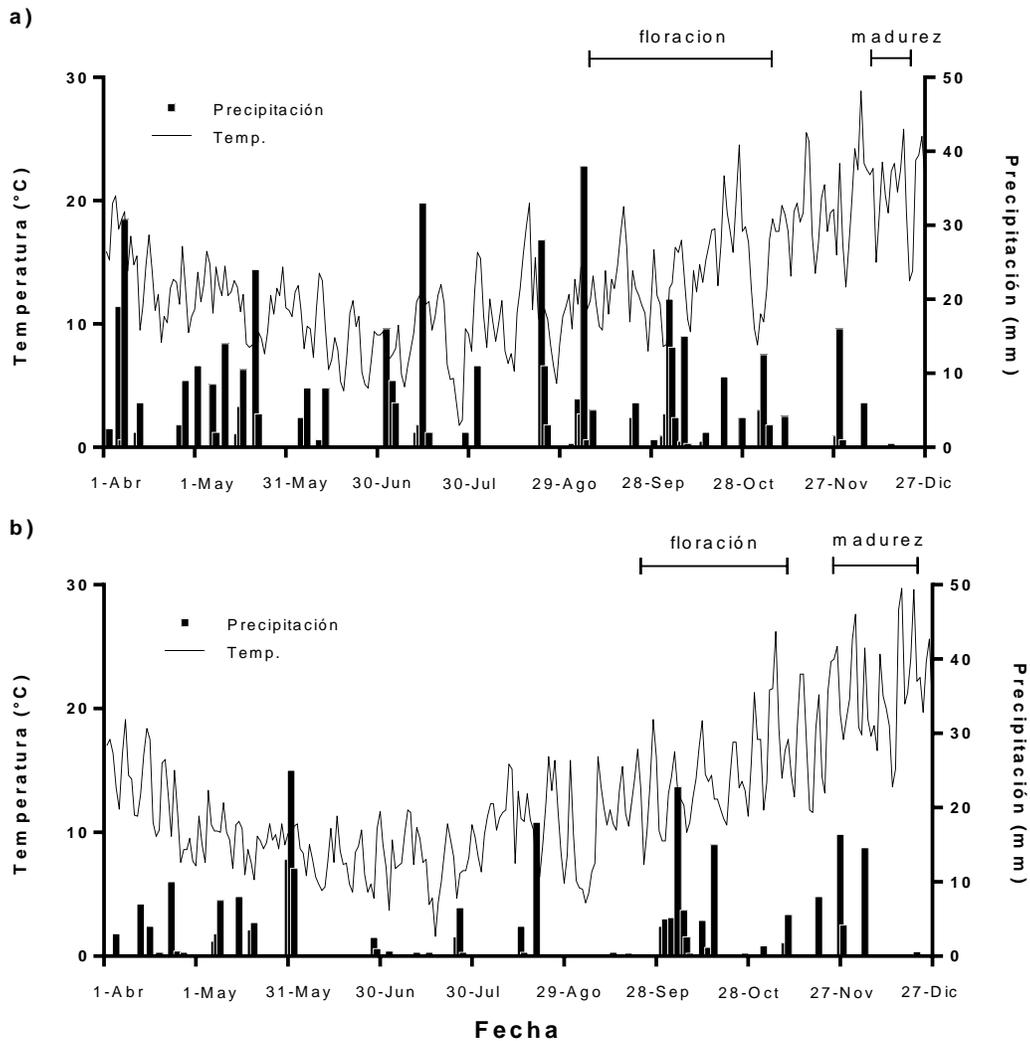
Para evaluar las relaciones entre los caracteres fenotípicos (n = 13; Tabla 3.2) de las poblaciones naturalizadas de AR con los parámetros geográficos y ambientales de los hábitats originales, se prepararon seis matrices y se examinaron sus relaciones mediante la prueba de Mantel (Smouse et al. 1986). La distancia física entre las poblaciones naturalizadas se estimó utilizando la distancia geográfica (GGD) para los valores de latitud (x) / longitud (y):  $GGD = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ . La matriz de distancias geográficas se obtuvo por pares. La distancia fenotípica se calculó como distancias euclidianas entre poblaciones. Todas las variables ambientales se estandarizaron y se calcularon utilizando variables climáticas y del suelo ("ambientales"; Sección 2.2.2). Las seis matrices se

realizaron con la distancia geográfica vs ambiental, la geográfica vs la fenotípica, y la fenotípica vs la ambiental, para 2014 y 2016 respectivamente. La importancia del coeficiente de Mantel normalizado se calculó utilizando una prueba de permutación Monte Carlo de dos colas con 1000 permutaciones utilizando el software InfoStat.

### **3.3 Resultados**

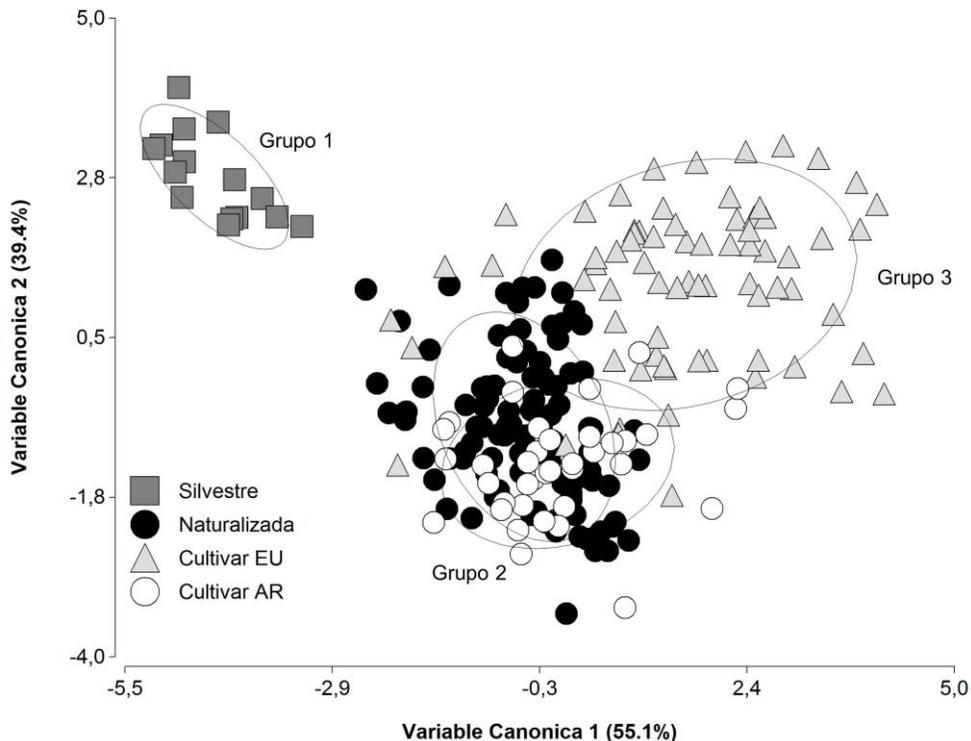
#### **3.3.1 *Condiciones ambientales, desarrollo y variabilidad fenotípica***

Las precipitaciones registradas en la EEA Hilario Ascasubi durante la temporada de cultivo de la VV (de abril a diciembre) fueron un 50% más altas en 2014 (499 mm) y un 21% más bajas (261 mm) en 2016, respecto a la media histórica (331 mm). Los valores medios diarios de temperatura del aire fueron ligeramente más altos en 2014 (13,5 °C) en comparación con la temporada de crecimiento en 2016 (12,8 °C) (Figura 3.1). Todas las accesiones de VV de AR tuvieron un buen desarrollo. Sin embargo, nueve de los veinticuatro cultivares probados de origen EU (n°. 1, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16 y 19; Tabla 3.1) y dos de las cinco poblaciones silvestres (1 y 2) no lograron completa la reproducción, con formación de semilla durante el ciclo 2014.



**Figura 3.1.** Condiciones climáticas durante 2014 (a) y 2016 (b) en la EEA H. Ascasubi del INTA.

Se observó que, mediante el análisis canónico discriminante de los caracteres fenotípicos, las accesiones formaron tres grupos bien definidos, que se establecieron de acuerdo con origen y estatus de mejora. Las poblaciones silvestres fueron las que predominaron en un grupo (Grupo 1, Figura 3.2), las accesiones AR se agruparon en otro (Grupo 2), mientras que los cultivares introducidos de EU conformaron otro diferente (Grupo 3).



**Figura 3.2.** Análisis canónico discriminante de accesiones de *Vicia villosa* clasificadas *a priori* en cuatro estatus de mejora (silvestre, naturalizada, cultivares de origen Europeo EU y Argentino AR), en base a 13 caracteres fenotípicos observados en el jardín común y en laboratorio durante 2014 y 2016

La biomasa invernal acumulada por las accesiones AR fue más elevada que la de los cultivares de EU y los genotipos silvestres (Tabla 3.2). Sin embargo, la biomasa acumulada en la primavera para los cultivares de EU y AR fue similar entre ellas, pero superior al de las poblaciones silvestres. Sobre el conjunto total de datos, la biomasa invernal se correlacionó inversamente con el número de folíolos por hoja ( $r = -0,20^{**}$ ), y la biomasa de primavera se correlacionó positivamente con la longitud de la hoja ( $r = 0,74^{**}$ ). Se observó una buena correlación entre la biomasa de invierno y primavera ( $r = 0,40^{**}$ ). El rango de variación de la duración del ciclo hasta floración fue menos de una semana para los distintos estatus de mejora, aunque se observaron diferencias significativas entre y dentro de cada estatus (Tabla 3.2).

Se observó que la viabilidad de las semillas fue superior al 80%, en todos los casos. El PY inicial fue más alto para las poblaciones silvestres, mostrando valores intermedios para los genotipos naturalizados y cultivados de AR. Los valores más bajos de PY se observaron en los cultivares de EU (Tabla 3.2). Al fin del período de evaluación de 38° días, la PY mostró la siguiente secuencia: poblaciones silvestres > naturalizadas = cultivares AR > cultivares EU. Las tasas de la salida de la dormición física (PY), en condiciones de humedad a 20°C (38 días), fueron: cultivares AR = naturalizados = cultivares EU > genotipos silvestres. La relación entre la PY inicial/PY final y la pendiente de PY, que se analizó a través del área bajo la curva (AUC), mostró el siguiente rango de gradiente de PY: cultivares EU < cultivares AR = naturalizados < genotipos silvestres. No se encontraron interacciones significativas entre estatus de mejora y ciclo de evaluación en los valores de inicial PY y AUC. Los biotipos silvestres tuvieron las semillas más pequeñas (Tabla 3.2).

Las poblaciones naturalizadas 9, 12, 19, 21, 26 y los cultivares de AR 2, 5, 10, 12 manifestaron alta acumulación de biomasa invernal, con alta PY de la semilla (Figura 3.3). Por otro lado, los cultivares AR 3, 6, 8, la accesión 2 de las poblaciones naturalizadas y la accesión 6 de los cultivares EU, mostraron elevada acumulación de biomasa invernal junto a bajo nivel de dormición PY.

Durante la evaluación de las accesiones en jardín común se detectaron dos cultivares de VV correspondientes a la subespecie *dasycarpa* (Capello y Tolse FCA). Esta subespecie (sinónimo de *Vicia villosa* ssp. *varia* y denominada en AR como *V. dasycarpa*) se distinguió por la menor longitud de la hoja respecto a la subespecie *villosa* ( $29,8 \pm 6,0$  vs  $47,8 \pm 9,3$  mm,  $P < 0,01$ ), menor número de folíolos hoja<sup>-1</sup> ( $12,3 \pm 1,9$  vs  $15,2 \pm 1,1$ ,  $P < 0,01$ ), flores racimo<sup>-1</sup> ( $20,1 \pm 7,7$  vs  $26,9 \pm 3,4$ ,  $P < 0,01$ ) y buena acumulación de biomasa invernal pero baja en primavera en relación con ssp. *villosa* ( $\approx 60\%$ ,  $P < 0,01$ ). Además, la floración y la madurez de ese grupo tuvieron lugar dos semanas antes ( $P < 0,01$ ) que en la ssp. *villosa*.

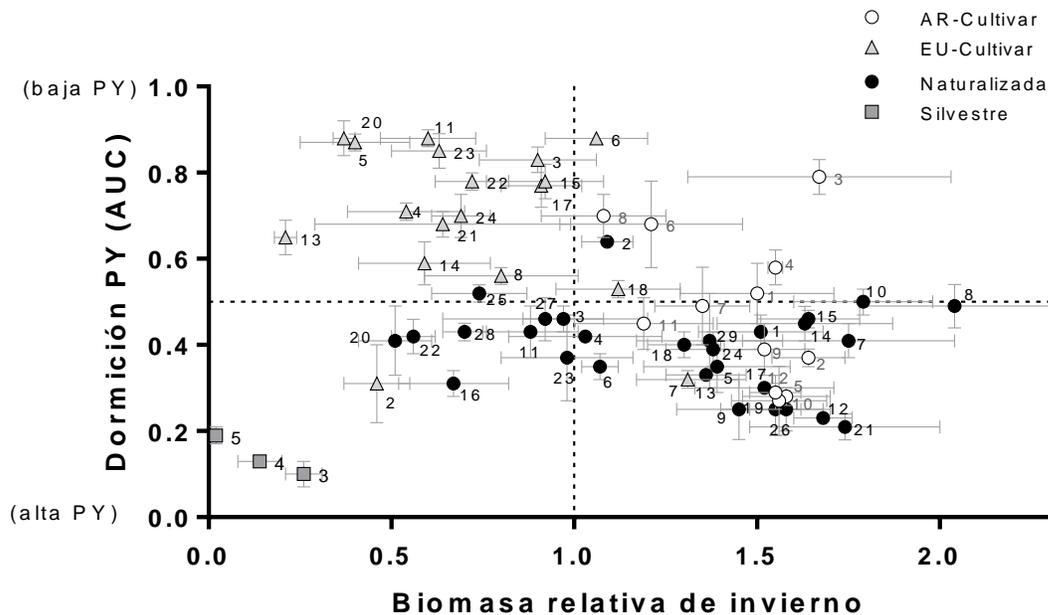
**Tabla 3.2.** Variabilidad fenotípica de *Vicia villosa* (medias y rango) para cada estatus de mejora y sitio de origen evaluados en un jardín común en Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina (2014 y 2016).

Estatus	Origen	N	Biomasa relativa†		Largo hoja (mm)	Foliolos/ hoja (n)	Flores/ racimo	Días a		Dormición Física (PY)			Semilla		
			Invierno	Primavera				Floración	Madurez	Inicial (%)	Final	Pendiente	AUC	viabilidad (%)	Peso (mg)
Cultivar	EU	24													
Media			0,69 <sup>B</sup>	0,93 <sup>B</sup>	56 <sup>B</sup>	15,3 <sup>B</sup>	26 <sup>C</sup>	195 <sup>A</sup>	244 <sup>A</sup>	50 <sup>A</sup>	20 <sup>A</sup>	1,00 <sup>B</sup>	0,72 <sup>C</sup>	97 <sup>A</sup>	33 <sup>B</sup>
Rango			(0,10-1,84)	(0,35-1,59)	(35-83)	(12-19)	(10-40)	(145-203)	(204-255)	(10-100)	(0-84)	(0,09-1,90)	(0,15-0,99)	(84-100)	(21-42)
Dentro estatus (p<0.05)			**	**	**	*	**	**	**	**	**	NS	**	**	**
Cultivar	AR	12													
Media			1,49 <sup>D</sup>	0,97 <sup>BC</sup>	54 <sup>AB</sup>	14,2 <sup>A</sup>	22 <sup>A</sup>	193 <sup>A</sup>	244 <sup>A</sup>	82 <sup>B</sup>	44 <sup>B</sup>	1,09 <sup>B</sup>	0,44 <sup>B</sup>	98 <sup>AB</sup>	32 <sup>B</sup>
Rango			(0,72-2,39)	(0,37-1,63)	(22-81)	(10-19)	(13-28)	(169-202)	(221-255)	(56-96)	(4-78)	(0,27-2,01)	(0,11-0,88)	(88-100)	(27-41)
Dentro estatus (p<0.05)			NS	**	**	*	NS	**	**	**	**	**	**	*	**
Naturalizada	AR	30													
Media			1,31 <sup>C</sup>	1,08 <sup>C</sup>	64 <sup>C</sup>	15,5 <sup>B</sup>	25 <sup>B</sup>	196 <sup>B</sup>	246 <sup>B</sup>	84 <sup>B</sup>	49 <sup>B</sup>	1,01 <sup>B</sup>	0,40 <sup>B</sup>	99 <sup>B</sup>	31 <sup>B</sup>
Rango			(0,26-2,35)	(0,48-1,89)	(32-99)	(13-19)	(18-32)	(178-202)	(221-260)	(60-100)	(8-85)	(0,21-1,84)	(0,08-0,66)	(88-100)	(22-40)
Dentro estatus (p<0.05)			**	**	NS	**	*	**	NS	**	**	**	**	*	**
Silvestre	EU	5													
Media			0,20 <sup>A</sup>	0,77 <sup>A</sup>	50 <sup>A</sup>	17,3 <sup>C</sup>	21 <sup>A</sup>	200 <sup>C</sup>	245 <sup>AB</sup>	97 <sup>C</sup>	83 <sup>C</sup>	0,40 <sup>A</sup>	0,13 <sup>A</sup>	96 <sup>A</sup>	15 <sup>A</sup>
Rango			(0,01-0,59)	(0,23-1,07)	(37-77)	(15-20)	(15-33)	(188-213)	(233-255)	(90-100)	(74-100)	(0,00-0,68)	(0,00-0,23)	(76-100)	(10-21)
Dentro estatus (p<0.05)			*	**	*	**	NS	**	NS	NS	NS	*	NS	**	*
Entre estatus (p<0.05)			**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	*	**
Estatus * Año			NS	NS	**	**	**	NS	**	NS	*	**	NS	NS	NS

Para los valores medios, diferentes letras indican diferencias significativas (P < 0.05) entre estatus.

\*\*\* indica significancia a p<0.01 y \*\* a p<0.05.

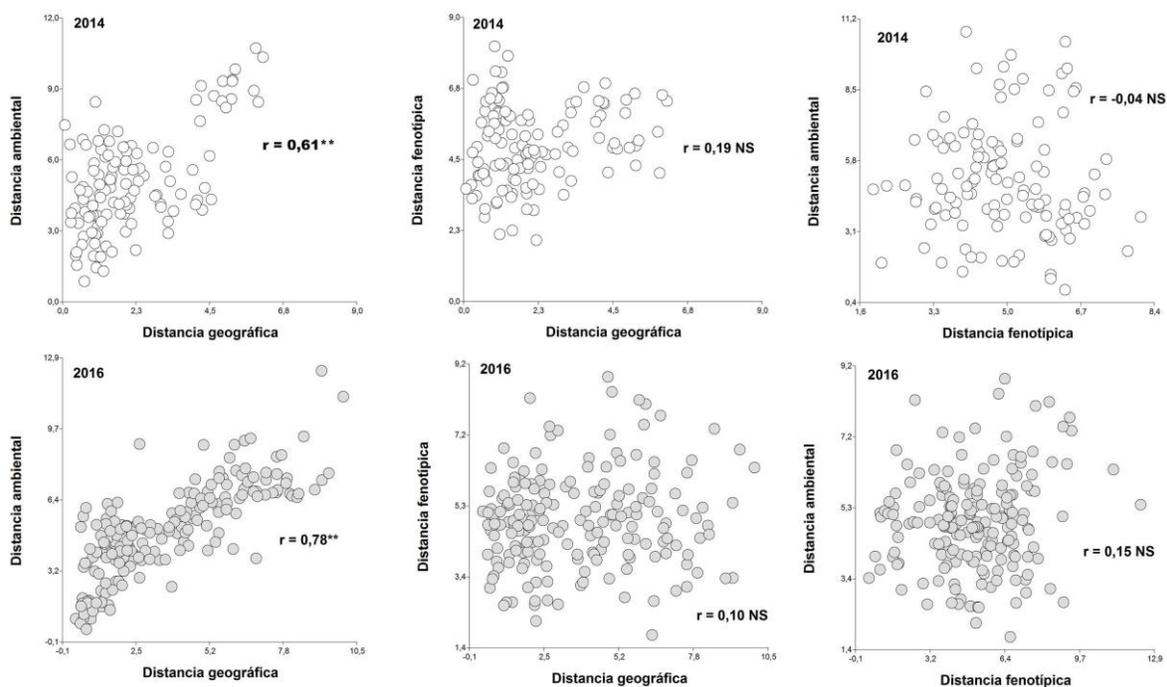
† Biomasa relativa media por año (con 222 y 168 g m<sup>-1</sup> en invierno y 1174 y 887 g m<sup>-1</sup> en primavera para 2014 y 2016, respectivamente).



**Figura 3.3.** Relación entre la biomasa relativa de invierno y la dormición física PY (AUC) para cada genotipo (media y error estándar) evaluado en un jardín común en 2014 y 2016. Las referencias numéricas se encuentran en la Tabla 3.1

### 3.3.2 *Relación entre caracteres fenotípicos de las poblaciones naturalizadas, ubicación geográfica y condiciones ambientales*

Las matrices de distancia ambiental se correlacionaron significativamente con las matrices de distancia geográfica (prueba de Mantel; ambiente:  $r_{2014} = 0,61$ ,  $P < 0,01$ ;  $r_{2016} = 0,78$ ,  $P < 0,01$ ), lo que sugiere que las condiciones ambientales (climáticas + suelo) fueron diferentes y divergentes con el aumento de la distancia geográfica. Sin embargo, no se observó una correlación significativa cuando la matriz geográfica ( $r_{2014} = 0,19$ ,  $P = 0,16$ ;  $r_{2016} = 0,10$ ,  $P = 0,20$ ) y la ambiental ( $r_{2014} = -0,04$ ,  $P = 0,54$ ;  $r_{2016} = 0,15$ ,  $P = 0,10$ ) se contrastaron con la matriz de distancia fenotípica (Figura 3.4).



**Figura 3.4.** Correlaciones entre matrices (Mantel) de distancias geográficas, ambientales y fenotípicas en 2014 y 2016 para las poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa*.

### 3.4 Discusión

El 97% de las accesiones evaluadas correspondió a la ssp. *villosa* y solo un 3% a la ssp. *dasycarpa* (= *varia*). Jannink et al. (1997) reportaron que las accesiones de ssp. *villosa* fueron más resistentes a las bajas temperaturas que ssp. *dasycarpa*, y mencionaron que la floración tardía en ssp. *villosa* se asoció positivamente con la resistencia al frío (Loi et al. 1993; Maul et al. 2011).

La producción de biomasa invernal de las accesiones AR (cultivares > naturalizadas) superó a los cultivares de EU y a los genotipos silvestres, posiblemente debido a su adaptación a las condiciones donde se realizó el estudio. Asimismo, durante el primer año de evaluación el 96,4% de las accesiones AR produjeron semilla en relación al 62,1% de los EU. Los cultivares AR mostraron una ventaja productiva y adaptativa en relación a los EU (Dwivedi et al. 2016).

Se observó una correlación significativa entre la acumulación de biomasa invernal y de primavera de cada accesión. En ambientes de clima templado, la selección por producción de biomasa invernal podría utilizarse como un atributo indirecto para mejorar la producción en primavera. No obstante, esta relación no se produciría en ambientes con inviernos rigurosos (Kissing Kucek et al. 2019). Por otro lado, se encontró un rasgo morfológico indicativo, ya que la biomasa acumulada en primavera se correlacionó con la longitud de la hoja. Resultados similares fueron hallados en *Vicia sativa*, con asociación positiva entre biomasa de forraje y tamaño de hoja (De la Rosa et al. 2002). El tamaño de la hoja está relacionado con las tasas fotosintéticas que a su vez afectan el crecimiento y podrían maximizarse con la disponibilidad de agua (Carlson et al. 2016). Por lo tanto, el tamaño de la hoja sería un rasgo de selección indirecta que contribuiría a mejorar la producción de biomasa y la eficiencia de selección en los programas de mejoramiento.

El potencial de dormición de las semillas está determinado genéticamente, pero es dependiente de las condiciones ambientales que acontecen durante la formación y llenado de la semilla en la planta madre (“efecto materno”) y el posterior proceso de desecación durante la post-cosecha (Penfield y MacGregor 2017; Finch-Savage y Footitt 2017; Hudson et al. 2015). En este estudio, las semillas de las accesiones de VV, se recolectaron en vainas maduras, con un contenido de humedad inferior al 14%, determinado como valor crítico para la adquisición de PY (Hyde 1954). No se observó interacción significativa entre las dos estaciones de evaluación (años) con los niveles de PY medidos a través del AUC. La AUC es el atributo que mejor integra el estado de dormición de las semillas, ya que considera la PY inicial, final y la tasa de liberación de la PY (Tabla 3.2). La PY, que fue variable entre las accesiones, podría actuar como un rasgo adaptativo (Long et al. 2015; Hudson et al. 2015). Los cultivares de EU tuvieron valores de PY más bajos en comparación con los cultivares y poblaciones naturalizadas de origen AR. Debido a que existen antecedentes que mencionan que la PY posee una elevada heredabilidad (Hudson et al. 2015), los cultivares de origen EU podrían utilizarse como germoplasma de valor para la selección de genotipos con baja dormición. Asimismo, las diferencias en los niveles de dormición entre las accesiones podrían explicarse como adaptaciones genéticas al ambiente local (Baskin y Baskin 2014), como se ha observado en *Pisum sativum* (Hradilová et al. 2019) y *Medicago truncatula* (Renzi et al. 2020b). También podría ser el resultado de la selección de genotipos mejorados (Fuller y Allaby 2009; Kluyver et al. 2013).

Entre las poblaciones naturalizadas de AR, no se encontró una correspondencia significativa entre la matriz de distancia geográfica y la matriz de distancia fenotípica ( $P > 0,15$ ) (Figura 3.4). Estos resultados difieren de lo observado en *Medicago polymorpha* L., en el que se halló correspondencia entre el sitio de recolección y los rasgos fenotípicos (Loi et al. 1993; Helliwell et al. 2018). Similar a otras especies de polinización cruzada, se encontró en VV una alta variabilidad entre accesiones para cada estatus. La variación encontrada en las poblaciones naturalizadas de AR posiblemente es debido a que es una especie alógama, autoincompatible y entomófila (Hamrick y Godt 1989). Maul et al. (2011) informaron resultados similares en VV utilizando análisis moleculares.

De los resultados obtenidos en este estudio emergió la potencialidad de la variabilidad del germoplasma evaluado. Por esa razón, los mejoradores podrían utilizar aquellas accesiones que muestren rasgos de valor para el objetivo de mejora. Elevada producción de biomasa de invierno-primavera con baja PY podría ser el objetivo de mejoramiento con fines de uso de VV como CC en ambientes sub-húmedos y húmedos (Wilke y Snapp 2008; Wayman et al. 2016). Contrariamente, elevados niveles de PY serían deseables para favorecer la resiembra natural en ambientes semiáridos o bajo sistemas conservacionistas de bajo empleo de insumos (Loi et al. 2005; Renzi et al. 2017).

Resulta de interés reconocer los condicionantes que favorecen el establecimiento de las poblaciones de VV en ambientes semiáridos, para delinear las estrategias de manejo adecuadas, así como su inclusión en secuencias con cereales de invierno comúnmente utilizados. Es por ello, que en el Capítulo IV y V se abordaron estos aspectos.

## 4 CAPITULO IV

### MODELADO DE LA EMERGENCIA <sup>(14)</sup>

#### 4.1 Introducción

Es conocido que la dormición de la semilla de VV está controlada por una combinación de dormición física (PY), que impide el movimiento del agua a través del tegumento y un componente fisiológico (PD, dormición fisiológica) (Renzi et al. 2014). Así como en otras familias botánicas, la impermeabilidad al agua de las semillas de las *Fabaceas* se adquiere durante el período de desecamiento que ocurre luego de la madurez fisiológica, antes de la dispersión desde la planta madre, o la cosecha (Hyde 1954; Rolston 1978; Kucewicz et al. 2010; Gama-Arachchige et al. 2011).

Dado que las semillas de VV poseen dormición combinada PY+PD, puestas en un sustrato humedecido no absorben agua, incluso aunque se encuentren en condiciones de temperatura favorable para la germinación (Rolston 1978; Smýkal et al. 2014). Durante la post-cosecha, en un período de duración variable, los embriones de VV pierden la PD. Este proceso generalmente se asocia con un aumento del rango térmico dentro del cual puede tener lugar la germinación (Batlla y Banech-Arnold 2015). Para las especies anuales de invierno, en ambientes templados, la PD es un atributo selectivo que evita la germinación temprana en el primer verano luego de concluida la madurez de las semillas (Schütz et al. 2002).

La combinación del tegumento impermeable, que confiere PY y un embrión insensible a estímulos, condicionado por la PD, conforma un mecanismo de "doble seguridad". Este mecanismo evita la germinación temprana, o "suicida" durante el verano, cuando algunas lluvias ocasionales podrían incrementar la humedad del suelo, pero la alta temperatura posterior no sería adecuada para la supervivencia de las plántulas (van Assche y Vandeloos 2010; Gama-Arachchige et al. 2013).

---

<sup>14</sup> Este Capítulo ha sido parcialmente publicado en: Renzi, J.P., Chantre, G., Cantamutto, M.A. 2017. *Vicia villosa* ssp. *villosa* Roth field emergence model in a semiarid agroecosystem. **Grass and Forage Science**. 73: 146-158. doi 10.1111/gfs.12295.

En condiciones naturales, la dehiscencia de las vainas y la dispersión de las semillas de VV se producen a principios de verano (Renzi 2009; Kissing Kucek et al. 2020). La capacidad reproductiva de la especie es muy alta, pero su potencial invasivo es bajo. Una planta puede generar más de 1000 semillas m<sup>-2</sup>. Sin embargo, el potencial de dispersión de la semilla de VV está limitado porque su tamaño (≈ 4,2 mm de longitud) y peso (≈ 35 mg semilla<sup>-1</sup>) impide la movilidad ayudada por el flujo de aire. Tampoco cuenta con mecanismos activos de dispersión, tales como ganchos o *papus* que facilitarían su dispersión por la actividad de animales (Jannink et al. 1997).

En el campo, los pulsos de emergencia de plántulas de VV generalmente ocurren durante el otoño siguiente a la dispersión, cuando la temperatura y la humedad del suelo se vuelven favorables para el establecimiento de las plántulas (Renzi y Cantamutto 2013). La temperatura es el factor principal que regula la tasa de liberación de la dormición, mientras que la disponibilidad hídrica, generalmente por las lluvias, influye en el momento en que se produce la germinación (Vleeshouwers y Kropff 2000).

En las reglas internacionales de análisis de semillas (ISTA 2019), la dormición de semillas se soslaya mediante un pre-tratamiento de enfriamiento en sustrato húmedo (5-10°C; 3-7 días). Este pre-tratamiento sirve para mejorar la germinación de las semillas de especies con dormición PY, como *Lotus*, *Medicago*, *Lupinus*, *Melilotus*, *Trifolium* y *Vicia*. Sin embargo, este procedimiento no es universal para todos los géneros y especies de leguminosas. Dentro de cada género, las especies también pueden tener diferencias en la respuesta causadas por rasgos ecológicos adaptativos (Grime et al. 1981; van Assche et al. 2003; Hu et al. 2013).

Se ha demostrado que la estratificación (frío con humedad) después de la madurez de la semilla ha sido efectiva para la ruptura de dormición PY en el caso de *V. grandiflora* Scop., *V. cracca* L., *V. hirsuta* L. (Gray), *V. bythinica* L. y *V. ervilia* L. Willd. (Elkins et al. 1966; van Assche et al. 2003; Samarah et al. 2003; 2004; Kucewicz et al. 2010; Basaran et al. 2012; Uzun et al. 2013). Por el contrario, se asume que la ruptura PY de VV después de la madurez y dispersión, ocurre por exposición a altas temperaturas (Jones 1928).

La temperatura y la disponibilidad de agua son los principales factores ambientales que regulan la pérdida de la PY (Baskin et al. 2000). La humedad podría ser la señal ambiental

que promueve la permeabilidad al agua de algunas semillas con PY. Sin embargo, el efecto de la disponibilidad de humedad como factor de ruptura de la latencia no ha recibido demasiada atención (Baskin y Baskin 2014). La ocurrencia de las precipitaciones tiene una importancia relevante en las regiones semiáridas y áridas, caracterizadas por su alta variabilidad, tal como ocurre al sur de la región templada Pampeana de AR. En esos casos, la humedad del suelo se convierte en un factor determinante que modula la dinámica de emergencia (Holst et al. 2007; Perissé 2015).

Aunque los beneficios agronómicos de la inclusión de la VV en las rotaciones agrícolas son ampliamente reconocidos, existen condicionantes para su completa adopción por parte de los productores. En algunos casos los productores perciben que las plantas voluntarias de VV pueden convertirse en malezas dañinas para los cultivos de cereales de invierno, como trigo, cebada (Crockett et al. 2012; Pittman et al. 2019). Esta limitante se acrecienta en sistemas conservacionistas o agroecológicos, en los que el empleo de herbicidas se encuentra restringido o limitado (Wayman et al. 2016).

En los casos que la VV se comporta como maleza, para planificar y optimizar el control resulta crucial predecir el período de emergencia de las plántulas, en relación con el estado del cultivo y su tolerancia a los herbicidas disponibles (Bullied et al. 2012a). En ese sentido, se han desarrollado modelos mecanísticos basados en la descripción de los procesos biofísicos para algunas malezas, que pueden orientar sobre el patrón de emergencia de la VV (Vleeshouwers y Kropff 2000; Colbach et al. 2005; Gardarin et al. 2012).

Los enfoques de modelación ecofisiológicos, mecanísticos o “de procesos” tienen como objetivo proporcionar una descripción detallada de los procesos ecofisiológicos básicos que subyacen a la emergencia de malezas, incluyendo dormición, germinación y crecimiento preemergencia (Forcella et al. 2000; Leguizamón y Chantre 2014). Estos modelos asumen que las tasas de emergencia son proporcionales a la cantidad en que la temperatura y el potencial hídrico del suelo exceden un valor umbral dado para tales factores ambientales (Bradford 2002). La capacidad de predecir los patrones de emergencia de la VV con anterioridad al cultivo sucesor resultaría un paso clave de alto valor para tomar decisiones de control adecuadas, dentro de un escenario de manejo integrado de malezas (Curran et al. 2015).

Por otro lado, un enfoque de modelado mecanístico podría ser útil para predecir la emergencia de poblaciones de leguminosas forrajeras bajo resiembra natural (Taylor et al. 1991; Komatsuzaki 2007). En el sur de la región Pampeana semiárida de AR, los sistemas agrícolas integran el cultivo de trigo con la ganadería extensiva, sistema clasificado como mixto agrícola-ganadera.

Las rotaciones que incluyen a la VV con cereales de invierno han demostrado aumentar significativamente la producción de forraje y grano (Assefa y Ledin 2001; Ozpinar 2006). En Australia, la adopción de los sistemas denominados "*ley farming*", donde se rotan los cultivos de trigo con las leguminosas para pastoreo, resolvió los problemas ambientales y económicos creados por los monocultivos de cereales (Carr et al. 2005; Loi et al. 2005; Nichols et al. 2012).

De hecho, en la zona sur de la región semiárida de AR, la siembra de VV para la producción de semilla, seguida de una resiembra natural antes del cultivo de cereales de invierno, constituye una estrategia de gestión agronómica muy económica. En el primer año, el cultivo de VV se destina a la cosecha de semillas, mientras que, en el segundo ciclo, al año posterior, aprovechando la capacidad de resiembra natural, la población de VV se destina a pastoreo directo, elaboración de reservas forrajeras y/o cosecha de semilla. Todo ello se puede realizar previamente aun cultivo de cereales de invierno, en el tercer año de ese período (Renzi et al. 2017).

A pesar de la posible utilidad de los modelos mecanísticos, basados en subprocesos que conducen a la emergencia de plántulas (es decir, dormición de semillas, germinación y crecimiento previo a la emergencia), los desarrollados con ese enfoque son relativamente pocos (Vleeshouwers y Kropff 2000; Colbach et al. 2006, 2011; Gardarin et al. 2010, 2012; Colbach y Mézière, 2013). Si bien los modelos mecanísticos son más útiles que los modelos empíricos, la gran cantidad de datos ecofisiológicos que se requiere contar para validarlos, conlleva una gran limitación (Leguizamón y Chantre 2014).

Debido al aumento de la difusión de la VV en los sistemas de producción de clima templado, la comprensión de los procesos de dormición, germinación, y crecimiento temprano, repercutirá en amplios beneficios para mejorar las estrategias de manejo. El objetivo de este Capítulo fue desarrollar un modelo mecanístico para la emergencia de

plántulas de VV con el fin de: *i*) estimar el potencial de resiembra natural VV para su utilización como pastura o *ii*) desarrollar estrategias de control considerándola una maleza voluntaria, en la fase de cereales de invierno.

El modelo mecanístico fue desarrollado y calibrado bajo las condiciones de amplia adaptación de la especie en el sur de la región templada semiárida de AR. En esa región se realizan rotaciones agrícolas cortas, en las que se incluye, durante uno a dos ciclos a la VV, seguida de un cereal de invierno en el ciclo siguiente (1: 1 a 2: 1).

## **4.2 Materiales y Métodos**

### **4.2.1 Sitio de estudio**

Los estudios se realizaron en el campo experimental de la EEA Ascasubi del INTA (Buenos Aires) (39° 22'S, 62° 39'W), ubicado en el sur de la región templada semiárida de AR. El material vegetal de VV fue una selección local, posteriormente denominada L.E. Ascasubi INTA. Este germoplasma fue representativo de las poblaciones naturalizadas y *landraces* difundidas en la región central de AR (Grupo 2 en Figura 3.3).

El suelo fue de textura franco-arenosos, neutro a alcalino (pH  $\approx$  7,5), con bajo contenido de materia orgánica ( $\approx$  1,2%) y alto nivel de fósforo disponible (P Bray y Kurtz  $\approx$  24 mg kg<sup>-1</sup>). El clima predominante en este sitio era templado semiárido con una precipitación media anual de 489 mm y una temperatura media anual de 14,8 ° C (EEA H. Ascasubi, 1966-2018).

### **4.2.2 Estructura del modelo de emergencia**

El modelo desarrollado, que simula el patrón de emergencia en el campo después de la dispersión natural de semillas, estuvo integrado por cuatro sub-modelos: *(i)* ajuste de la dinámica de salida de la dormición física (PY) (sub-modelo I), *(ii)* requisitos térmicos de salida de la dormición fisiológica y germinación (PD) (sub-modelo II) (tomado de Renzi et

al. 2014), *(iii)* requisitos de hidro-tiempo para la germinación (sub-modelo III) y *(iv)* crecimiento pre-emergente (sub-modelo IV), respectivamente.

La validación del modelo se realizó con datos independientes obtenidos bajo condiciones de campo durante los años 2013 a 2019 bajo el sistema de labranza cero. Las variables de entrada ambiental requeridas por el modelo fueron *a-* la temperatura media diaria del suelo y *b-* el potencial hídrico del suelo a 10 y 0-50 mm de profundidad, respectivamente. Estas variables se obtuvieron usando el modelo de temperatura y humedad del suelo (STM2) desarrollado por USDA-ARS que utiliza los datos meteorológicos de mediciones directas en el suelo (ver más abajo, "experimentos de emergencia de plántulas"). Las variables de salida generadas por el modelo fueron: *(i)* la proporción de semillas no latentes (semillas no PY / PD), *(ii)* semillas germinadas y *(iii)* plántulas emergidas, en un intervalo diario.

#### **4.2.2.1** *Salida de la dormición física (sub-modelo I)*

##### *4.2.2.1.1 Ensayos en condiciones de campo*

Las semillas de VV se recolectaron manualmente cosechando vainas maduras (marrones), antes de la dispersión natural, al inicio del verano (fines de diciembre) de 2009, 2010 y 2012. Las vainas se trillaron, y las semillas limpias fueron almacenadas en bolsas de papel Kraft, bajo condiciones de laboratorio ( $\approx 22-24^{\circ}\text{C}$ ; 30% humedad ambiental). La biomasa por semilla, estimada a partir de 8 muestras de 50 semillas fue de 28 mg. El contenido de humedad gravimétrica (estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ ; 24 h) osciló entre 7 y 8%.

Al comienzo de la temporada de verano, en coincidencia con la dispersión natural de las semillas, durante enero de 2010, 2011 y 2013, se enterraron grupos de 100 semillas dispuestas en bolsas de malla de nylon permeable (10 x 10 cm; tamaño de malla 200  $\mu\text{m}$ ). Las semillas permanecieron en el banco del suelo bajo condiciones naturales de difusión de aire y agua, microorganismos, etc. a una profundidad de 5 cm, en un sitio sin rastrojo de cultivos ni malezas. Las semillas se exhumaron después de 0, 30, 78, 122, 157, 184, 333 y 421 días desde el enterrado (DDP) en 2010; después de 0, 40, 60, 140 y 230 DDP en

2011; y después de 84, 174, 272, 357, 453, 459, 543, 628, 719 y 747 DDP desde 2013. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con 6 (2010 y 2011) o 3 réplicas (2013).

La temperatura del campo se registró a la profundidad del entierro de la semilla cada 2 h, utilizando registradores de datos de temperatura digitales (Thermochron Ibuttons, Modelo DS1921G-F50; Maxim Integrated Products, Inc.). Los datos obtenidos empleando las bolsas permeables se utilizaron para desarrollar un modelo de tiempo térmico.

#### 4.2.2.1.2 *Requerimientos de tiempo térmico para la salida de la dormición*

Se estimó el efecto del tiempo y la temperatura después de la maduración sobre la salida de la PY bajo condiciones naturales del suelo (es decir, bolsas permeables), mediante un índice ( $\theta_{ATPY}$ ). La acumulación de tiempo térmico post-maduración se calculó de acuerdo con Renzi et al. (2014):

$$\theta_{ATPY} = \sum_{i=1,n} \theta_n$$

Donde

$$\theta_n = \begin{cases} T_i - T_{bPY} & \text{si } T_{bPY} < T_i \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

$\theta_{ATPY}$  era el tiempo térmico post-maduración en el día  $n$ ,  $T_i$  es la temperatura media diaria estimada del suelo durante el período de tiempo post-maduración, y  $T_{bPY}$  es la temperatura base estimada en 9,8 °C (Renzi et al. 2014) por debajo de la cual después no se produce la salida de la PY.

La fracción de semillas no PY (es decir, fracción de población con tegumento permeable) se graficó en función del tiempo. Con los resultados se desarrolló un modelo de tiempo térmico para la salida de la PY ajustando una función no lineal para relacionar la proporción de semillas que no son PY en función de la acumulación de tiempo térmico ( $\theta_{ATPY}$ ). Se realizó una rutina de ajuste no lineal utilizando el algoritmo Levenberg -

Marquardt con GraphPad Prism Software versión 6.0 (GraphPad, San Diego, California, USA).

#### 4.2.2.2 *Requisitos térmicos para la salida de la dormición fisiológica (PD) y la germinación (sub-modelo II)*

Los parámetros térmicos de la población fueron obtenidos de Renzi et al. (2014) siguiendo una versión adaptada del enfoque matemático propuesto por Washitani (1987). El sub-modelo II permite la estimación de dos tipos de parámetros térmicos en la población de semillas de VV: 1) parámetros fisiológicos (PD) relacionados con la dormición, mediante los límites de temperatura inferior ( $T_l$ ) y superior ( $T_h$ ) para la germinación, que define la amplitud del rango de germinación permisivo y 2) parámetros relacionados con la tasa de germinación: las temperaturas cardinales, correspondientes a la temperatura base ( $T_b$ ), la temperatura óptima ( $T_o$ ), la temperatura máxima ( $T_m$ ) y el requisito de tiempo térmico ( $\theta_g$ ) para la germinación. Un aumento o disminución del nivel de dormición podría expresarse entonces, como una ampliación o reducción en el rango de temperaturas permisivo para la germinación, definido por la temperatura del límite inferior ( $T_l$ ) y la temperatura del límite superior ( $T_h$ ), ambas distribuidas normalmente entre los individuos de la población. En general, los cambios en el nivel de dormición en especies otoño-primaverales como VV, se expresan como un aumento o disminución de la  $T_h$ , permaneciendo la  $T_l$  constante (Batlla y Benech-Arnold 2015).

Los cambios en el estado de la PD fueron detallados por Renzi et al. (2014) como:

$$T_{h(50)} = 12.47 + 1.3 \times 10^{-3} \times \theta_{ATPD}$$

$$D_\theta = 25.52 \times \exp[(-3.4 \times 10^{-4}) \times \theta_{ATPD}] + 5.93$$

Donde;

$$\theta_{ATPD} = \sum_{i=1,n} \theta_n$$

$$\theta_n = \begin{cases} T_i - T_{IPD} & \text{Si } T_{IPD} < T_i \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

$$T_{IPD} = 0^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la germinación acumulada de la población de semillas en un nivel de dormición determinado (es decir, de acuerdo con su estado PY + PD) será el siguiente (adaptado de Renzi et al. 2014):

$$G_{(\theta_{AT}, T, t)} = [f(\theta_{ATPY})f(\theta_{ATPD})]G(T, t)$$

Donde  $f(\theta_{ATPY})f(\theta_{ATPD})$  son las ecuaciones que describen la dinámica de liberación de dormición PY y PD. Los porcentajes de germinación acumulados a temperaturas constantes después de un tiempo de incubación dado ( $G(T, t)$ ) fueron estimados por Renzi et al. (2014) siguiendo la metodología de Washitani (1987) basado en  $F_l(T)$ ,  $F_h(T)$  y  $F(\theta)$  de la siguiente manera:

$$F_l(T) = \Phi[(T_{l(g)} - T_{l(50)}) / \sigma_{Tl}]$$

$$F_h(T) = 1 - [\Phi(T_{h(g)} - T_{h(50)}) / \sigma_{Th}]$$

$$F(\theta_g) = 1 - [3D^{-3}(\theta_{(g)} - \theta_{50} + D_\theta)^3 + 1]^{-1/2}$$

$$G(T, t) = F_l(T)F_h(T)F_t((T - T_b)t)$$

$$\text{Si } T_b < T < T_o \text{ and } (T - T_b)t > \Theta_{50} - D_\theta$$

$$G(T, t) = F_l(T)F_h(T)F_t([(T_m - T)(T_o - T_b) / (T_m - T_o)]t)$$

$$\text{Si } T_o < T < T_m \text{ and } (T - T_b)t > \Theta_{50} - D_\theta$$

$$G(T, t) = 0$$

$$\text{Si } T < T_b \text{ or } T > T_m \text{ or } (T - T_b)t < \Theta_{50} - D_\theta$$

Donde  $F_l(T)$  es la proporción de semillas germinadas en un  $T_l$  dado de una fracción  $g$  de la población de semillas,  $F_h(T)$  es la proporción de semillas germinadas en un  $T_h$  dado de

una fracción de población  $g$ ;  $\Phi$  es la integral de probabilidad normal;  $T_{l(50)}$  y  $T_{h(50)}$ , son los valores límite medios inferior y superior ( $^{\circ}\text{C}$ ) para la germinación, respectivamente;  $\sigma_{Tl}$  y  $\sigma_{Th}$  son desviaciones estándar correspondientes;  $F(\theta_{(g)})$  es la distribución de  $\theta$ ;  $\theta_{50}$  es el requisito medio de tiempo térmico (grados-días) para la germinación;  $D_{\theta}$ , parámetro de desviación de  $\theta$ ;  $T_b$ ,  $T_o$  y  $T_m$  son temperaturas cardinales de germinación;  $T_{IPD}$ , temperatura basal para liberación de PD.

Para fines de modelado, los siguientes parámetros de población se consideraron constantes (Renzi et al. 2014):

$$T_{l(50)} = 2.2^{\circ}\text{C}; \sigma_{Tl} = 2.2^{\circ}\text{C}; \sigma_{Th} = 2.4^{\circ}\text{C}; \theta_{(50)} = 30^{\circ}\text{Cd}; T_b = 2.0^{\circ}\text{C}; T_o = 15^{\circ}\text{C}; T_m = 30^{\circ}\text{C}$$

#### **4.2.2.3** *Estimación de los parámetros del tiempo hídrico relacionados con el estado de dormición fisiológica y la germinación (sub-modelo III)*

##### **4.2.2.3.1** *Semillas*

Para caracterizar la respuesta de germinación de VV a diferentes potenciales hídricos ( $\Psi$ ), se recolectaron semillas en forma manual (L.E. Ascasubi INTA, ver Sección 4.2.2.1.1.) de vainas maduras antes de la dispersión natural el 18 de diciembre de 2013. Después de la cosecha, las semillas se limpiaron con tamices, se secaron al aire en condiciones de laboratorio y se almacenaron en bolsas de papel con un contenido de humedad del 7-8%.

##### **4.2.2.3.2** *Tratamientos de post-madurez*

Los tratamientos de post-madurez se realizaron en condiciones controladas de laboratorio y de campo. En el primero caso se almacenaron en seco inmediatamente luego de la cosecha a 5, 20 y 30 $^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) en cámaras de crecimiento. La germinación se evaluó a los 0, 20, 69, 161 y 287 días después del almacenamiento (ver Sección 4.2.2.3.3). Además, las semillas se almacenaron también luego de la cosecha a campo colocando lotes de 50 semillas dentro de bolsas de nylon impermeables de 100 x 100 mm. Las

bolsas se enterraron a 20 mm de profundidad siguiendo un diseño experimental completamente al azar ( $n = 3$ ) y se exhumaron en diferentes períodos de tiempo de post-maduración (27, 62, 118 y 251 días desde la postura). La temperatura del suelo en condiciones de campo se registró a 20 mm de profundidad a intervalos de 2 h utilizando sensores de temperatura digitales (Thermochron Ibuttons, Modelo DS1921G-F50; Maxim Integrated Products, Inc.).

#### 4.2.2.3.3 *Evaluación de la germinación a diferentes potenciales hídricos*

Las pruebas de germinación luego de diferentes periodos de post-madurez en condiciones de laboratorio y luego de exhumarse del campo se realizaron dentro de un rango amplio de potencial agua; 0, -0,4, -0,8, -1,2 y -1,6 MPa. Las semillas fueron previamente escarificadas para evitar la falta de germinación impuesta por la PY. La escarificación se realizó para cada semilla raspando el tegumento con uno o dos movimientos de lija (P220 extra-fino) en el lado cóncavo de la semilla opuesta al embrión (van Assche y Vandeloek 2010). Las soluciones se prepararon con polietilenglicol (PEG 6000; Merck KGaA, Darmstadt, Alemania) siguiendo a Michel (1983). El potencial osmótico de cada dilución se confirmó mediante un osmómetro de presión de vapor (VAPRO 5520; Wescor Inc., Logan, UT, EE.UU.). Para mantener constante el potencial hídrico del medio de incubación, las soluciones de PEG se renovaron después de las primeras 24 h de incubación y a intervalos semanales, posteriormente (Ni y Bradford 1992).

Se colocaron tres réplicas de 50 semillas en cajas de Petri sobre dos capas de papel de filtro Whatman N°1 humedecido con 10 ml de cada solución. La incubación se realizó a una temperatura óptima constante de 20°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) en oscuridad, según requisitos específicos de la especie (Renzi et al. 2014). Las cajas de Petri se mantuvieron selladas con parafilm, para evitar la evaporación del agua y se envolvieron en papel de aluminio para proporcionar oscuridad. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Cada replicación se organizó en un estante diferente en la incubadora y se consideró como un bloque.

El recuento de la germinación se realizó a intervalos regulares durante un período de incubación de 15 días, considerando como criterio de germinación la protrusión visible de la radícula desde la cubierta de la semilla ( $\geq 1$  mm). Después de 15 días, se contó el número total de semillas muertas, germinadas y no germinadas. Los valores porcentuales de germinación se calcularon sobre la fracción de semilla viva. La viabilidad de las semillas se evaluó en las semillas no germinadas, cortándolas longitudinalmente e incubando en solución de cloruro de tetrazolio (cloruro de 2,3,5- trifeniltetrazolio) al 0,25% durante 24 h a 35°C en la oscuridad (ISTA 2019). Las semillas con embriones teñidos de rosa o rojo se consideraron viables.

#### 4.2.2.3.4 Modelado de hidro-tiempo

Se implementó el modelo de hidro-tiempo propuesto por Bradford (1990; 1995) y Dahal y Bradford (1990):

$$\theta_H = \sum_{i=1,n} \theta_n$$

$$\theta_n = \begin{cases} \psi - \psi_b & \text{if } \psi > \psi_b \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

donde  $\theta_H$  es la constante de tiempo hídrico (MPa h),  $\psi$  el potencial hídrico (MPa) del medio de germinación, y  $\psi_b$  es el valor base (umbral) del potencial hídrico para la germinación. Suponiendo una distribución normal de  $\psi_b$  en la población de semillas, los valores de la mediana ( $\psi_b(50)$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_{\psi_b}$ ) se pueden derivar mediante el análisis de regresión probit repetido ( $\theta_H$  varía hasta alcanzar el mejor ajuste) (Bradford 1990; 1995):

$$probit(g) = [\psi - (\theta_H / tg) - \psi_b(50)] / \sigma_{\psi_b}$$

Las curvas de germinación a través del tiempo, obtenidas bajo el diferente potencial de agua de incubación para semillas después de madurar en el laboratorio, para cada

combinación de tiempo de almacenamiento y temperatura, se analizaron mediante regresión probit repetida para estimar los parámetros de hidro-tiempo de la población ( $\Psi_b$  (50),  $\theta_H$  y  $\sigma_{\psi_b}$ ).

Los cambios en los parámetros del hidro-tiempo de la población de semillas se cuantificaron en función de la acumulación de tiempo térmico después de la maduración para la salida de PD ( $\theta_{ATPD}$ ). La validación del modelo se realizó utilizando datos independientes del experimento de campo.

#### *4.2.2.4 Estimación de las tasas de crecimiento de plántulas en función de la temperatura y el potencial hídrico (sub-modelo IV)*

El sub-modelo IV simuló el crecimiento previo a la emergencia de las plántulas desde el inicio de la germinación. Se evaluó el efecto de diferentes temperaturas y potenciales de agua sobre el alargamiento del hipocótilo y el de la radícula. Se realizaron dos experimentos diferentes en cámaras de crecimiento a (i) temperaturas de 5, 10, 20, 25 y 35°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), y (ii) a 0 -0.4, -0.8, -1.2 y -1.6 MPa a 20°C (como se describe para el sub-modelo II).

Para ambos experimentos, se implementó un diseño de bloques completamente al azar siguiendo un arreglo factorial ( $n = 8$ ). Para obtener las plántulas necesarias, se incubaron 80 placas de Petri a 20°C durante 3 días (30 semillas por placa). Una vez que se obtuvieron las plántulas de longitud de radícula de 1 mm, se seleccionaron cinco plántulas representativas por plato y se transfirieron a nuevas placas de Petri bajo el medio térmico o hídrico correspondiente para mediciones de crecimiento posteriores. Las cinco plántulas fueron consideradas como pseudo-réplicas.

La longitud del hipocótilo y radícula de cada plántula se midió siguiendo un método de muestreo no destructivo, cada 24 h durante 12 días. Las placas de Petri se mantuvieron en oscuridad continua en la cámara de crecimiento, excepto cuando se tomaron las medidas.

Se realizaron regresiones lineales del crecimiento en longitud del hipocótilo y de radícula en función del tiempo de incubación para cada tratamiento. Las pendientes de cada ecuación lineal representaban la tasa de alargamiento del hipocótilo y de la radícula. Con las pendientes estimadas se ajustaron los datos mediante regresiones no-lineales en función de la temperatura o el potencial hídrico (Shrestha et al. 1999).

#### 4.2.3 Desarrollo del modelo de emergencia

El modelo desarrollado integró los diferentes sub-modelos (I, II, III y IV) como se detalla en la Sección 4.2.2. Los supuestos del modelo fueron que cada fracción del banco de semillas requiere una cierta cantidad de acumulación de tiempo térmico después de la maduración para que se produzca la liberación de PY + PD. A continuación, cada fracción "no latente" del banco de semillas acumula una cierta cantidad de tiempo hidro-termal para lograr la germinación y crecimiento en preemergencia para finalmente emerger. Por lo tanto, la emergencia acumulativa ( $E(T, \psi)$ ) se representó como:

$$E(T, \psi) = [G(\theta_{AT}, T, t) K_{\psi_b}(\theta_{AT})] R_h(T, \psi)$$

$$K_{\psi_b}(\theta_{AT}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \psi > \psi_b(\theta_{AT}) \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

donde  $G(\theta_{AT}, T, t)$  representó el porcentaje acumulado de germinación de la población de semillas en un nivel de latencia dado (es decir, estado de PY + PD) después de la incubación durante un tiempo ( $t$ ) y temperatura ( $T$ );  $K_{\psi_b}(\theta_{AT})$  indica si el potencial hídrico del suelo permite la acumulación de tiempo hidrotermal ( $K_{\psi_b}(\theta_{AT}) = 1$ ) para la germinación de semillas o no ( $K_{\psi_b}(\theta_{AT}) = 0$ ) de acuerdo con el estado de latencia de la población de semillas (adaptado de Zambrano et al. 2013).  $R_h(T, \psi)$  es la tasa de alargamiento de hipocótilo de acuerdo con la temperatura del suelo y el contenido de humedad.

El 1° de enero fue elegido como el inicio del período de acumulación de tiempo térmico posterior a la maduración. En la región Pampeana (AR), la dispersión de semillas ocurre

durante los últimos meses del año (desde fines de noviembre hasta finales de diciembre). La evidencia experimental indica que la reposición del banco de semillas de VV por la lluvia natural de semillas ya ha ocurrido para esa fecha. La longitud estimada requerida de elongación del hipocótilo para la aparición de VV en sistemas sin labranza es de 30 mm (Renzi y Cantamutto 2013).

#### **4.2.4 Evaluación de la emergencia de plántulas en condiciones de campo**

El experimento se realizó, en el período 2013-2019, en un campo no perturbado de 2 ha, donde existía una población naturalizada de VV (ver Sección 4.2.1). En intervalos semanales se realizó el conteo de plántulas emergidas en cinco cuadrantes permanentes (1 m<sup>2</sup> cada uno) distribuidos aleatoriamente en el campo. Una plántula de VV se consideró emergida cuando presentaba hipocótilo de 30 mm, con 2 hojas expandidas. Luego del recuento, las plántulas se mataron con el herbicida glifosato (720 g e.a ha<sup>-1</sup>) (método destructivo), minimizando la alteración del suelo y cobertura de material vegetal seco. Al final de cada año de experimentación, los cuadrantes fueron removidos y nuevamente distribuidos al azar en el área restante del campo experimental de 2 ha. Por lo tanto, el banco de semillas de un año en particular no se vio afectado por la eliminación de plántulas durante el proceso de conteo de los años anteriores.

Se utilizó el modelo de temperatura y humedad de suelo denominado STM2 y desarrollado por USDA-ARS<sup>15</sup> (Spokas y Forcella, 2009) para estimar la temperatura del suelo y el contenido de agua volumétrica del suelo (VWC) entre 0-20 y 0-50 mm de profundidad. STM2 es de propósito general y calcula la humedad y la temperatura del suelo en función de la composición del suelo y los datos meteorológicos. El modelo se calibró utilizando parámetros específicos del sitio del suelo: textura del suelo (franco-arenoso = 82% de arena, 13% de limo, 5% de arcilla), contenido de materia orgánica (1,2%) y densidad aparente (1,45 Mg m<sup>-3</sup>). La cobertura de residuos para la predicción de VWC del suelo representada por "% de sombra" en STM2 se estableció como 100% (Blanco et al. 2014).

---

<sup>15</sup> <http://ars.usda.gov/services/software/software.htm>

La temperatura mínima y máxima diaria del aire y la precipitación (variables de entrada STM2), se obtuvieron de la estación meteorológica de INTA ubicada a menos de 500 m de las unidades experimentales. Los valores de VWC del suelo estimados con el modelo STM2 se validaron con mediciones de VWC *in situ* registradas a una profundidad del suelo de 0-50 mm semanalmente durante 3 años (2013, 2014 y 2015). El VWC se calculó utilizando el método de contenido de agua gravimétrico y densidad de suelo (Black 1965). Se desarrolló una curva específica de retención de agua del suelo de acuerdo con Richards (1949) para obtener valores de potenciales de agua del suelo entre 0 y -1,5 MPa.

#### **4.2.5 Evaluación del modelo de emergencia**

La evaluación del modelo se realizó con datos independientes obtenidos del experimento de campo (Sección 4.2.4.) durante los años 2013 al 2019. Se construyeron las curvas de emergencia acumulada en función del tiempo (desde el 1° de enero) y los resultados simulados se compararon con los datos obtenidos experimentalmente. El ajuste del modelo se evaluó mediante el error del cuadrado medio (RMSE):

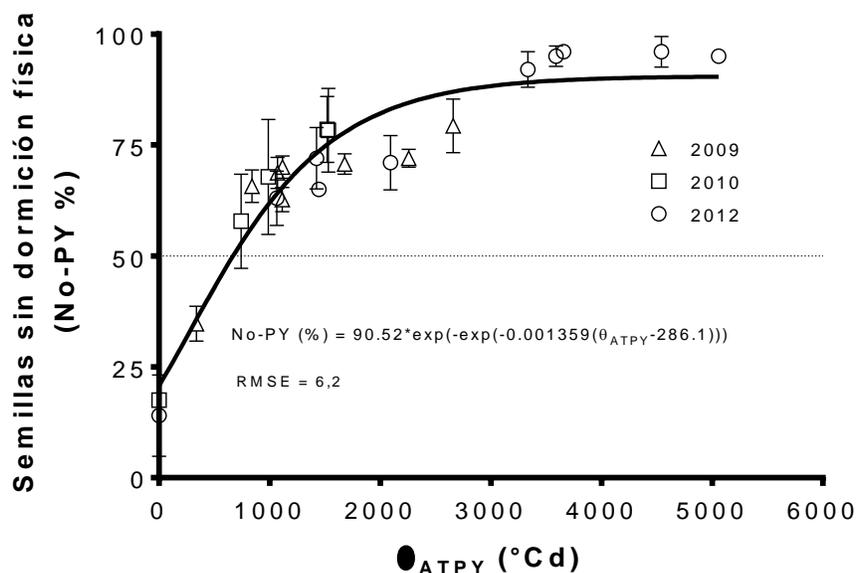
$$RMSE = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

RMSE es un estimador de la diferencia entre los valores de emergencia observados ( $x_i$ ) y los simulados ( $y_i$ ). Un valor bajo de RMSE indica un ajuste cercano entre los datos observados y simulados (Mayer y Butler 1993). La capacidad predictiva de los sub-modelos desarrollados se basó en el RMSE.

### **4.3 Resultados**

#### **4.3.1 Salida de la dormición física (sub-modelo I)**

La dinámica de salida de la dormición física de las semillas de VV, en condiciones de campo, se describió adecuadamente mediante la función de Gompertz (Figura 4.1). El  $\theta_{ATPY}$  requerido para alcanzar el 50% de las semillas sin dormición física (no-PY) fue de 685 °Cd. Se observó que la tasa de salida de la PY fue rápida hasta aproximadamente los 1000 °Cd y luego tendió a reducirse con la acumulación de tiempo térmico.



**Figura 4.1.** Dinámica de la salida de la dormición física (PY) en semillas de *Vicia villosa* enterradas a campo dentro de bolsas permeables en función del tiempo térmico ( $\theta_{ATPY}$ ), observada durante 2009/10, 2010 y 2012/2015. En la figura se muestra la ecuación que describe la salida de la dormición PY

#### 4.3.2 Parámetros de hidro-tiempo en relación con la liberación de PD

Los parámetros de hidro-tiempo como  $\psi_{b(50)}$ ,  $\sigma_{\psi_b}$  y  $\theta_H$  no mostraron variaciones consistentes cuando se realizaron las regresiones en función del tiempo de post-maduración ( $P = 0,36$ ,  $P = 0,91$  y  $P = 0,13$  respectivamente). Se estimó un potencial hídrico base medio ( $\psi_{b(50)} \pm \sigma_{\psi_b}$ ) de  $-1,06 \pm 0,39$  MPa y  $\theta_H$  de 41,4 MPa h. No se observaron diferencias entre las condiciones de laboratorio y de campo (Tabla 4.1). El potencial de agua base promedio fue el parámetro menos variable (CV <10%), que no se vio afectado

por el tiempo de maduración posterior, la temperatura de almacenamiento o la condición del campo ( $P > 0,05$ ).

**Tabla 4.1.** Parámetros estimados de hidro-tiempo poblacional para semillas de *Vicia villosa* incubadas en condiciones de laboratorio a temperaturas constantes de 5, 10 y 30°C durante 0, 20, 69, 161 o 287 días, y enterradas en condiciones de campo durante 0, 27, 62, 118 o 251 días de post-maduración.

Condición de almacenamiento	Días de post-madurez	$\psi_{b(50)}$ (MPa)	$\sigma_{\psi b}$ (MPa)	$\theta_H$ (MPa h)	
Laboratorio (L)	0	-1,05±0,09	0,42±0,09	44,0±6,0	
	5°C	20	-1,06±0,09	0,37±0,09	51,2±14,1
		69	-1,03±0,06	0,40±0,08	42,4±15,2
		161	-1,10±0,08	0,31±0,08	41,6±16,0
		287	-1,00±0,06	0,40±0,09	37,6±11,3
20°C	20	-1,18±0,24	0,46±0,16	55,2±8,3	
	69	-1,07±0,05	0,46±0,07	32,8±6,0	
	161	-1,03±0,12	0,31±0,04	36,8±11,8	
	287	-1,08±0,08	0,32±0,06	37,6±11,1	
30°C	20	-1,15±0,14	0,47±0,10	64,8±24,0	
	69	-1,09±0,09	0,33±0,08	44,0±18,6	
	161	-1,03±0,03	0,34±0,06	30,4±1,4	
	287	-1,00±0,12	0,46±0,07	36,8,0±18,6	
<i>Media (CV)</i>		-1,07 (9,7)	0,39 (23,7)	42,7 (36,8)	
<i>LSD<sub>0,05</sub></i>		NS	NS	NS	
Campo (C)	0	-0,96±0,04	0,35±0,02	51,2±22,3	
	27	-1,02±0,02	0,32±0,05	40,0±11,1	
	62	-1,06±0,11	0,35±0,09	29,6±3,7	
	118	-1,16±0,17	0,44±0,23	40,0±6,0	
	251	-1,10±0,03	0,46±0,05	29,6±2,8	
<i>Media (CV)</i>		-1,06 (10,0)	0,38 (29,1)	38,1 (33,8)	
<i>LSD<sub>0,05</sub></i>		NS	NS	NS	
<i>L vs C</i>					
<i>LSD<sub>0,05</sub></i>		NS	NS	NS	

#### 4.3.3 Tasa de crecimiento de las plántulas de *Vicia villosa* en función de la temperatura y el potencial hídrico

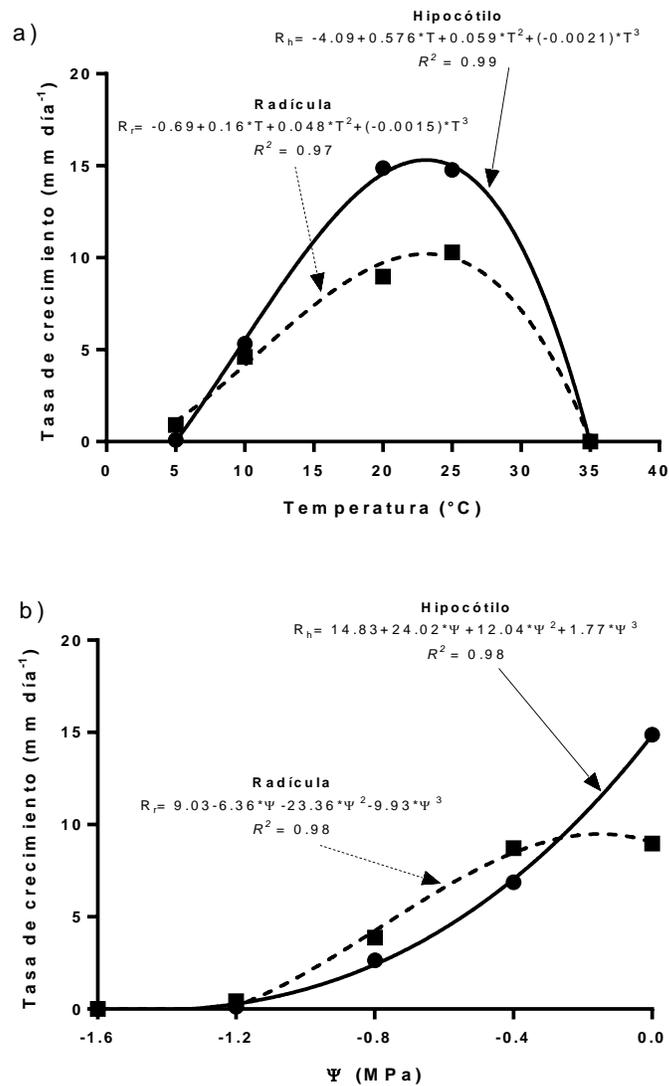
En el rango de temperaturas ensayadas, la tasa de crecimiento medio del hipocótilo fue generalmente más rápida que para la radícula (Figura 4.2.a). La temperatura óptima para maximizar el crecimiento del hipocótilo estuvo entre 20-25°C. No se registró crecimiento

de hipocótilo cuando la temperatura era  $< 5^{\circ}\text{C}$ , o  $> 35^{\circ}\text{C}$ . Por el contrario, la tasa de crecimiento de la radícula fue más rápida con potencial de agua  $\leq -0,4$  MPa (Figura 4.2.b) mientras que a  $-1,2$  MPa el crecimiento fue nulo. La tasa de crecimiento del hipocótilo se describió adecuadamente por una función polinómica de la temperatura de incubación y el potencial hídrico.

La tasa de crecimiento del hipocótilo de acuerdo con la temperatura del suelo y el contenido de humedad se estimó como:

$$R_{h(T, \psi)} = -4.09 + 0.576 * T + 0.059 * T^2 + (- 0.0021) * T^3 \text{ si } R_{hT} < R_{h\psi}$$

$$R_{h(T, \psi)} = 14.83 + 24.02 * \psi + 12.04 * \psi^2 + 1.77 * \psi^3 \text{ si } R_{hT} > R_{h\psi}$$



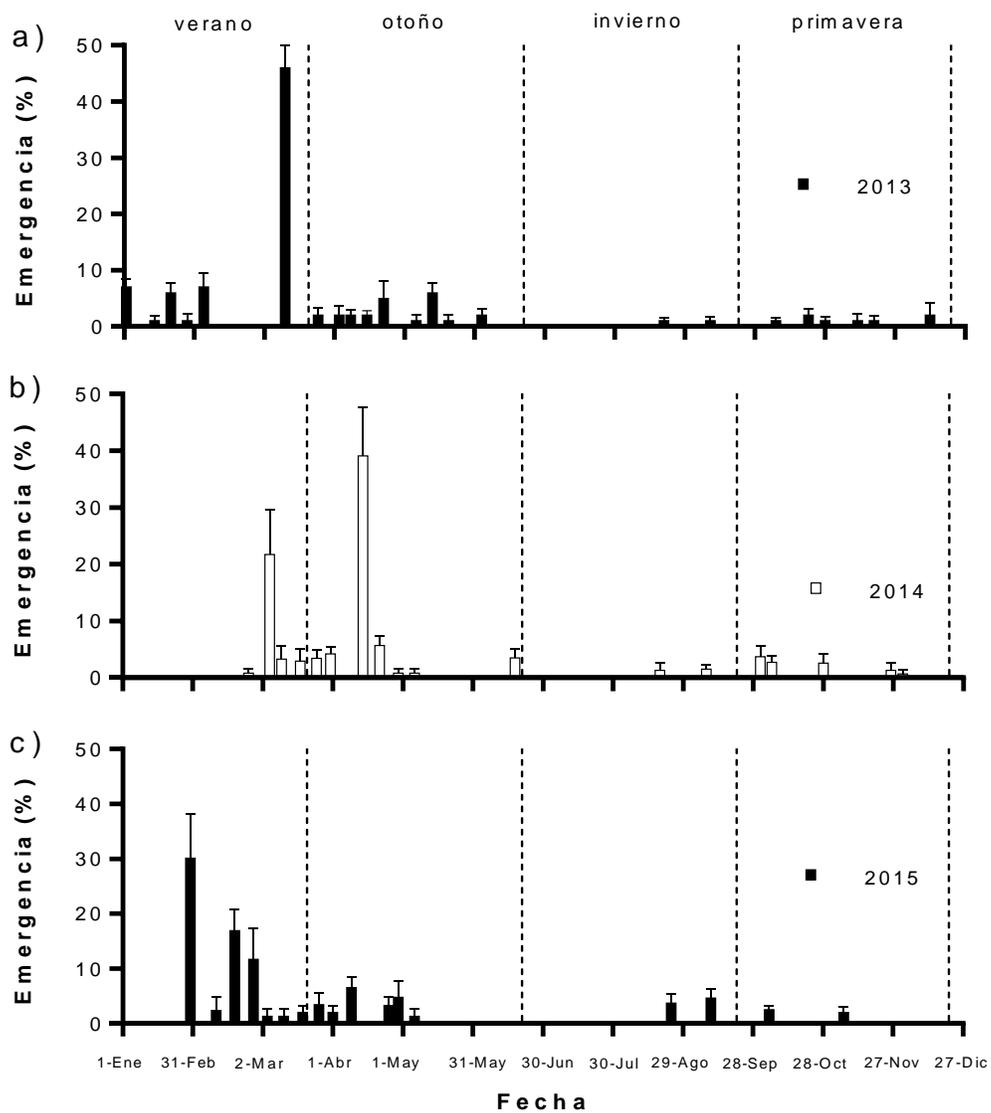
**Figura 4.2.** Tasa de crecimiento de hipocótilo y de radícula de *Vicia villosa* en función de la temperatura de incubación (a 0 MPa) (a), o del potencial de agua de incubación (a 20°C) (b).  $R_h$  y  $R_r$  son las funciones que describen el alargamiento de hipocótilo y de la radícula en función de la temperatura ( $T$ ) y el potencial de agua ( $\Psi$ ).

#### 4.3.4 Patrones de emergencia a campo

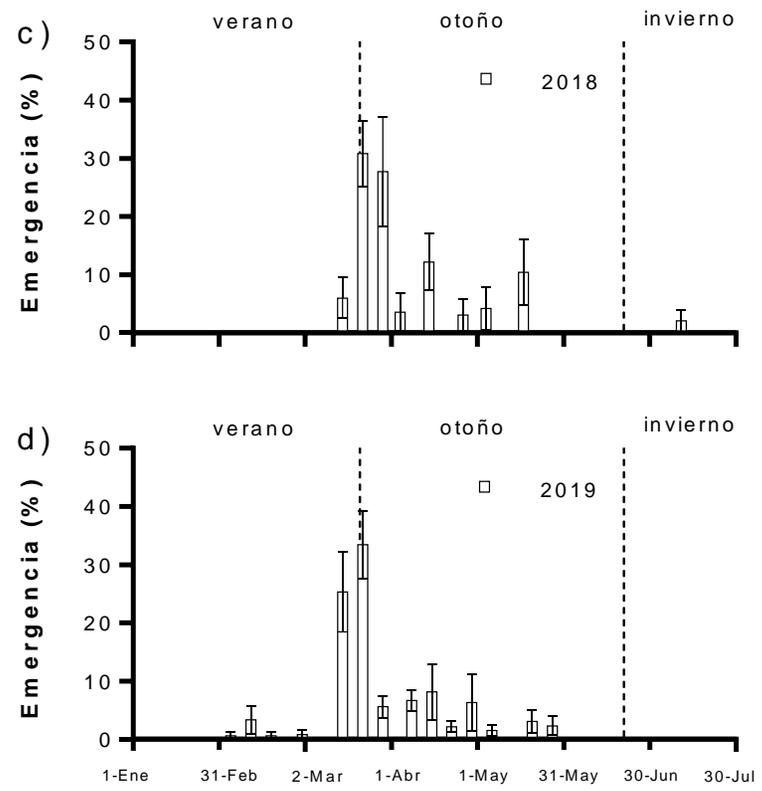
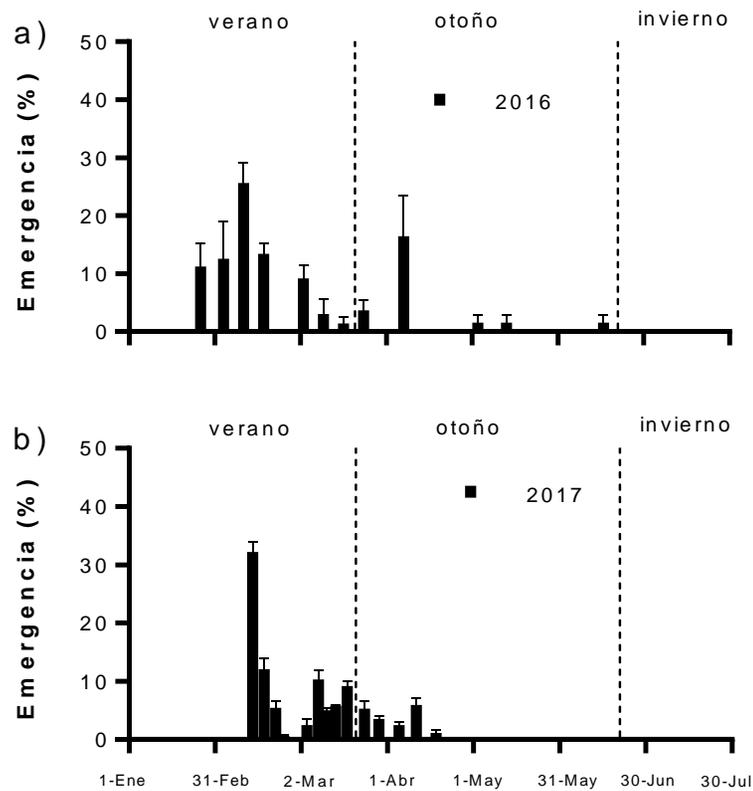
La emergencia de la VV se produjo principalmente desde mediados de verano hasta mediados de otoño, con valores muy bajos (<15%) durante la primavera (Figura 4.3). La distribución de los patrones de emergencia de las plántulas fue variable entre los años

(Figura 4.3 y 4.4). Durante los experimentos de emergencia, en verano y otoño, la temperatura media en el suelo rara vez estuvo por debajo de la temperatura base estimada para la ruptura de PY de las semillas (9,8°C, Figura 4.5 y 4.6). La temperatura media del suelo no superó los 30°C en 2013-2019. Por lo tanto, las temperaturas medias estuvieron permanentemente dentro del rango en el que se esperaba la salida de la dormición PY y la germinación, de acuerdo con los resultados de los ensayos de germinación ( $> 2^{\circ}\text{C}$  y  $< 30^{\circ}\text{C}$ ).

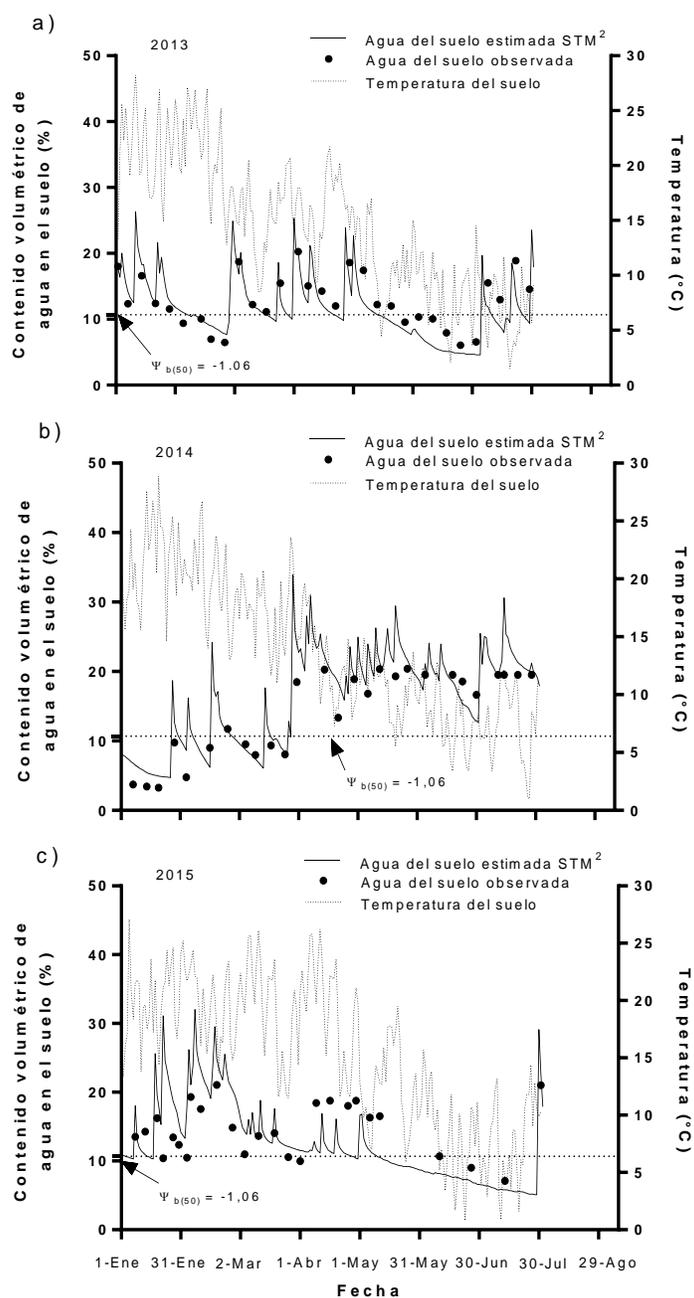
En la Figura 4.5 se muestran los datos estimados (STM2) y de humedad del suelo *in situ* para las temporadas de crecimiento 2013-2015. Tanto los valores máximos de VWC pronosticados como los obtenidos experimentalmente corresponden a eventos de lluvia. Las estimaciones de VWC generalmente estuvieron cerca de las mediciones *in situ* (RMSE = 2,55 (2013), 3,96 (2014) y 6,09 (2015)). En la Figura 4.6 se muestran los datos de humedad y temperatura para los semestres 2016, 2017, 2018 y 2019.



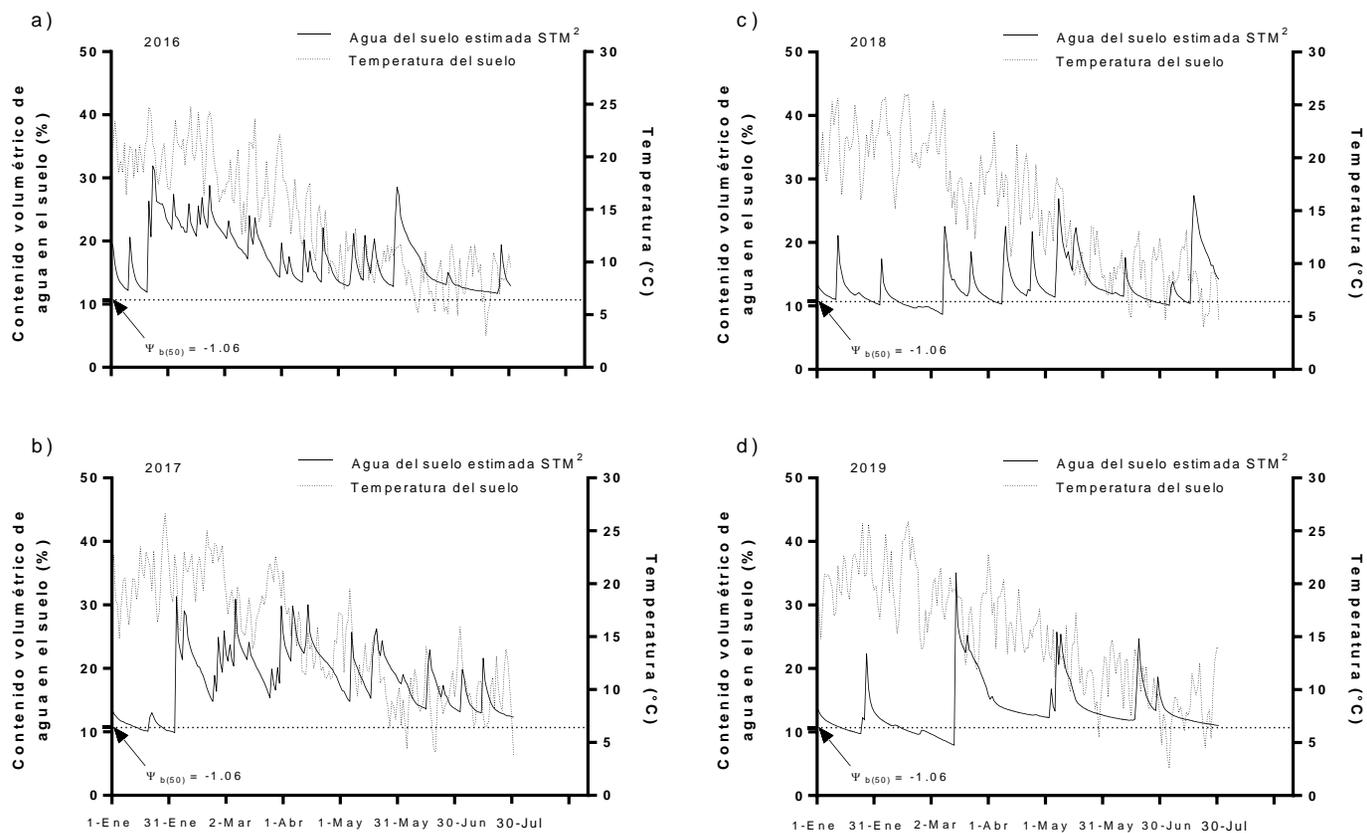
**Figura 4.3.** Patrones de emergencia a campo anuales de *Vicia villosa* durante los experimentos realizados en Hilario Ascasubi durante 2013 (a), 2014 (b) y 2015 (c).



**Figura 4.4.** Patrones de emergencia a campo semestrales de *Vicia villosa* durante los experimentos realizados en Hilario Ascasubi durante 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) y 2019 (d).



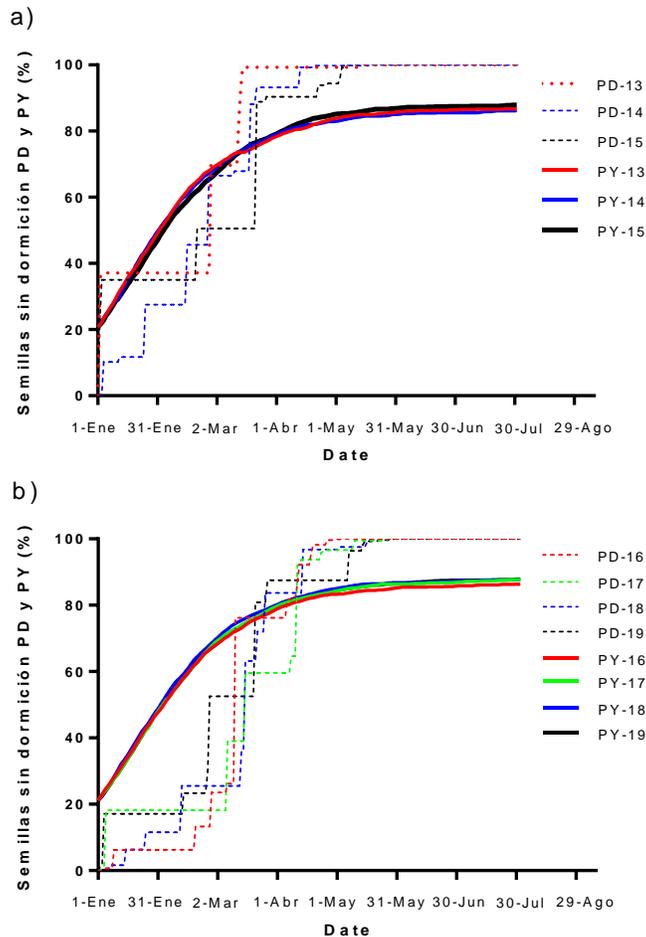
**Figura 4.5.** Condiciones de microclima del suelo para experimentos de emergencia en el campo experimental de Hilario Ascasubi durante 2013 (a), 2014 (b) y 2015 (c). Las líneas representan los valores diarios promedio de la temperatura del suelo (línea punteada) y el contenido volumétrico de agua (VWC) (línea continua). Las flechas muestran el valor medio más bajo del potencial hídrico del suelo ( $\Psi_{b(50)} \approx 10,7\%$  VWC) para la germinación de *Vicia villosa*.



**Figura 4.6.** Condiciones de microclima del suelo en los estudios de emergencia en el campo experimental de Hilario Ascasubi durante 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) y 2019 (d). Las líneas representan los valores diarios promedio de la temperatura del suelo (línea punteada) y el contenido volumétrico de agua (VWC) (línea continua). Las flechas muestran el valor medio más bajo del potencial hídrico del suelo ( $\Psi_b(50) \approx 10,7\%$  VWC) para la germinación de *Vicia villosa*.

#### 4.3.5 Salida de la dormición física (PY) y fisiológica (PD)

A partir del 1° de enero, luego de la dispersión natural, algunas camadas de semillas del banco del suelo se fueron despertando, como respuesta a la acumulación de térmica después de la maduración. En base a la modelización que se mostró en la Figura 4.1 pudo estimarse que la dinámica de salida de la PY fue similar en los siete ciclos anuales observados. Sin embargo, ello no ocurrió con los patrones de salida de la PD (Figura 4.7 a y b).



**Figura 4.7.** Estimación de la dinámica de salida de la dormición física (PY; sub-modelo I) y fisiológica (PD; sub-modelo II) de *Vicia villosa* en 2013, 2014 y 2015 (a) y 2016, 2017, 2018 y 2019 (b).

#### **4.3.6 Emergencia de campo observada vs estimada**

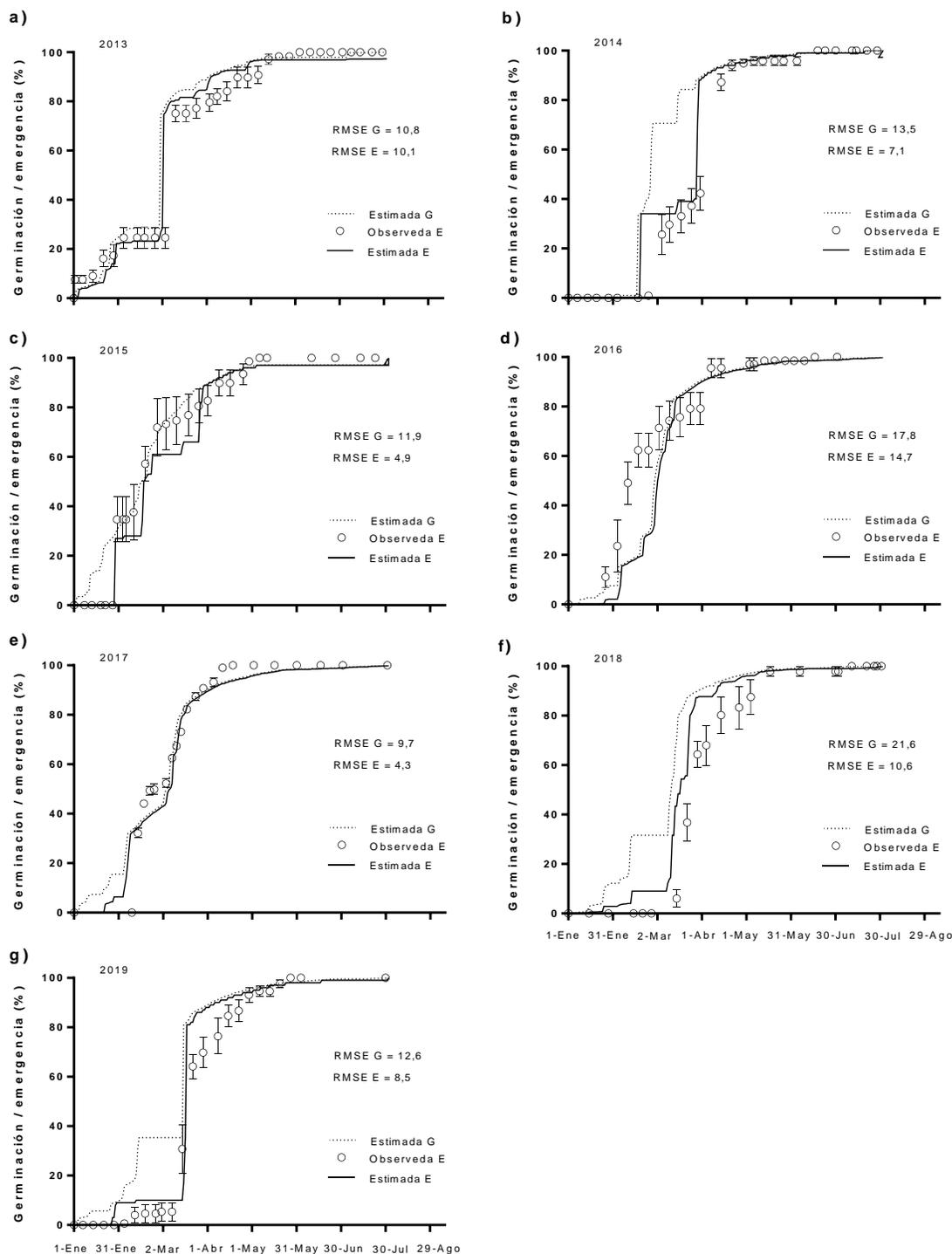
La emergencia acumulada de la VV, observada en condiciones de campo (Sección 4.3.4.) se comparó con los resultados de los diferentes sub-modelos (Tabla 4.2). El efecto aditivo de cada sub-modelo mejoró claramente la capacidad explicativa de los patrones de emergencia de campo registrados en la serie de siete ciclos anuales. El ajuste logró una reducción considerable de los valores de RMSE al considerar el efecto de PD en los parámetros térmicos de la población relacionados con la germinación (Tabla 4.2).

La emergencia acumulada bajo condiciones de campo, estimada por el modelo mecanístico [I + II + III + IV], ajustó con las curvas obtenidas con el grupo independiente de datos experimentales ( $RMSE \leq 14,7$ ) (Figura 4.8).

**Tabla 4.2.** Ajuste obtenido entre los resultados estimados con el sub-modelo (I a IV) y los observados en la emergencia de plántulas de *Vicia villosa*, en base al error del cuadrado medio (RMSE). Observaciones 2013-2019. Sub-modelo I, salida de la dormición física (PY) y sub-modelo II, parámetros térmicos relacionados con el estado de la dormición fisiológica (PD) (Figura 4.7). Sub-modelo III, parámetros hídricos relacionados con la dormición fisiológica y la germinación. Sub-modelo IV, tasa de crecimiento del hipocótilo de acuerdo con la temperatura del suelo y el contenido de humedad (Figura 4.8).

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Media $\pm$ DE
	RMSE*							
Sub-modelo								
<i>[I]</i> (salida de PY)	22,2	45,0	27,8	25,3	19,4	39,9	38,2	31,1 $\pm$ 9,8
<i>[I + II]</i> (salida de PY + PD) + Parámetros térmicos de Germinación en base al estatus de PD	12,1	15,4	12,1	22,9	18,1	23,6	18,2	17,5 $\pm$ 4,7
<i>[I + II + III]</i> (salida de PY + PD) + Parámetros térmicos e hídricos de Germinación en base al estatus de PD	10,8	13,5	11,9	17,8	9,7	21,6	12,6	14,0 $\pm$ 4,2
<i>[I + II + III+ IV]</i> (salida de PY + PD) + Parámetros térmicos e hídricos de Germinación en base al estatus de PD + Tasa de crecimiento de la plántula (hipocótilo)	10,1	7,1	4,9	14,7	4,4	10,6	8,5	8,6 $\pm$ 3,6

\*RMSE es un estimador de la diferencia entre los valores de emergencia observados ( $x_i$ ) y los simulados para cada sub-modelo ( $y_i$ ).



**Figura 4.8.** Germinación (G; sub-modelo III) y emergencia de plántulas (E; sub-modelo IV) de *Vicia villosa* estimada en relación a la emergencia observada durante los años 2013 (a), 2014 (b), 2015 (c), 2016 (d), 2017 (e), 2018 (f) y 2019 (g). Las líneas punteadas y continuas representan la germinación de campo y los valores de emergencia predichos a

partir del modelado de simulación; los símbolos representan datos de emergencia observados, las barras verticales indican E.E. (n = 5) RMSE, error del cuadrado medio.

#### 4.4 Discusión

De acuerdo a las observaciones realizadas, emergió que la interacción entre la temperatura y humedad del suelo, determinó la fracción de semillas del banco del suelo que despertó y podría germinar en un período dado. La dinámica de salida de la PY de las semillas de VV enterradas en el banco del suelo, se ajustó a una función de Gompertz (Figura 4.1). Esta ecuación aparece en modelos autorregulados, donde la tasa de salida de PY disminuye exponencialmente con el tiempo térmico, después de alcanzar el punto de inflexión. La misma función matemática fue efectiva para describir la emergencia en el campo de varias leguminosas forrajeras en ambientes semiáridos de Australia (Probert et al. 2000; van Klinken y Flack 2005; Santana et al. 2010).

En especies con PD, la evidencia empírica, obtenida en estudios de laboratorio y de campo, sugiere que el  $\Psi_{b(50)}$  se vuelve más negativo a medida que las semillas se despiertan progresivamente durante la post-maduración (Bauer et al. 1998; Bair et al. 2006; Gianinetti y Cohn 2007; Chantre et al. 2010; Hu et al. 2013). Sin embargo, los resultados indicaron que en VV los valores de  $\Psi_{b(50)}$  no estarían influenciados por la acumulación de tiempo térmico después de la madurez ( $P > 0,05$ ) durante el proceso de salida de PD (Tabla 4.1). Por lo tanto, se utilizó un valor constante de  $\Psi_{b(50)}$  para los fines de modelado presentados en este estudio. Este valor de  $\Psi_{b(50)}$  fue consistente con lo reportado por Tribouillois et al. (2016) para la misma subespecie y levemente inferior al valor hallado en la ssp. *dasycarpa* por Perissé (2015).

El umbral mínimo de potencial hídrico que cesa la germinación de algunas especies oscila entre  $-0,1$  y  $-1,5$  MPa (Bullied et al. 2012a). A pesar de germinar en medios de potencial hídrico muy bajo, *Secale cereale*, *Brassica rapa*, y *Cicer arietinum*, disminuyen la velocidad y uniformidad de la germinación y el crecimiento previo a la emergencia (Oryokot et al. 1997; Bullied et al. 2012b; Tribouillois et al. 2016). Aunque VV pueden germinar con potencial de agua relativamente bajo ( $\Psi_{b(50)} = -1,06$  MPa), la tasa de elongación del hipocótilo se redujo a  $\approx 0,8$  mm día<sup>-1</sup>. En esas condiciones la plántula

requeriría 37 días para alcanzar la superficie del suelo (30 mm de longitud de hipocótilo). La tasa de crecimiento del hipocótilo disminuyó de  $14,9 \pm 0,4$  a  $6,9 \pm 0,2$  mm día<sup>-1</sup> al cambiar la disponibilidad hídrica de 0 a -0,4 MPa (Figura 4.2), mientras que la tasa de crecimiento de la raíz se mantuvo constante ( $8,8 \pm 0,3$  mm día<sup>-1</sup>).

Se destacó que, cuando el potencial de agua estuvo por debajo de -0,4 MPa, la tasa de crecimiento de la raíz fue superior a la del hipocótilo. Esto podría estar determinado por un proceso alométrico de distribución de asimilados a órganos subterráneos debido a la restricción hídrica. Esta mayor tasa de crecimiento de la raíz posibilitaría el acceso a la humedad que generalmente se acumula en las capas más profundas (Radhouane 2007). Dilucidar estos aspectos ecofisiológicos podrá ser motivo de investigaciones futuras que profundicen el conocimiento del funcionamiento de la VV en los agroecosistemas.

Una buena estimación del potencial hídrico del suelo bajo condiciones de campo, resulta particularmente crítica si se persigue predecir la germinación de las semillas y el crecimiento que conduce a la emergencia, empleando parámetros eco-fisiológicos específicos (Bullied et al. 2012a). El modelo STM2 desarrollado por USDA-ARS (Spokas y Forcella 2009) exhibió un buen desempeño en la estimación de los valores del contenido de agua del suelo bajo condiciones de campo (Figura 4.5). Para la región templada semiárida de AR, los resultados de STM2 fueron validados por Damiano et al. (2010), quienes hallaron un ajuste satisfactorio entre los datos pronosticados y observados en el campo.

La salida de la PD de las semillas de VV fue variable entre los ciclos anuales (Figura 4.6). Las diferencias en los patrones de salida de la dormición sugieren que el componente PD fue el proceso dominante durante los primeros tres meses después de la dispersión. Este mecanismo bloquearía la germinación en el período de tiempo posterior a la dispersión, cuando las condiciones de verano serían adversas para la implantación. Por el contrario, el proceso de ruptura de PY fue bastante estable entre años.

En otras leguminosas, la salida de la PY se asocia con pérdida o cambios en la composición de los lípidos en la cubierta de la semilla. Gama-Arachchige et al. (2013) consideran que el debilitamiento de los enlaces hidrofóbicos presentes en la cubierta

seminal, posibilita la degradación térmica de los lípidos debido a la exposición a altas temperaturas de verano que ocurren después de la dispersión de semillas.

En especies invernales, como *Buglossoides arvensis* IM Johnston, se observa un incremento en el rango térmico permisivo para la germinación y una reducción en los requisitos de tiempo térmico a medida que avanza la post-madurez (Chantre et al. 2009; Longas et al. 2016; Batlla y Benech-Arnold 2015). En otras especies anuales de invierno también se obtuvieron resultados similares, donde la post-madurez sería un requisito para la pérdida de PD (Foley 1994; Bauer et al. 1998; Bair et al. 2006).

En el caso de la VV, la pérdida gradual de la PD se vincularía al incremento en la amplitud del rango térmico permisivo para la germinación (Renzi et al. 2014), que estuvo asociado con la ampliación del límite superior. Ello llevaría a una germinación más sincrónica, que se observa a medida que avanza el tiempo térmico después de la maduración (Renzi et al. 2014).

Se estima que la VV posee un doble mecanismo que ajusta los flujos de emergencia con la disponibilidad de condiciones favorables para la reproducción. En esa concepción, la PD regula el período de emergencia de las plántulas, una vez superada la PY. Según lo demostrado por Paulsen et al. (2015) para *Vicia sativa*, el mecanismo de PD sería más efectivo que la PY para ajustar la germinación ante cambios en las condiciones ambientales del entorno de las semillas. A diferencia de otras especies señaladas por Baskin y Baskin (2014), es probable que la PY de VV no actúe como un detector ambiental específico para ajustar la germinación. No obstante, se considera que la dureza del tegumento evita el ataque de la micro-flora y favorece la persistencia de la semilla en el suelo (Long et al. 2015). Desde una perspectiva de resiembra natural, la salida de la PD sincronizaría el momento de la germinación de VV, mientras que el PY determinaría la persistencia del banco de semillas.

De acuerdo con Renzi et al. (2014), la VV forma un banco de semillas del suelo clasificada como “persistente tipo III” (*sensu* Baskin y Baskin 2014). En este grupo, la mayoría de las semillas germinan poco después de la dispersión, pero una pequeña reserva viable permanece sin germinar en el banco del suelo. Esta clasificación es congruente con lo que se observa en la Figura 4.1.

El modelo mecanístico desarrollado en este trabajo, correspondiente a un enfoque modificado de tiempo hidro-térmico (Bullied et al. 2012b), fue capaz de predecir adecuadamente la germinación de campo y la emergencia de plántulas. Una vez que se cumplen los requisitos para la salida de PY + PD después de la maduración, cada fracción específica del banco de semillas no dormantes se somete a procesos de germinación y crecimiento previo a la emergencia al acumular tiempo hidro-termal (es decir, el tiempo térmico se acumula solo cuando el potencial hídrico del suelo ( $\Psi_s$ ) es mayor al potencial de agua base ( $\Psi_{b(50)}$ )).

Una característica destacada del modelo es que las variables de entrada (es decir, la temperatura media diaria del suelo y el potencial hídrico del suelo) se pueden recopilar de forma sencilla en los registros generados por las estaciones meteorológicas (Blanco et al. 2014). Además, el enfoque de modelado no requiere la estimación del banco de semillas inicial, que es una variable de entrada altamente compleja y cuya estimación consume mucho tiempo (Colbach et al. 2006).

La validez de los modelos puede ser discutida. Se conoce que los modelos mecanísticos pueden ser altamente sensibles a la carga genética de cada población (Forcella et al. 2000; Sousa-Ortega et al. 2020). En ese sentido, se remarca que el genotipo de VV utilizado en esta Sección de la Tesis resultó similar a la mayoría de las poblaciones naturalizadas de AR (Sección 3.3.1).

Los resultados obtenidos sugieren que la modelización ofrece un amplio potencial para predecir el comportamiento de la VV en los sistemas de producción agropecuarios. Ello posee gran utilidad para el soporte de la toma de decisiones de gestión, que deben realizar productores agropecuarios y profesionales agrícolas. Además, podría ayudar a simular diferentes escenarios frente al cambio climático (Ooi et al. 2009). Las curvas de emergencia real a campo fueron predichas adecuadamente por el modelo ( $RMSE \leq 14,7$ ), a pesar de las variaciones climáticas entre los diferentes años.

El modelo desarrollado (Figura 4.8) simuló correctamente el tiempo y la amplitud de los patrones de emergencia de campo. El 50% de la emergencia a campo se alcanzó después de 47 (15 de febrero de 2015), 60 (1 de marzo de 2016), 61 (3 de marzo de

2013), 65 (7 de marzo de 2017), 75 (17 de marzo de 2018), 76 (18 de marzo de 2019) y 87 (28 de marzo de 2014) días después del 1° de enero, respectivamente (Figura 4.8). La emergencia temprana de la VV, que se dio en 2015 y 2016, se asoció a altas lluvias en el verano ( $\approx 170$  mm) y leve tendencia a que las temperaturas medias diarias fueran bajas, en comparación con el resto de las temporadas (Figura 4.5 y 4.6).

El modelo propuesto ayudará a mejorar la toma de decisiones con respecto a las prácticas de gestión sostenible, ya sea para promover o suprimir la aparición de plántulas de VV. Debido a la cantidad limitada de herbicidas selectivos, el control post-emergente de malezas adolece de buenas alternativas (Renzi y Cantamutto 2013). En una rotación de cultivos y pasturas anuales, predecir el pico de germinación y emergencia de la VV permite establecer la mejor oportunidad para aplicar herbicidas no selectivos (por ejemplo, glifosato, paraquat, 2,4-D) y/o tratamientos mecánicos de preemergencia, para controlar malezas sin afectar el establecimiento de la VV.

Bajo las condiciones ambientales donde se realizó el estudio, el modelo estimó que el mejor control de las plantas voluntarias de VV puede obtenerse cuando la siembra del cereal de invierno se realiza en mayo-junio. En ese caso aparecerá la ventana de tiempo en la que podría realizarse el control de la VV y evitar que interfiera con el cereal. También, en los cultivos de cereales, las plantas voluntarias de VV pueden controlarse fácilmente con varios herbicidas selectivos posteriores a la emergencia (por ejemplo, dicamba, clopyralid, prosulfuron) (Curran et al. 2015).

La información generada en esta Tesis puede ser utilizada para diseñar tácticas de manejo conservacionista para sistemas agropecuarios de zonas semiáridas templadas. El modelo desarrollado fue efectivo para simular la aparición de la VV en el campo mantenido bajo el sistema de labranza cero (siembra directa). Para aumentar la confianza de modelo, resultará de utilidad probar su ajuste en otros ambientes. Desde la perspectiva del cambio climático, se esperan incrementos significativos en la temperatura y la variabilidad de las precipitaciones para las regiones semiáridas (Ooi et al. 2009). En este contexto, el modelo permitiría predecir la variación en los niveles de latencia y los patrones de emergencia del campo de la VV en diferentes escenarios climáticos.

Se ha observado que la VV está adaptada a hábitats con disturbio de origen antropogénico (Sección 2.4). En esos ambientes se observan tanto poblaciones naturalizadas como plantas voluntarias de la especie (Renzi et al. 2017). La emergencia de las plántulas estará condicionada por la profundidad en la que se encuentren enterradas las semillas. Si el objetivo productivo es prolongar la persistencia de las poblaciones, resultará de valor realizar un leve enterrado de las semillas, para evitar la predación por palomas (Renzi et al. 2017). Las palomas y otras aves granívoras, pueden diezmar las reservas de semilla del suelo, cuando están sobre la superficie del mismo. En condiciones experimentales se ha medido que una paloma puede consumir hasta 768 semillas de VV por día (Renzi et al. 2016).

## 5 CAPITULO V

### MODELADO DEMOGRÁFICO BAJO DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA TEMPLADA <sup>(16)</sup>

#### 5.1 Introducción

Se considera que la VV constituye una leguminosa clave de los sistemas agropecuarios de zonas semiáridas. Es un cultivo que posee una marcada aptitud forrajera y también mejora la fertilidad nitrogenada del suelo en las rotaciones con cereales de los sistemas ganadero-agrícolas de la región semiárida pampeana de AR (Renzi 2009). Los atributos de alto valor agronómico de la VV incluyen: (i) capacidad de fijación simbiótica de N en el suelo, a un costo económico muy bajo (Ates et al. 2013; Renzi y Cantamutto 2013); (ii) capacidad de aumentar la calidad del forraje cuando se la inter-siembra en pasturas de gramíneas perennes (Bell et al. 2014; Ashworth et al. 2015), (iii) elevada capacidad de supresión de malezas cuando se usa como CC (Clark et al. 1995; Brandsaeter y Netland 1999; Teasdale et al. 2004; Vanzolini 2011); y (iv) alta capacidad para la resiembra natural, con potencial para establecer poblaciones naturalizadas (o semi-naturalizadas) en agroecosistemas semiáridos (Volesky et al. 1995; Renzi et al. 2017).

Debido a la alta capacidad de resiembra de la VV, que acontece luego de la diseminación de la semilla, y de su incorporación al suelo, pueden lograrse varios ciclos sucesivos en los que se forman poblaciones de utilidad agronómica. Estas poblaciones semi-espontáneas pueden ser empleadas para pastoreo con animales, cosecha de forraje y/o cosecha de semillas. Para promover el uso agropecuario de las poblaciones semi-espontáneas, deben conseguirse adecuado ajuste del período de emergencia y una conveniente densidad de plantas.

Los factores ecofisiológicos de la especie, en vinculación con el manejo agropecuario, determinan el nivel que alcanza la resiembra espontánea y la dimensión de las

---

<sup>16</sup> La información incluida en este Capítulo ha sido publicada en: Renzi, J.P., Chantre, G., González-Andújar, J.L., Cantamutto, M.A. 2019. Development and validation of a simulation model for hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) self-regeneration under different crop rotations. **Field Crops Research** 235, 79-86.

poblaciones que se generan (Renzi et al. 2017). Nichols et al. (2007) considera que el éxito agronómico de una rotación que incluye leguminosas anuales y cereales, depende de la capacidad que tengan las leguminosas para generar una densidad poblacional adecuada para los fines productivos, en base a la resiembra a partir del banco de semillas del suelo. Para que una comunidad mono o polifítica de VV tenga valor forrajero, la densidad de la leguminosa debe ser igual o superior a 30 plantas m<sup>-2</sup> (Seymour et al. 2002; Renzi et al. 2017).

A pesar de los reconocidos beneficios agronómicos de la inclusión de la VV en las rotaciones agrícolas, la adopción continúa siendo limitada. Una percepción adversa, relativamente común, aduce a las dificultades que pueden ocurrir por la aparición de plantas “voluntarias”, también llamadas “guachas” (Crockett et al. 2012; Pittman et al. 2019). El control de las plantas voluntarias de VV resulta particularmente complejo en los sistemas orgánicos, donde está restringido el uso de herbicidas (Wayman et al. 2016). En ese sentido, la modelización del proceso de emergencia de la VV podría ayudar a la planificación de los sistemas agropecuarios que la incluyan.

Otras leguminosas forrajeras también poseen una capacidad de resiembra similar a la VV (Carr et al. 2005; Ovalle et al. 2005; Norman et al. 2005; Driouech et al. 2008; Loi et al. 2005, 2012; Walsh et al. 2013). En los estudios realizados con estas otras especies, la capacidad de resiembra fue estudiada en forma independiente, sin relacionársela a la secuencia de cultivos y el potencial para convertirse en una maleza de los cultivos sucesores.

Los modelos demográficos han demostrado ser muy útiles para comprender las estrategias de resiembra de varias especies de leguminosas (Taylor et al. 1991; Komatsuzaki 2007). La utilidad de este enfoque también está ampliamente documentada para el manejo de malezas bajo diferentes sistemas de producción (Forcella et al. 2000; González-Andujar et al. 1993, 2004; Colbach et al. 2005; Holst et al. 2007; Gardarin et al. 2012; D'Amico et al. 2018).

Este Capítulo aborda el desarrollo de un modelo simple, con el fin de evaluar la persistencia a largo plazo de la VV en el banco de semillas del suelo. Específicamente, el

objetivo fue desarrollar y validar un modelo de simulación para evaluar la capacidad de resiembra, considerando diferentes rotaciones de cultivos.

## **5.2 Materiales y Métodos**

### **5.2.1 Sitio de estudio**

Los experimentos de campo se realizaron en la EEA Hilario Ascasubi del INTA (Sección 4.2.1), durante 2007 a 2017. Los registros climáticos, que incluyeron precipitaciones mensuales y temperaturas promedio, se muestran en la Tabla 5.1. El suelo fue de textura franco-arenoso, ligeramente alcalino, con  $\approx 80$  cm de profundidad, clasificado como haplustoll entérico, con  $23 \pm 9$  ppm de P soluble (Bray y Kurtz) y  $1,6 \pm 0,5\%$  de materia orgánica.

El material vegetal de VV utilizado para estos ensayos consistió una selección local (L.E.) que luego dio origen al cultivar denominado Ascasubi INTA. En forma rutinaria antes de la siembra, las semillas se inocularon con *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* (NC BIAGRO 10) para estimular la fijación simbiótica de N.

**Tabla 5.1.** Datos mensuales de precipitación acumulada y temperatura promedio para el período 2007-2017 registrados en Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina

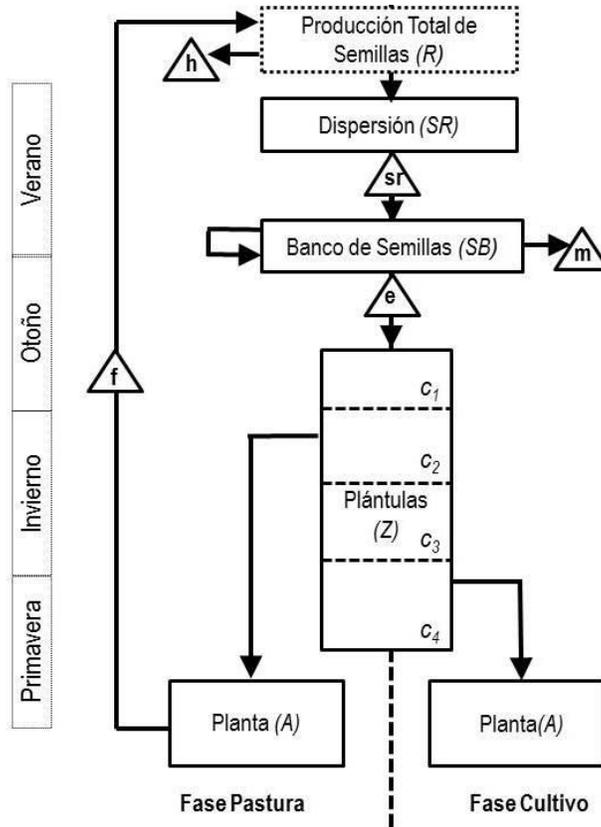
Mes	Año										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	Precipitación (mm)										
Enero	43,0	5,5	5,2	12,0	166,0	59,0	36,0	8,0	68,5	132,5	8,7
Febrero	36,1	44,5	24,5	152,5	14,5	52,7	8,0	28,1	113,0	74,3	110,7
Marzo	27,0	15,0	45,5	75,0	73,3	95,5	28,8	92,5	19,8	29,5	101,0
Abril	27,0	1,0	13,0	24,5	47,0	15,2	49,5	73,3	74,1	25,7	70,0
Mayo	1,5	26,5	9,0	29,0	13,0	7,1	12,0	81,8	7,0	66,5	53,6
Junio	0,0	12,0	4,0	25,5	3,1	16,9	0,0	21,1	0,5	15,3	19,5
Julio	9,8	7,0	46,0	7,3	1,0	0,0	34,5	75,9	45,0	11,3	18,5
Agosto	9,6	17,5	5,1	0,0	11,5	36,0	0,0	53,0	33,8	22,5	34,0
Septiembre	74,0	16,0	26,4	36,0	6,3	17,0	56,2	66,5	15,2	9,9	42,3
Octubre	23,5	34,5	6,0	67,0	55,5	14,8	55,5	76,1	58,3	55,0	32,0
Noviembre	41,7	14,0	38,1	19,7	77,0	26,5	38,1	43,2	64,0	37,0	71,5
Diciembre	2,5	58,5	65,0	19,0	39,0	87,0	6,5	9,5	116,5	15,0	4,5
	Temperatura (°C)										
Enero	22,1	22,6	24,0	24,2	22,8	24,2	22,9	23,0	21,1	22,8	22,1
Febrero	20,5	23,3	23,0	21,0	21,1	21,7	22,6	20,9	21,2	21,9	23,8
Marzo	18,6	19,8	21,3	19,8	20,0	19,5	16,9	18,3	20,7	18,8	21,8
Abril	15,2	15,0	16,6	14,0	15,1	14,5	17,4	14,0	16,3	13,0	14,7
Mayo	9,1	11,2	12,5	12,0	11,8	12,4	12,1	11,7	13,2	9,5	12,2
Junio	7,0	8,2	8,9	8,4	7,9	8,1	9,3	9,0	9,1	7,9	8,7
Julio	5,7	9,1	7,5	6,4	8,3	6,4	8,1	8,6	8,6	7,6	9,0
Agosto	7,5	9,6	12,1	8,3	8,7	10,4	9,3	10,9	10,8	11,1	10,3
Septiembre	13,1	12,3	11,0	11,7	13,2	13,0	10,4	12,8	10,4	11,0	12,5
Octubre	16,2	16,1	15,3	14,9	13,5	16,0	15,6	15,2	11,9	14,4	14,6
Noviembre	16,3	21,4	17,2	17,6	20,7	19,2	19,0	17,4	18,7	18,7	16,7
Diciembre	21,0	21,3	20,5	21,4	21,4	20,9	22,9	21,7	20,7	22,8	20,7

## 5.2.2 Estructura del modelo demográfico

Se implementó una versión modificada del modelo demográfico propuesto por González-Andújar y Fernández-Quintanilla (2004), para reflejar algunas de las principales características del ciclo de vida de la VV (Figura 5.1). El modelo propuesto mostró diferentes cohortes de plántulas para: (i) estimar la capacidad de resiembra natural en la fase correspondiente uso forrajero; y (ii) desarrollar estrategias de control considerando a las plantas voluntarias durante la fase de cereales de invierno, dentro de una secuencia vicia-cereal.

El modelo fue desarrollado y calibrado bajo las condiciones agroecológicas del sur de la región semiárida templada de la provincia de Buenos Aires. En esta región prevalecen

rotaciones de 1 a 2 años de la pastura de VV, seguidos de ciclos de 1 a 2 años de cereales de invierno (Iurman et al. 2008).



**Figura 5.1.** Modelo demográfico de las rotaciones agrícolas con *Vicia villosa*, que representa las fases de pastoreo y cultivos de cereales de invierno.  $R$ , producción total de semillas (variable de entrada);  $SR$ , dispersión de semillas;  $SB$ , banco de semillas en el suelo;  $Z$ , plántulas (variable de salida, con cuatro cohortes:  $c_1$  de enero a mediados de febrero,  $c_2$  de mediados de febrero a mediados de abril,  $c_3$  de mediados de abril a junio y el  $c_4$  de junio a agosto) y  $A$ , plantas adultas. Tasas demográficas:  $h$ , semilla cosechada;  $sr$ , pérdidas de semillas por dispersión;  $e$ , emergencia de plántulas;  $m$ , mortalidad de semillas en el suelo;  $c_2$ , supervivencia de plántulas en la fase de pastoreo y  $c_4$  en la fase de cultivo;  $f$ , fecundidad (no incluido en el modelo).

### 5.2.2.1 Producción total de semillas

La producción total de semillas de VV (semillas m<sup>2</sup>) ( $R$ ) se consideró como el punto de partida de la simulación del modelo demográfico. Debido a que muchos factores de manejo, bióticos o abióticos impactan sobre el rendimiento total de semillas, se tomó como rango posible a los registros previos generados localmente (Renzi 2009; Renzi y Cantamutto 2013).

#### 5.2.2.2 Eficiencia de cosecha y dispersión de semillas

Se asumió que, de la producción total de semillas ( $R$ ), la proporción que ingresa al banco de semillas del suelo ( $SB$ ) estuvo representada por sr:

$$sr = SR / (H + SR)$$

Donde  $SR$  es el número total de semillas en la superficie del suelo (semillas m<sup>2</sup>) después de la cosecha mecánica, y  $H$  es la cantidad total de semillas recolectadas (semillas m<sup>2</sup>) por la cosechadora en forma mecánica.

Debido a que no existían antecedentes previos para la especie se ajustó este parámetro para las condiciones locales de estudio. La relación entre la producción total de semillas ( $R$ ), la cosecha de semillas ( $H$ ) y la dispersión (desgrane o pérdida durante la cosecha) ( $SR$ ), bajo cosecha mecanizada, se evaluó durante el periodo 2007 a 2016 (Tabla 5.2). En la etapa de plena floración (principios de la primavera), se favoreció a la polinización del cultivo de VV ubicando colmenas de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en proximidad del lote (5 colmenas ha<sup>-1</sup>). Al comienzo del verano (diciembre), el cultivo de VV se desecó químicamente (paraquat, a dosis de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y se cosechó mecánicamente (Vassalli 316 y 900) utilizando una plataforma convencional. La separación entre el cilindro y cóncavo se ajustó a 15-20 mm, con una velocidad del cilindro de 700 rpm. Se colocó una zaranda inferior con alveolos circulares de 9 mm de diámetro. Las semillas cosechadas se pesaron, limpiaron y volvieron a pesar.

El número de semillas cosechadas por m<sup>2</sup> ( $H$ ) se estimó de acuerdo al peso individual promedio de las semillas (30 mg). Después de la cosecha mecánica, se estimó la dispersión de semillas contando el número de semillas en la superficie del suelo ( $SR$ )

usando ocho cuadrantes de 0,25 m<sup>2</sup> distribuidos al azar. Las evaluaciones se realizaron en diez lotes independientes del campo experimental de la EEA H. Ascasubi (Tabla 5.2).

La relación entre la producción total de semillas ( $R = H + SR$ ) y las semillas cosechadas ( $H$ ) se analizó mediante regresión lineal (GraphPad Prism, 2015).

**Tabla 5.2.** Descripción de los lotes en el INTA EEA Ascasubi utilizados para cuantificar la eficiencia de cosecha de la *Vicia villosa*.

Lote	Año	Latitud (S)	Longitud (O)	Superficie (ha)	Suelo (0-20 cm)				Sistema de labranza	Fecha de			
					Textura	MO (%)	P (ppm)	pH		CE (dS m <sup>-1</sup> )	Siembra	Floración	Cosecha
1	2007	39°23'25.70"	62°37'06.11"	1,5	franco-limoso	1,7	9,7	8,1	2,1	CT	31-may	13-oct	21-dic
2	2007	39°23'24.41"	62°36'52.34"	2,5	franco-arenoso	1,2	30,6	7,7	0,6	CT	31-may	19-oct	21-dic
4	2008	39°23'22.22"	62°36'54.73"	2,1	franco-arenoso	1,0	33,5	7,5	1,2	CT	04-jun	06-oct	05-ene
5	2008	39°23'30.96"	62°36'59.85"	2,5	franco-arenoso	1,3	31,0	7,0	0,8	CT	04-jun	14-oct	05-ene
6	2009	39°23'29.79"	62°37'04.26"	2,5	franco-arenoso	1,9	25,0	7,4	1,1	NT	26-may	15-oct	28-dic
7	2010	39°23'57.80"	62°37'47.68"	1,4	franco-arenoso	1,8	33,0	7,5	0,7	CT	01-jun	10-nov	10-dic
8	2011	39°23'59.09"	62°37'54.18"	1,5	franco-arenoso	2,0	25,1	7,7	1,0	NT	28-abr	27-oct	21-dic
9	2011	39°23'57.1"	62°37'33.03"	0,5	franco-arenoso	2,1	18,2	7,9	1,7	NT	28-abr	20-oct	21-dic
11	2014	39°24'15.74"	62°38'02.92"	2,7	arenoso-franco	1,7	19,3	8,0	0,7	NT	01-jun	09-nov	26-dic
12	2016	39°24'10.34"	62°37'51.90"	1,9	arenoso-franco	1,6	18,8	8,0	0,5	NT	26-may	10-oct	17-dic

Referencias: MO: materia orgánica; P: fósforo; CE: conductividad eléctrica; CT labranza convencional; NT: siembra directa.

### **5.2.2.3 Banco de semillas y emergencia**

Los parámetros correspondientes a la dinámica del banco de semillas en el suelo y los patrones de emergencia (para definir cohortes) fueron los informados en el Capítulo precedente (IV). La persistencia del banco de semillas del suelo se describió en la Sección 4.3.1. Los niveles de mortalidad por predación asociados al sistema de laboreo (convencional vs sin labranza) fueron tomados de Renzi et al. (2017). Los patrones de emergencia media utilizados fueron los indicados en la Sección 4.3.6.

### **5.2.3 Análisis de sensibilidad**

Se utilizó un índice de sensibilidad (*SI*) de acuerdo a González-Andújar y Fernández-Quintanilla (2004):

$$SI = (D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}) / D_{m\acute{a}x}$$

donde  $D_{max}$  corresponde a la salida del modelo cuando los parámetros se establecen en su valor máximo, y  $D_{min}$  en el valor mínimo del parámetro. Un *SI* grande indica que una pequeña variación en ese parámetro dará como resultado una gran modificación de la salida del modelo.

### **5.2.4 Simulación del modelo**

La simulación del modelo se realizó dentro del rango de rendimiento de semilla generalmente observado en las condiciones de la región semiárida templada de la provincia de Buenos Aires.

Los cereales de invierno, así como la VV, son cultivos que desarrollan un ciclo invierno-primaveral en los sistemas agrícolas regionales. Se simularon diferentes escenarios de manejo que combinaron alternativas de ordenamiento de la secuencia de estos cultivos (Tabla 5.3). Un escenario consistió en el monocultivo de VV durante cinco años sucesivos (escenario A, Tabla 5.3). En ese escenario, la VV se introduce en el primer ciclo y

mediante su capacidad de resiembra se obtienen poblaciones aprovechables durante los posteriores cuatro ciclos anuales. Los otros escenarios alternativos consideraron rotaciones de diferente duración de la VV y los cereales invernales (escenarios B-D, Tabla 5.3). En todos ellos, la VV de la primera temporada se destina a la cosecha de semilla, mientras que los cultivos de cereales invernales se aprovechan para la cosecha de granos.

**Tabla 5.3.** Simulación de escenarios de rotaciones combinando cultivos de cereales de invierno (trigo o centeno) con *Vicia villosa*.

Escenarios	Año				
	1	2	3	4	5
1	vicia	vicia	vicia	vicia	vicia
2	vicia	cereal	vicia	cereal	vicia
3	vicia	cereal	cereal	vicia	cereal
4	vicia	cereal	cereal	cereal	vicia

### 5.2.5 Validación del modelo

La validación del modelo se realizó utilizando datos independientes obtenidos en parcelas bajo producción agropecuaria en la EEA Hilario Ascasubi, con secuencias de cultivos de cereales invierno y VV, durante los años 2009-2017.

En la Tabla 5.4 se muestra una descripción detallada de las diferentes secuencias de cultivos evaluadas bajo sistemas de siembra convencional (CT) y sin labranza (NT). El cultivo de trigo constituyó el representante de la fase de cereal, excepto la secuencia "H", donde se empleó centeno.

**Tabla 5.4.** Datos de campo de la *Vicia villosa* integrando diferentes secuencias agrícolas bajo sistemas convencionales (CT) y sin labranza (NT) en la EEA Hilario Ascasubi (39°22´S, 62°39´O).

Lote / Superficie (ha)	Año	Cultivo	Propósito	Sistema		Fecha de			Resiembra Plantas VV (n m <sup>2</sup> )	Semilla Rinde VV (kg ha <sup>-1</sup> )	Herbicidas aplicados en VV			
				Fecha	Resiembra	Siembra	Cosecha*	Pre-re/siembra			Fecha	Post-emergente	Fecha	
A / 0,2	2008	Vicia	Semilla	CT	20-May	--	4-Jun	7-Ene-09	--	840	--	--	Bentazon	10-Sep
	2009	Vicia	biomasa**	CT	27-Ene	17-Mar	--	--	600±195	--	--	--	--	--
B / 0,2	2008	Vicia	Semilla	CT	20-May	--	4-Jun	7-Ene-09	--	250	--	--	Bentazon	10-Sep
	2009	Vicia	Biomasa	CT	27-Ene	17-Mar	--	--	216±117	--	--	--	--	--
C / 0,2	2008	Vicia	Semilla	CT	20-May	--	4-Jun	7-Ene-09	--	290	--	--	Bentazon	10-Sep
	2009	Vicia	Biomasa	CT	27-Ene	17-Mar	--	--	260±96	--	--	--	--	--
D / 0,2	2008	Vicia	Semilla	CT	20-May	--	4-Jun	7-Ene-09	--	1100	--	--	Bentazon	10-Sep
	2009	Vicia	Biomasa	CT	27-Ene	17-Mar	--	--	908±305	--	--	--	--	--
E / 0,2	2008	Vicia	Semilla	CT	20-May	--	4-Jun	7-Ene-09	--	765	--	--	Bentazon	10-Sep
	2009	Vicia	Biomasa	CT	27-Ene	17-Mar	--	--	682±165	--	--	--	--	--
F / 2,5	2016	Vicia	Semilla	NT	10-Abr	--	13-Jun	23-Dic	--	550	--	--	Cletodim + Bentazon	4-Ago
	2017	Vicia	Biomasa	NT	--	16-Mar	--	--	315±184	--	--	--	--	--
G / 2,2	2010	Vicia	Semilla	NT	--	--	1-Jun	27-Dic	--	400	Glifosato	19-May	--	--
	2011	Vicia	Semilla	CT	5-Ene	22-Mar	--	19-Dic	316±110	390	Sulfosato + Flurocloridona	24-Ene	Cletodim	19-Sep
	2012	Vicia	Semilla	NT	--	30-Mar	--	14-Dic	194±82	900	Glifosato + Acetoclor	12-Ene	Imazetapir + Haloxyphop-m	17-Sep
	2013	Trigo	Grano	NT	--	10-Jul	--	--	32±8	--	--	--	--	--
	2014	Vicia	Biomasa	NT	--	15-Abr	--	--	100±35	--	Glifosato + Imazetapir	10-Ene	--	--
H / 2,0	2013	Vicia	Semilla	NT	--	--	21-Mar	27-Dic	--	230	Glifosato + Sulfentrazone	20-Mar	Imazetapir + Bentazon	20-Ago
	2014	Centeno	Grano	NT	--	6-Jun	--	--	10±7	--	--	--	--	--
	2015	Vicia	Biomasa	NT	--	31-Mar	--	--	34±28	--	Flumetsulam + Cletodim	18-Feb	--	--
I / 1,5	2016	Vicia	Biomasa	NT	--	14-Mar	--	--	4.0±4.1	--	Glifosato	20-Mar	--	--
	2013	Vicia	Semilla	CT	2-May	--	15-May	12-Dic	--	850	--	--	Imazetapir	2-9
	2014	Trigo	Grano	NT	--	12-Jul	--	--	27±6	--	--	--	--	--
	2015	Trigo	Grano	NT	--	23-Jul	--	--	6.8±5.3	--	--	--	--	--
	2016	Trigo	Grano	NT	--	7-Jul	--	--	0.8±1.1	--	--	--	--	--
J / 3,0	2017	Vicia	Biomasa	NT	--	23-Mar	--	--	1.1±1.0	--	--	--	--	--
	2015	Vicia	Semilla	CT	6-Abr	--	20-Abr	15-Dic	--	620	--	--	Imazetapir	10-8
	2016	Trigo	Grano	NT	--	7-Jul	--	--	14±5	--	--	--	--	--
2017	Vicia	Biomasa	CT	15-Ene	16-Mar	--	--	66±31	--	--	--	--	--	

\* Para facilitar la cosecha directa del cultivo de *Vicia villosa*, se desecó previamente con paraquat (600 g i.a. ha<sup>-1</sup>)

\*\* Para el propósito de la producción de biomasa, el cultivo de *Vicia villosa* se cortó en la etapa reproductiva sin permitir la reposición del banco de semillas por dispersión.

La cosecha de semillas de VV se realizó con una cosechadora convencional de cereales (Vasalli 316). En las secuencias agrícolas que incluyeron labranza convencional (CT), las labores se realizaron mediante rastra de disco a una profundidad de 100 mm, mientras que el suelo permaneció sin remoción en el sistema de labranza cero (NT) (Tabla 5.4). El stand de plantas de VV se midió mediante recuentos del número de plántulas emergidas tanto en la fase de pastoreo (marzo/abril) como en el periodo de establecimiento del cereal de invierno (junio/julio). Las plántulas de VV se contaron en ocho cuadrantes permanentes (0,25 m<sup>2</sup> cada uno) distribuidos completamente al azar.

El control de malezas se realizó con glifosato o sulfosato (780 g i.a. ha<sup>-1</sup> y 450 g i.a. ha<sup>-1</sup>) en pre-siembra o con anterioridad a que se establezca la resiembra de la VV. Los herbicidas aplicados al suelo incluyeron flurocloridona, imazetapir, sulfentrazone, flumetsulam y acetoclor (250, 120, 200, 24 y 900 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Imazetapir, bentazon y los graminicidas (cletodim o haloxifop-m) (120, 600 y 156 o 75 g i.a. ha<sup>-1</sup>) se aplicaron en post-emergencia del cultivo de VV (Tabla 5.4). Durante la fase del cereal de invierno (trigo/centeno), el control de VV se realizó con varios herbicidas selectivos [ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) + dicamba o 2,4-D + picloram, o 2,4 -D + metsulfuron-metil] (150 + 106,2, 150 + 28,8, 180 + 4,2 g i.a. ha<sup>-1</sup>).

La bondad de ajuste entre la emergencia simulada en relación a la observada se determinó calculando la raíz normalizada (NRMSE) del cuadrado medio del error (RMSE), mediante las siguientes ecuaciones:

$$RMSE = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

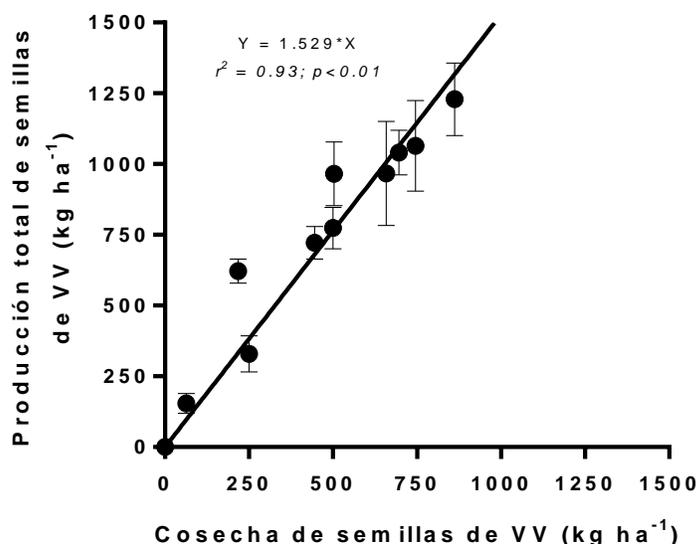
$$NRMSE = \left[ \frac{RMSE}{\bar{x}} \right] \times 100$$

donde,  $x_i$  y  $y_i$  corresponden a valores de emergencia observados y predichos, respectivamente.  $\bar{x}$  es el promedio de los valores medidos. Los valores de RMSE normalizados: 0-10%, 10-20%, 20-30% y > 30% podrían clasificarse como excelente, muy bueno, bueno y regular a malo, respectivamente (Araya et al. 2017).

## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Eficiencia de cosecha y dispersión de semillas

La relación entre la producción total de semillas y la fracción recolectada mediante cosechadora de cereales (Figura 5.2), se empleó para estimar la dispersión de semillas después de la cosecha. En promedio, el  $39\pm 13\%$  de las semillas cayeron y se incorporaron al banco del suelo. Los valores porcentuales de dispersión oscilaron entre 26 a 53 % de la semilla producida.

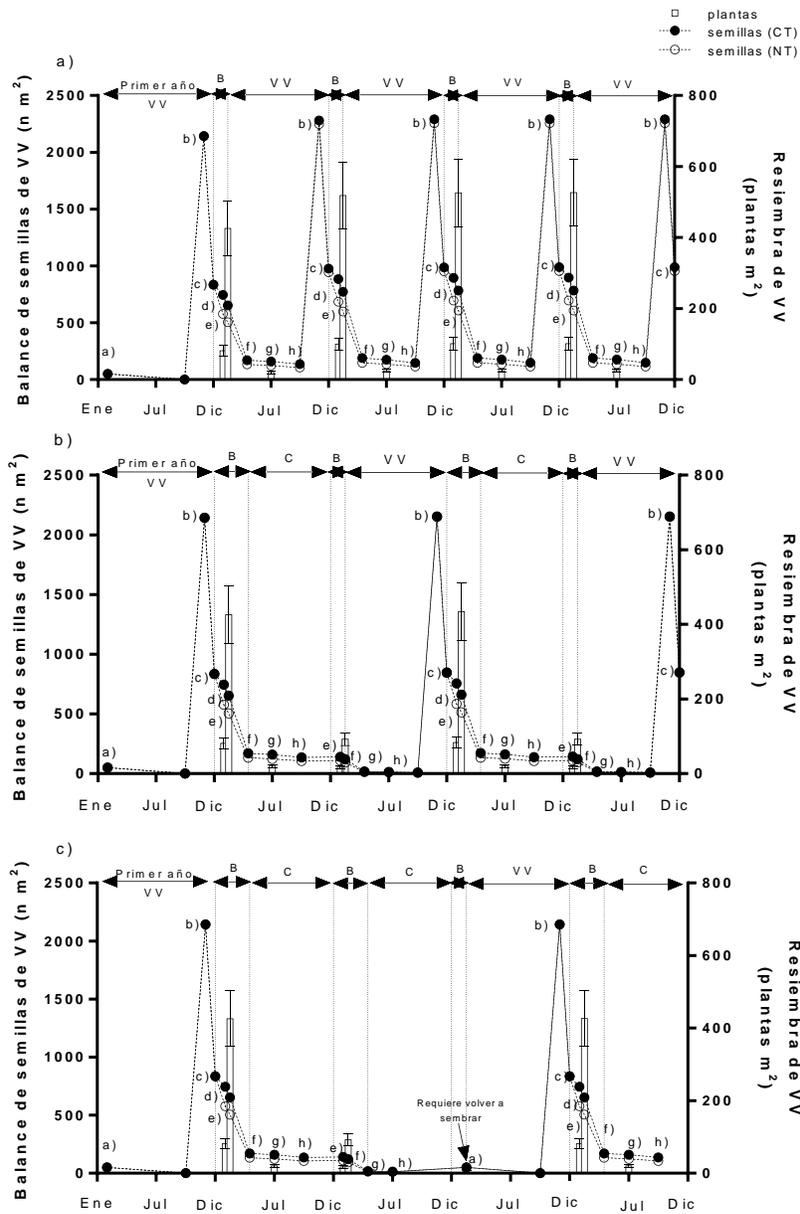


**Figura 5.2.** Relación entre la producción total de semillas de *Vicia villosa* y el rendimiento obtenido con cosechadora convencional de cereales.

### 5.3.2 Simulación del modelo

En la rotación con monocultivo de VV, la caída natural de semillas fue suficiente como para generar una pastura productiva, mediante resiembra natural, en el ciclo posterior. Tanto para los casos simulados, con rendimiento medio de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 5.3), como

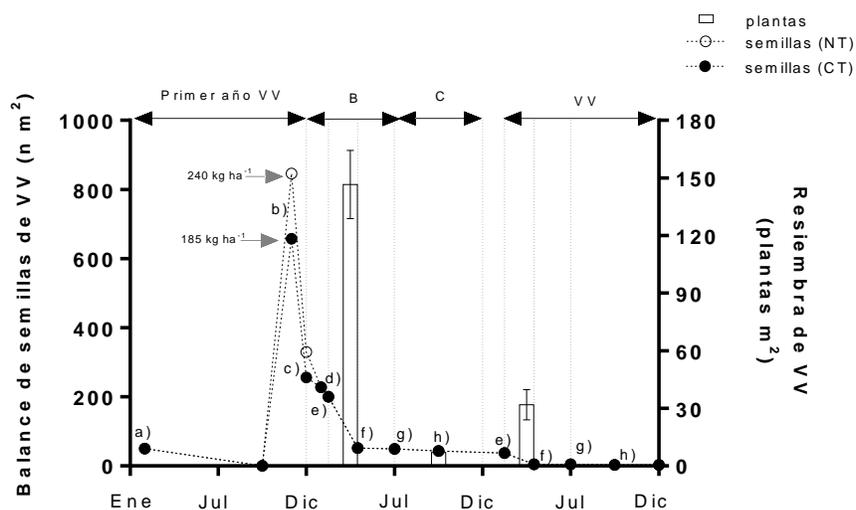
para los casos observados (Tabla 5.4), la densidad de plantas de las poblaciones obtenidas por resiembra espontánea de VV alcanzó o superó el umbral estimado para considerar que una pastura sea productiva ( $\approx 30$  plantas  $m^{-2}$ ). El modelo estimó que después de dos o más años sucesivos de cultivo de cereales de invierno, la resiembra natural de VV no fue suficiente para conformar poblaciones con esa densidad considerada para una pastura agrónomicamente productiva (Figura 5.3). En ese caso, considerando el máximo rendimiento de semilla esperable ( $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), luego de 2 a 3 ciclos del cereal de invierno, la densidad por resiembra natural alcanzaría a solo  $15 \pm 0,9$  y  $0,9 \pm 0,2$  plantas  $m^{-2}$ , respectivamente. Esas densidades están por debajo del umbral mínimo para que puedan ser consideradas poblaciones con valor forrajero.



**Figura 5.3.** Balance de semillas simulado durante cinco años bajo secuencias de monocultivo de VV (a), VV-cereal-VV (b) y VV-cereal-cereal-VV (c). El punto (a) representa la densidad inicial de siembra; (b) es la producción total de semillas al final del primer año de cultivo para un rendimiento medio supuesto de 600 kg ha<sup>-1</sup> (2143 semillas m<sup>-2</sup>); (c) es la proporción de semillas que se dispersa e incorpora en banco de semillas del suelo después de la cosecha mecánica; (d) son pérdidas del banco de semillas debido a la mortalidad natural y la depredación; los puntos (e-a-h) representan las pérdidas del banco de semillas debido a la emergencia a campo durante el segundo año de la rotación

(1° cohorte de enero a mediados de febrero (e), 2° cohorte desde mediados de febrero hasta mediados de abril (f), 3° cohorte de mediados de abril a junio (g), y 4° cohorte de junio a agosto (h)). Las barras indican la densidad de resiembra de VV. Referencias V: fase de pastura de VV, C: fase del cultivo del cereal y B: período de barbecho.

Para la secuencia de VV-cereal-VV (VV seguido de un cultivo de cereales), la simulación mostró que el rendimiento de semillas debería ser igual o superior a 185 a 240 kg ha<sup>-1</sup> para que el stand de VV obtenido por resiembra alcance valor forrajero, en sistemas convencionales (CT) o bajo labranza cero (NT), respectivamente (Figura 5.4).



**Figura 5.4.** Balance de semillas simulado para la secuencia de VV-cereal-VV, con indicación del rendimiento mínimo del primer ciclo, para lograr un stand productivo bajo resiembra natural. Referencias ver en Figura 5.3.

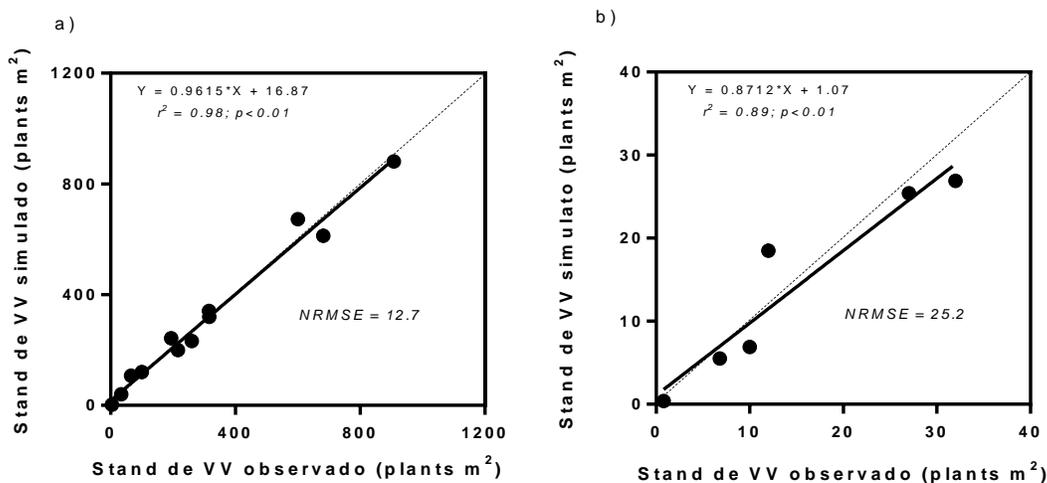
La producción y dispersión de las semillas fueron las variables más importantes que afectaron la reposición del banco de semillas y la capacidad de resiembra de la VV (Tabla 5.5).

**Tabla 5.5.** Parámetros del modelo e índice de sensibilidad para la simulación de la demografía poblacional de VV. SI; índice de sensibilidad.

<b>Parámetros del modelo</b>		<b>Modelo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>SI</b>	<b>Referencia</b>
<b>Producción total de semillas (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<i>R</i>	0,60	1,20	0,10	0,875	Renzi 2009
<b>Dispersión de semillas</b>						
<i>Con cosechadora de cereales</i>	<i>sr</i>	0,39	0,65	0,24	0,631	Sección 5.3.1.
<b>Mortandad del Banco del Suelo</b>						
<i>Laboreo convencional (CT)</i>	<i>m<sub>1</sub></i>	0,11	0,07	0,15	0,086	Renzi et al. 2017
<i>Siembra directa (NT)</i>	<i>m<sub>2</sub></i>	0,31	0,27	0,36	0,123	
<b>Emergencia</b>						
<i>Resiembra año 1</i>	<i>e<sub>1</sub></i>	0,81	0,88	0,72	0,182	Sección 4.3.1.
<i>Resiembra año 2</i>	<i>e<sub>2</sub></i>	0,11	0,17	0,06	0,008	
<i>Resiembra año 3</i>	<i>e<sub>3</sub></i>	0,02	0,04	0,01	0,001	
<i>Resiembra año 4</i>	<i>e<sub>4</sub></i>	0,01	0,01	0,01	0,000	
<b>Supervivencia de plántulas</b>						
<i>Fase de pastura</i>	<i>c<sub>2</sub></i>	0,80	0,91	0,69	0,243	Sección 4.3.6.
<i>Fase de cultivo de cereal</i>	<i>c<sub>4</sub></i>	0,04	0,05	0,03	0,383	

### 5.3.3 Validación del modelo

La densidad simulada del stand de VV en la fase de pastura y cultivo de cereales de invierno de la rotación, considerando todos los escenarios (Tabla 5.3) se ajustó a la observada en las determinaciones a campo (Figura 5.5). Los valores de NRMSE se encontraron dentro del rango considerado como de buen a muy buen ajuste ( $\approx 20\%$ ) y el análisis de regresión resultó significativo para las dos fases consideradas (Figura 5.5).



**Figura 5.5.** Densidad simulada versus observada para poblaciones de *Vicia villosa* obtenidas por resiembra en la fase de pastoreo (desde mediados de febrero hasta mediados de abril) (a); y durante la fase de cultivo de cereales (periodo de junio a agosto) (b). NRMSE, error de raíz cuadrada normalizada.

#### 5.4 Discusión

Tanto para el uso forrajero como para el control de las plantas voluntarias (maleza), la densidad del stand de plantas resultó modulada por diferentes procesos. Ellos incluyeron la generación de semilla, su dispersión, persistencia en el banco del suelo, germinación e implantación de los individuos de la nueva cohorte. Cuando se desea realizar un uso forrajero de las poblaciones generadas por resiembra natural, resulta crucial lograr establecer un stand de plantas agrónomicamente productivo. Ello no solo asegura una adecuada producción de biomasa forrajera, sino que también puede permitir la cosecha de semillas (Renzi et al. 2017).

En este Capítulo se identificaron los puntos vulnerables que condicionan el ciclo de vida de la VV en rotaciones con cereales de invierno, para integrarlos en un modelo que permita tomar las mejores decisiones de manejo. El modelo validado, con algunos ajustes, podría adaptarse a otros sistemas agroecológicos que incluyan a la VV como un cultivo alternativo a la producción de semillas (Clark 2007). Tanto la producción de semillas como la dispersión de las mismas fueron las variables más importantes que

afectaron la reposición del banco de semillas del suelo y la resiembra. El elevado índice de sensibilidad (Tabla 5.5) de ambos procesos sugiere que las prácticas de manejo que afecten el rendimiento de la semilla o reduzcan la dispersión, darán como resultado cambios sustanciales en la capacidad de resiembra natural de VV. La dispersión y reposición del banco de semillas del suelo fue similar a la registrada en otros cultivos forrajeros utilizados en los sistemas de producción denominados “*ley farming*”, desarrollados para condiciones semiáridas de Australia (Nutt y Loi 1999; Loi et al. 2005; 2012).

#### **5.4.1 Resiembra de *Vicia villosa* como pastura**

En una fase de pastura, los resultados simulados y los datos del experimento mostraron que la resiembra de VV bajo monocultivo (secuencia VV-VV) generó stands de utilidad forrajera ( $> 90$  plantas  $m^{-2}$ ) incluso cuando el rendimiento de semillas del cultivo antecesor fue bajo ( $\approx 250$  kg  $ha^{-1}$ ) (Figura 5.3; Tabla 5.4). En la secuencia que la VV alterna con cereal de invierno, el stand obtenido por resiembra alcanzó valor forrajero (30 plantas  $m^{-2}$ ) cuando el rendimiento de semilla alcanzó niveles de 185 y 240 kg  $ha^{-1}$  para sistemas bajo labranza convencional (CT) o labranza cero (NT), respectivamente. Tales diferencias entre los sistemas están asociadas a una mayor presión de los depredadores naturales bajo NT debido a la exposición directa de las semillas durante la temporada de verano (Renzi et al. 2017). Además, debido al tamaño de las semillas de VV ( $> 28$  mg semilla $^{-1}$ ) la germinación mediante imbibición sobre la superficie del suelo puede demorar más tiempo y estar sujeta a procesos de secado o infección por patógenos del suelo (Archer y Pyke 1991; Zalamea et al. 2018; Davis et al. 2016; Ghouse y Jayasuriya 2018).

Después de dos o más años de cultivos continuos de cereales de invierno, o cuando no se produce la recarga del banco de semillas del suelo, se suprimió la capacidad de formar poblaciones agrónomicamente valiosas bajo resiembra natural. Para la persistencia de la especie en los suelos de los agroecosistemas semiáridos templados, las poblaciones de VV deben ser manejados para asegurar una producción mínima de igual a superior a 200 kg  $ha^{-1}$ , al menos una vez cada dos años (Volesky et al. 1995; Renzi et al. 2017).

#### **5.4.2 *Vicia villosa* como maleza de cereales de invierno**

Como se ha expresado, se considera que cuando la densidad de plantas lograda es menor a 30 plantas m<sup>-2</sup>, el valor agronómico de la pastura es bajo. Sin embargo, en la fase de cultivo de cereales invernales, con valores de densidad inferiores a ese umbral mínimo, pueden aparecer pérdidas por interferencia de plantas voluntarias de VV, debido a la alta habilidad competitiva de la especie (Aarssen et al. 1986; Curran et al. 2015; Pittman et al. 2019).

La interferencia de la VV en los cultivos de cereales de invierno puede ser suprimida mediante el control químico. Ello es posible en sistemas convencionales, pero está limitado en los sistemas orgánicos o conservacionistas (Keene et al. 2017). Varios herbicidas selectivos del cereal (p. ej., 2,4-D, dicamba, clopyralidi, metsulfuron-metil y prosulfuron) están recomendados para el control de la VV en cereales de invierno, a fines del invierno o durante la primavera (Graham 2006; Renzi y Cantamutto 2013).

Desde la perspectiva de control de malezas, la aparición de plantas voluntarias de VV no debería ser un problema considerable, si las prácticas de manejo evitan la producción y la reposición del banco de semillas del suelo, durante al menos tres años consecutivos. Las estimaciones realizadas indican que podría producirse un rápido agotamiento del banco de semillas ( $\approx 1$  planta m<sup>-2</sup> después de 30 meses), independientemente del rendimiento de la semilla o la cantidad de semillas dispersas inicialmente.

Aún con bajos stands, si el objetivo agronómico apunta a suprimir la interferencia de VV en cultivos de cereales, resultará necesario aplicar prácticas que eviten la recarga del banco de semillas del suelo, evitando que se reproduzcan con anterioridad o luego de la cosecha del cultivo de cereal (Keene et al. 2017; Pittman et al. 2019).

Al ser una especie facultativa, la VV también puede germinar durante la primavera (Sección 4.3.4) y alcanzar a reproducirse durante el verano (Renzi y Cantamutto 2013; Pittman et al. 2019). En este ciclo de vida desfasado al usual, el control de plantas voluntarias puede realizarse durante el periodo de barbecho para cereales invernales, que es la práctica recomendada para los ambientes semiáridos (Keene et al. 2017).

El modelo de simulación desarrollado generó información de valor para el manejo de la VV en rotaciones cortas con cereales de invierno. La resiembra requiere un rendimiento mínimo de semillas de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  en el primer ciclo, antes de la fase de cereales de invierno, para asegurar una pastura productiva en el tercer año. Si el rendimiento de semillas resulta menor ( $<180 \text{ kg ha}^{-1}$ ), un laboreo mecánico superficial mediante discos, realizado inmediatamente después de la cosecha, contribuiría a aumentar la persistencia del banco de semillas del suelo en comparación con los sistemas sin labranza.

## 6 CAPITULO VI

### DESARROLLO DEL CULTIVAR ASCASUBI INTA

#### 6.1 Introducción

En Argentina, la actividad de mejoramiento genético de la VV, ya sea para destinarla a uso forrajero o para CC, han sido escasos y discontinuos. En 1981 se inscribió el cultivar de VV denominado Alborada INTA, cuyo abastecimiento fue discontinuándose en los años siguientes (Gorostegui 1971; Larreguy 1982). El último registro varietal fue el cultivar Tolse FCA, obtenido mediante una selección masal realiza por la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Universidad Nacional de Córdoba (UNC) entre los años 1983 y 1989. La población original se obtuvo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y fue mejorada siguiendo los criterios de tolerancia al frío y sequía, crecimiento vigoroso, ciclo corto, tolerancia al pulgón de la alfalfa (*Acyrtosiphon pisum* (Harris), enfermedades (*Botrytis cinérea* Pers, y *Ramularia sphaeroidea* Sacc.), y mayor peso de semillas (Coraglio et al. 2001).

Actualmente, la mayoría de los cultivos difundidos de VV no poseen una identidad varietal, a excepción de Tolse FCA. También suelen observarse cultivos correspondientes a las variedades Capello<sup>17</sup> y Savane<sup>18</sup>, que fueron introducidas desde Australia y Francia, respectivamente, aproximadamente en los años 2008-10 (Guasch y Matzkin Semillas, com. per.). Actualmente las poblaciones derivadas de estos dos genotipos se encuentran difundidas entre los productores y suele comercializarse, legalmente, como semilla “identificada” sin denominación varietal.

El principal objetivo de aprovechamiento de la VV generalmente consiste en su utilización como pastura para consumo directo. A ello se agrega su empleo como CC. Para estos dos objetivos de uso, resulta de interés lograr una elevada producción de biomasa vegetativa. La selección indirecta por producción de biomasa se debería orientar a lograr plantas con rápido establecimiento, con alta producción de tallos secundarios y con porte bajo. Este rasgo le conferiría una buena capacidad de resistir el pastoreo intenso y/o

---

<sup>17</sup> <https://barenbrug.com.au/forage-pasture/clover-pasture-legumes/vetch/capello.htm>

<sup>18</sup> [https://www.jouffray-drillaud.com/uploads/fiche\\_produit/658\\_savane-Anglais.pdf](https://www.jouffray-drillaud.com/uploads/fiche_produit/658_savane-Anglais.pdf)

cubrir el suelo en forma anticipada para suprimir las malezas, en caso de utilizarse como CC (van de Wouw 2001; Wilke y Snapp 2008). Altos valores de producción de biomasa generalmente se asocian a materiales de ciclo más prolongado, elevada longitud de tallos, retención de hojas en etapas avanzadas y buen tamaño de foliolo (Berger et al. 2002; De la Rosa et al. 2002).

La caracterización de las colecciones de germoplasma es la primera etapa que se debe cumplir de cara a las actividades de mejora. Esto es así porque estos trabajos se centran en la modificación dirigida de las características deseables que permitan satisfacer necesidades agrícolas concretas (Ranalli y Cubero 1997; De la Rosa 2013). Se desconoce el origen de las poblaciones de VV actualmente naturalizadas en Argentina (Capítulo II), que pueden haberse iniciado a partir de escapes de cultivos establecidos con *landraces* introducidas o de las variedades inscriptas en nuestro país.

En esta Tesis se evaluaron cinco accesiones de materiales silvestres colectados en el este de Europa. Debido a la ausencia de rasgos de domesticación, su empleo en programas de mejoramiento sería complejo. Esto es porque se acarrearían atributos incompatibles con su cultivo, tales como bajo peso de semilla, alta dormición, marcada indeterminación del ciclo, etc. A pesar de ello, no se descarta su potencial utilidad, como fuente de genes deseables, mediante hibridaciones con variedades mejoradas (van Zonneveld et al. 2020). A diferencia del germoplasma exótico, que puede requerir un largo proceso de adaptación y pre-mejoramiento, sobre todo si es de origen silvestre (Dwivedi et al. 2016), el germoplasma colectado de poblaciones naturalizadas originadas en escapes de cultivos, o *landraces* de AR, podría tener alto valor potencial para la mejora de la VV.

En este Capítulo se describirá el desarrollo del cultivar Ascasubi INTA, que se obtuvo en el sur de la región semiárida de Argentina, a partir de *landraces*. Estos ecotipos locales que dieron origen al cultivar fueron seleccionados por su adaptación y buena producción de biomasa en floración ( $> 6 \text{ t ha}^{-1}$ ). Luego de la selección y estabilización del cultivar, el mismo fue comparado simultáneamente con las poblaciones naturalizadas y *landraces* de VV del centro de AR, y frente a accesiones introducidas de EU. Se discutirá su difusión actual nacional e internacional y comportamiento productivo.

## **6.2 Materiales y Métodos**

### **6.2.1 *Sitio experimental***

El proceso de mejoramiento se realizó en las instalaciones de la EEA H. Ascasubi (INTA) y en el campo experimental del Departamento de Agronomía (DA) de la Universidad Nacional del Sur (UNS) (Buenos Aires, Argentina; 62°14'O, 38°41'S) durante los años 2009 a 2015.

### **6.2.2 *Origen genético***

El material parental consistió en dos genotipos *landraces* que mostraron atributos compatibles con los objetivos de mejora en evaluaciones preliminares. Durante los años 2005 y 2006 ambos genotipos se obtuvieron de la ex Cooperativa Agrícola de Médanos y de la Cooperadora de la EEA Bordenave, proveniente de multiplicaciones realizadas por productores locales. El proceso de selección se inició con una muestra de semillas de dos kilogramos de cada una. Las *landraces*, denominadas Bordenave y Médanos#2, fueron preservadas y consideradas las más promisorias para el proceso de selección masal. Debido a su adaptación, buena cobertura inicial, que llegó a más del 93% luego de 133 días de sembradas, y elevada productividad de biomasa, con  $> 8,5 \text{ t ha}^{-1}$  al finalizar su ciclo luego de 210 días (Renzi 2008).

### **6.2.3 *Método de selección y estabilización de la variedad***

Con la mezcla física de los dos materiales parentales como punto de partida ( $G_0$ ), se comenzó un proceso de selección masal durante cuatro ciclos ( $G_1$  a  $G_4$ ). Los criterios de selección consistieron en plantas con buen crecimiento inicial, elevada producción de tallos por planta, ausencia de manchas foliares en hojas superiores, abundante floración, bajo nivel de vaneo y madurez uniforme. Asimismo, se evaluó la tolerancia a la sequía y al frío en forma visual durante el crecimiento. Las plantas que no cumplían con estos criterios de selección fueron eliminadas para evitar el posible cruzamiento con aquellas

seleccionadas. Se evitó la presencia de voluntarios alrededor de la parcela de selección para impedir el flujo génico y problemas de contaminación. El detalle del esquema y criterios de selección se muestran en la Tabla 6.1 y Figura 6.1.

**Tabla 6.1.** Detalle del esquema de mejoramiento y criterios de selección realizados.

Generación (año)	Sitio	Esquema de mejoramiento	Criterio de selección
G <sub>1</sub> (2008)	UNS-DA	En bandejas multi-celdas se criaron ~3000 plántulas bajo condiciones de invernáculo. Las plántulas selectas se trasplantaron luego de cuatro semanas (n = 1382) al campo experimental durante el mes de mayo. Se seleccionaron y cosecharon 212 plantas. Las semillas trilladas (636 g) conformaron la G <sub>1</sub> .	<u>Plántulas:</u> Individuos con $\geq 2$ ramificaciones axilares de $> 1$ cm y buen aspecto visual. <u>Campo:</u> A dos meses del trasplante se seleccionaron individuos con $> 4$ tallos planta <sup>-1</sup> y tallos $> 5$ cm, buena sanidad (sin manchas foliares). En la floración (octubre) se seleccionaron individuos en forma visual con buen desarrollo (indirectamente $> 20,6 \pm 5,1$ g peso seco planta). El peso seco aproximado de las plantas seleccionadas se obtuvo indirectamente mediante el peso seco de una muestra de las plantas eliminadas (n = 50). Asimismo, las plantas seleccionadas se encontraban sin manchas foliares en las hojas superiores y abundante floración (todos los tallos con racimos florales con $> 20$ flores racimo <sup>-1</sup> ). A cosecha (diciembre) se eligieron las plantas que presentaban una madurez determinada ( $> 80\%$ vainas marrones) y se cosecharon el total de las semillas de aquellas plantas que tenían un nivel bajo de vaneos ( $\approx < 20\%$ de las vainas planta <sup>-1</sup> ).
G <sub>2</sub> (2009)	EEA-H.A.	Se criaron ~3000 plántulas en bandejas multi-celdas bajo condiciones de laboratorio, durante cuatro semanas. Se trasplantaron (n = 971). Se seleccionaron y cosecharon 96 plantas. Las semillas trilladas (318 g) conformaron la G <sub>2</sub> .	A los 10 días después de la siembra se seleccionaron 1589 plántulas por su rápido establecimiento (plántulas con 2 hojas expandidas). El resto de las plántulas establecidas fueron eliminadas ( $\approx 4.400$ ). Luego de 3 meses de la siembra se seleccionaron las plantas con crecimiento vigoroso ( $> 5$ tallos planta <sup>-1</sup> y tallos $> 7$ cm) y buena sanidad (sin manchas foliares). A mediados de septiembre se cortaron las plantas (2 cm altura) con el fin de evaluar el rebrote y se seleccionaron aquellas que mostraron una floración abundante, con desarrollo foliar y madurez determinada. Se cosecharon (diciembre) el total de las semillas de aquellas plantas (443 plantas) que tenían un nivel bajo de vaneos ( $< 20\%$ de las vainas planta <sup>-1</sup> ).
G <sub>3</sub> (2010)	EEA-H.A.	Se sembró en forma directa con sembradora experimental (Indecar Baumer SPN4G) parte de la semilla cosechada en G <sub>2</sub> en un marco de siembra de 0,2 x 1,0 m en parcela de 1200 m <sup>2</sup> . Se seleccionaron y cosecharon un total de 443 plantas. Las semillas trilladas (1150 g) se mezclaron y fueron utilizadas en el año siguiente previo análisis de la calidad.	

G <sub>4</sub> (2011)	EEA-H.A.	Incremento y estabilización de la semilla cosechada de G <sub>3</sub> . Siembra a campo (abril) en una macro-parcela de 400 m <sup>2</sup> . Eliminación de plantas fuera de tipo, evaluación de la estabilidad. En diciembre se cosechó un total de 38 kg. Simultáneamente se realizó un ensayo comparativo con el cv. Tolse FCA de producción de biomasa a floración y semillas. Se guardaron en cámara 10 kg y el resto se utilizó para comenzar a multiplicar dando origen a la Línea Experimental ASCASUBI INTA.
2012	EEA-H.A.	Primer incremento de semilla de la línea experimental (L.E.). Siembra de 1 ha en mayo. Eliminación de plantas fuera de tipo, evaluación de la estabilidad. Se cosecharon 205 kg de semilla limpia.
2013	EEA-H.A.	Segundo incremento de semilla. Siembra de 1,5 ha en abril. Eliminación de plantas fuera de tipo, evaluación de la estabilidad. Se cosecharon 390 kg de semilla limpia. Simultáneamente se realizó un ensayo comparativo con el cv. Tolse FCA de producción de biomasa a floración y semillas.
2014	EEA-H.A.	Tercer incremento de semilla. Siembra de 2,5 ha en mayo. Se cosecharon 610 kg de semilla limpia que se almacenaron en cámara fría (< 10°C). Simultáneamente se realizó un ensayo comparativo con el cv. Tolse FCA de producción de biomasa a floración y semillas. Siembra en invernáculo y a campo para la descripción del legajo y presentación.



**Figura 6.1.** Mejoramiento de Ascasubi INTA. Fotos del campo de evaluación de variedades *landraces* (a y b), selección masal (b y d). Vista de plantas seleccionadas en estado vegetativo (e), y reproductivo (f). Campo de estabilización e incremento (g y h).

#### **6.2.4 Evaluación e Inscripción en el INASE**

Previamente a las gestiones para la inscripción del cultivar se evaluó la producción de biomasa y rendimiento de semilla de la L.E. Ascasubi INTA en relación al único cultivar inscrito en el catálogo nacional de cultivares<sup>19</sup>, denominado Tolse FCA, con licencia vigente y posibilidad de uso como testigo comparable.

Las evaluaciones se realizaron durante los años 2011, 2013 y 2014 en el campo experimental de la EEA H. Ascasubi (39° 22' S, 62° 39' W). Las características del suelo se detallan en la Sección 3.2.2. La densidad objetivo fue de 50 plantas m<sup>-2</sup> con dosis de siembra de 20-25 kg/ha en hileras distanciadas a 0,20 m. El diseño fue en bloque completos al azar (n=4) y unidades experimentales (UE) de 10 m<sup>2</sup> en 2011 y 2013 y 60 m<sup>2</sup> en 2014. La biomasa a floración se determinó mediante muestreo de 0,25 m<sup>2</sup> por UE, llegando a peso constante, en estufa a 60°C. El rendimiento total de semilla se estimó mediante el peso de las semillas obtenidas por trilla manual de las vainas cosechadas en la superficie de 0,25 m<sup>2</sup>, con un contenido de humedad entre 9 y 11%. Asimismo, se cuantificaron variables morfológicas y fenológicas. Estas últimas correspondientes a la fecha de floración y madurez. Las variables morfológicas fueron evaluadas con el 50% de floración del cultivo, con la presencia de 2-3 inflorescencias en los 5 nudos superiores del tallo, en la hoja/inflorescencia correspondiente al 4<sup>to</sup> nudo superior (n = 50). Los parámetros que se determinaron fueron; foliolos por hoja (n), ancho y largo del foliolo basal y apical (mm), flores por racimo (n). En los foliolos ubicados en la base y el ápice de la hoja se cuantificó el largo y ancho (mm) con calibre digital. Las semillas por vainas (n) fueron cuantificadas en el momento de madurez (n =100). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA con software Infostat (2018).

Asimismo, en 2014 y 2016 se comparó en producción de biomasa invernal y primaveral de L.E. Ascasubi INTA con una de las accesiones *landrace* original (Bordenave) y los cultivares de EU con presencia nacional (Capello y Savane). La otra accesión *landrace* original (Médanos) no se utilizó debido a la declinación casi absoluta del poder germinativo (< 30%), posiblemente debido a que la semilla se obtuvo de un productor local en el año 2005. La metodología de evaluación se detalló en la Sección 3.2.2.

La inscripción en el INASE se realizó de acuerdo a los requerimientos para inscribir variedades vegetales en el Registro Nacional de Cultivares<sup>20</sup> (RNC) presentando el legajo de la variedad con los correspondientes anexos (I a IV). Las gestiones ante el INASE las realizó la Dirección Nacional Asistente de Vinculación Tecnológica y Relaciones Institucionales de INTA.

### **6.2.5 Comercialización**

La comercialización del cultivar se realizó por intermedio del Criadero El Cencerro<sup>21</sup> mediante un convenio de transferencia de tecnología (TT 25092), aprobado por el Centro Regional Buenos Aires Sur en el año 2017. Posteriormente en el año 2018 El Cencerro realizó las gestiones para la inscripción del material de VV en el registro de variedades en EEUU<sup>22</sup> y en la Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas (AOSCA)<sup>23</sup>, bajo la denominación Patagonia INTA. A partir del año 2019 esta variedad es comercializada en EEUU por la empresa Smith Seed Services<sup>24</sup>, utilizando semilla fiscalizada producida en Argentina.

## **6.3 Resultados**

### **6.3.1 Evaluación de Ascasubi INTA**

Durante los tres años de evaluación, la L.E. Ascasubi INTA se destacó sobre Tulse FCA en producción de biomasa en floración y rendimiento de semilla (Figura 6.2). Además de la diferenciación de otros rasgos morfológicos y fenológicos entre ambos genotipos (Figura 6.4). La L.E. Ascasubi INTA tuvo un ciclo más prolongado, mayor tamaño de hojas

---

<sup>19</sup> <https://gestion.inase.gov.ar/consultaGestion/gestiones>

<sup>20</sup> <https://www.argentina.gob.ar/inscribir-variedades-vegetales-en-el-registro-nacional-de-cultivares>

<sup>21</sup> <http://www.criaderoelcencerro.com.ar/>

<sup>22</sup> <https://www.ams.usda.gov/services/seed-testing/variety-name-list>

<sup>23</sup> [https://www.naaic.org/varietyaps/lists/2019AlfalfaReport\\_FINAL.pdf](https://www.naaic.org/varietyaps/lists/2019AlfalfaReport_FINAL.pdf)

<sup>24</sup> <https://www.smithseed.com/seed/cover-crops/vetch/patagonia-inta>

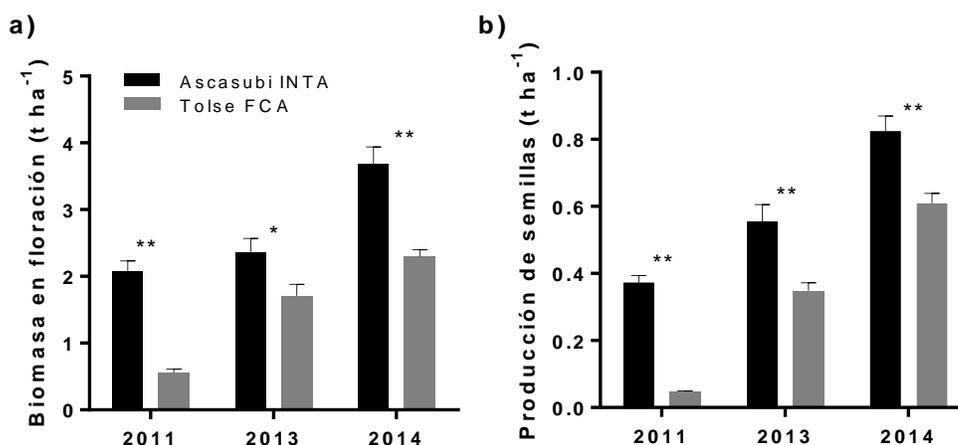
y foliolos, mayor número de flores por racimo y semillas por vaina, que el cultivar Tolse FCA (Tabla 6.2 y 6.3).

**Tabla 6.2.** Fecha de floración y madurez para ambos cultivares evaluados durante 3 ciclos en la EEA H. Ascasubi del INTA.

Cultivar	2011		2013		2014		Media	
	Floración	Madurez	Floración	Madurez	Floración	Madurez	Floración	Madurez
Tolse F.C.A	30-sep	07-dic	02-oct	22-nov	02-oct	01-dic	01-oct	30-nov
L.E. Ascasubi INTA	15-oct	15-dic	28-oct	18-dic	29-oct	17-dic	24-oct	16-dic
ANOVA	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p<0,01$

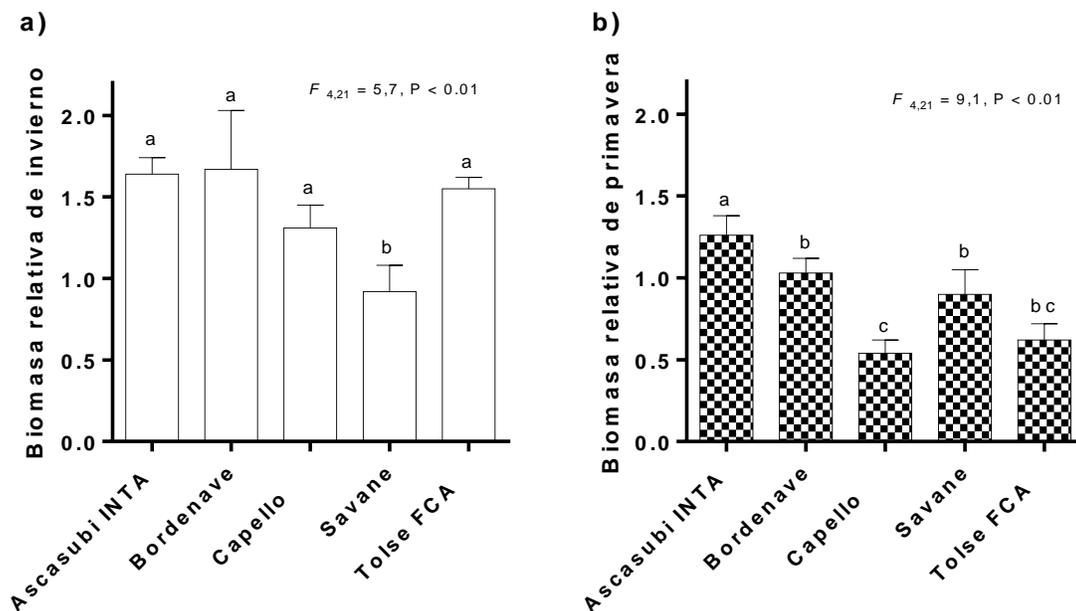
**Tabla 6.3.** Variables morfológicas diferenciables para Tolse FCA y la L.E. Ascasubi INTA (media  $\pm$  desvío estándar).

Variable	Tolse FCA		L.E. Ascasubi INTA		ANOVA
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Foliolos hoja <sup>-1</sup> (n)	10,1	1,2	14,4	1,6	$p<0,01$
Ancho del foliolo basal (mm)	5,6	1,1	6,9	0,9	$p<0,01$
Largo del foliolo basal (mm)	18,4	3,6	28,0	5,8	$p<0,01$
Ancho del foliolo apical (mm)	4,7	1,0	6,4	0,6	$p<0,01$
Largo del foliolo apical (mm)	12,5	2,2	19,5	2,9	$p<0,01$
Flores racimo <sup>-1</sup> (n)	13,6	3,0	28,1	5,4	$p<0,01$
Semillas por vaina (n)	3,8	0,2	4,7	0,4	$p<0,01$



**Figura 6.2.** Producción de biomasa en floración (a) y de semilla (b) para Ascasubi INTA y Tolse FCA (media  $\pm$  error estándar). ‘\*\*\*’ indica significancia a  $p<0,01$  y ‘\*’ a  $p<0,05$ .

En el jardín común, L.E. Ascasubi INTA fue superior en producción de biomasa durante invierno en relación a Savane, y superior al resto de los genotipos en la producción de biomasa en primavera (Figura 6.3).



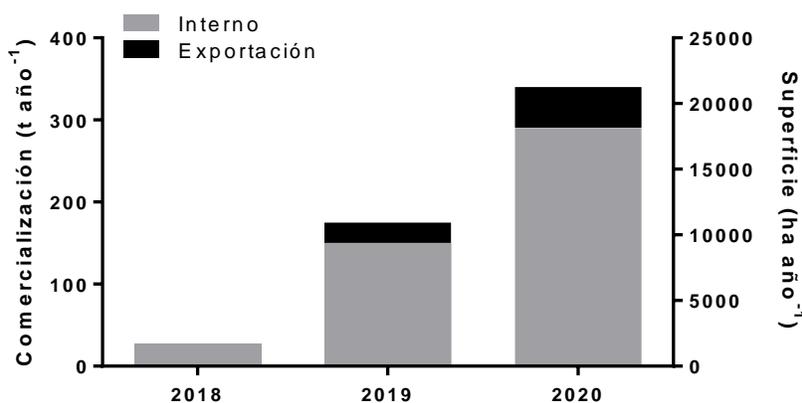
**Figura 6.3.** Biomasa relativa de invierno y de primavera de cada accesión (media ± error estándar), respecto a la biomasa total promedio de todos los materiales evaluados en cada año en un jardín común durante 2014 y 2016 en la EEA H. Ascasubi (Sección 3.2.2).



**Figura 6.4.** Detalle de los foliolos (a), inflorescencia (b), tolerancia al frío (c) y semillas (d) de Ascasubi INTA.

### 6.3.2 Difusión comercial

El programa de mejoramiento de VV generó la inscripción del cultivar Ascasubi INTA en el Catálogo Nacional de Cultivares del INASE<sup>25</sup>. Este cultivar se comenzó a comercializar en la campaña 2018 por el Criadero El Cencerro<sup>26</sup>. Los volúmenes de ventas para el mercado interno en 2018 fueron de 27 t, en 2019 de 150 t, y esta última campaña de 280 t. Asimismo la exportación bajo la denominación Patagonia INTA alcanzó 25 t en 2019, y 50 t en 2020. Considerando una dosis de siembra media para la variedad, de 15 kg ha<sup>-1</sup>, emerge que, a nivel nacional, la difusión del cultivar alcanzó alrededor de 22.000 ha., resultando un 15% de este valor la superficie sembrada en el exterior (Figura 6.5).



**Figura 6.5.** Difusión del cultivar Ascasubi INTA en toneladas comercializadas y estimación de la superficie sembrada con la semilla legal.

### 6.4 Discusión

La generación de tecnología de manejo del cultivo durante estos últimos años produjo un avance en la adopción de VV (Renzi y Cantamutto 2013). No obstante, con la inscripción y difusión del cultivar Ascasubi INTA la utilización en los sistemas de producción comenzó a prestar atención en la identidad varietal de los genotipos utilizados. En 2019, la empresa Gentos inscribió el cultivar de VV denominado NitroMax, que se orienta a un mercado

<sup>25</sup> <https://gestion.inase.gov.ar/consultaGestion/gestiones>

<sup>26</sup> <http://www.elcencerro.com/forrajeras.php>

similar al de Ascasubi INTA. Esto resalta que el mejoramiento de VV en el mercado nacional volvió a mostrar interés por parte de las empresas comercializadoras de semillas, posiblemente haciendo foco en los CC.

Ascasubi INTA ha mostrado un destacado comportamiento en relación a las variedades difundidas con identidad varietal (Figura 6.2 y 6.3). En otras experiencias se demostró que el cultivar o L.E. Ascasubi INTA tuvo una mayor producción en relación a los cultivares Capello y Savane (Molinari 2013) y otras variedades *landraces* (Recarte 2012; Martel 2019), con excelente adaptación en varias localidades de la región Pampeana en estudios realizados por Aapresid<sup>27,28</sup> y el INTA (Figura 6.6).

En evaluaciones experimentales realizadas en Mississippi, Carolina del Sur y Tennessee, Ascasubi INTA (= Patagonia INTA) mostró una excelente tolerancia al frío, con muy buena producción de biomasa como cobertura<sup>29, 30</sup> y demostró excelente aptitud para pastoreo<sup>31</sup> (White y Rushing 2019; Sykes et al. 2020). Actualmente, Ascasubi INTA se encuentra en proceso de inscripción en Uruguay y Alemania. En Uruguay, en mezcla con centeno el germoplasma también ha demostrado una buena productividad (Grahmann et al. 2020).

---

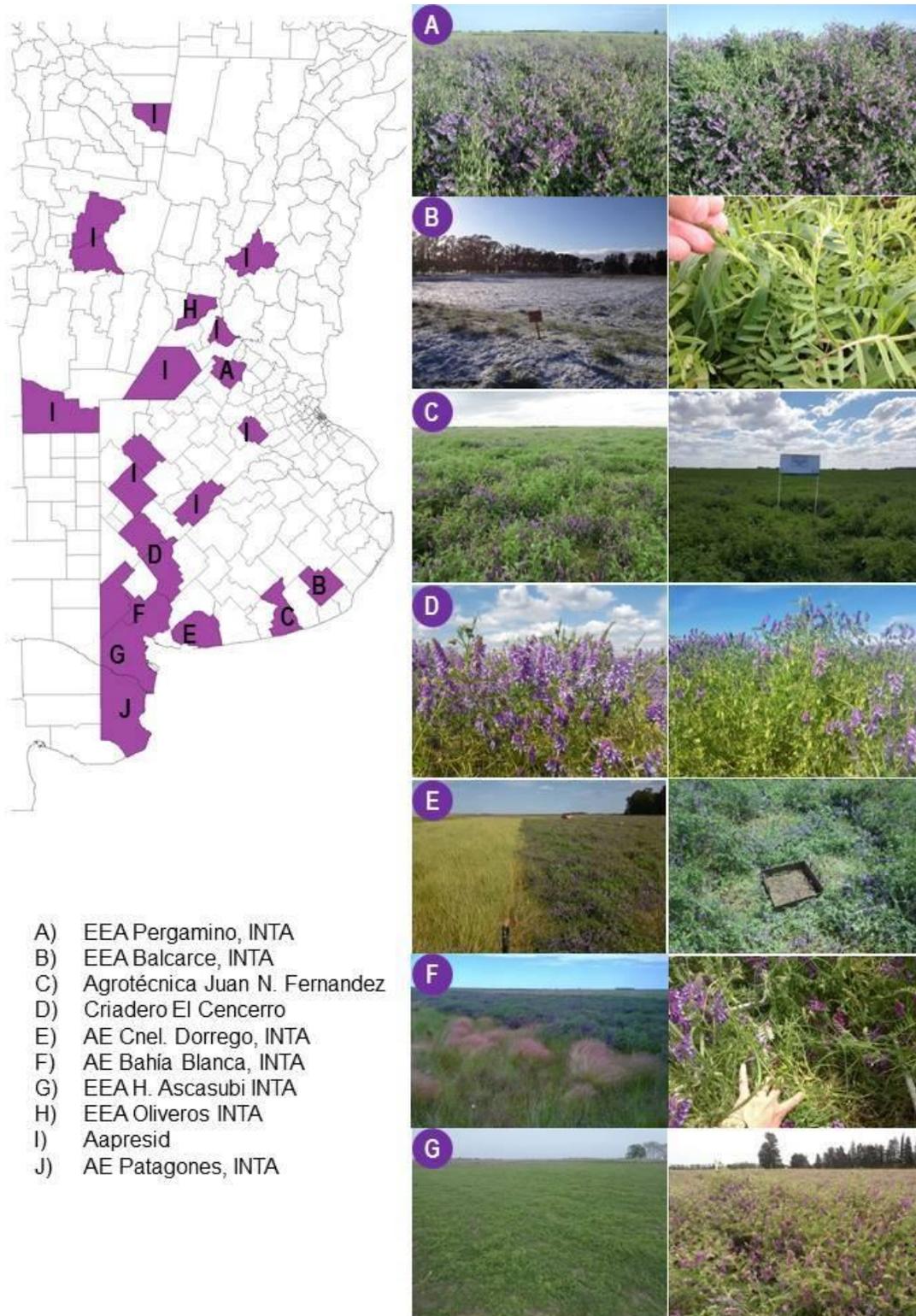
<sup>27</sup> [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Red-de-Cultivos-de-Servicios-2018-2019-Informe-de-Avances-Digital\\_2.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Red-de-Cultivos-de-Servicios-2018-2019-Informe-de-Avances-Digital_2.pdf)

<sup>28</sup> <https://www.aapresid.org.ar/blog/ya-esta-disponible-el-nuevo-informe-de-la-red-cultivos-de-servicios/>

<sup>29</sup> <https://www.smithseed.com/clover-and-cover-crop-trials-2020> [video #2]

<sup>30</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=q8R4vTxaT9I&feature=youtu.be>

<sup>31</sup> <https://www.smithseed.com/grazing-vetch-and-pea-observations-2019>



**Figura 6.6.** Evaluaciones realizadas con el cultivar o línea experimental (L.E.) Ascasubi INTA en diferentes localidades de la Región Pampeana durante los años 2013 a 2019.

## 7 CAPITULO VII

### PROSPECTIVA FUTURA

#### 7.1 Conservación de germoplasma

Como en el resto de los cultivos, los recursos fitogenéticos de la VV son las variedades cultivadas, ecotipos locales (*landraces*), variedades tradicionales u obsoletas, las líneas de mejora o avanzadas y los parientes silvestres cuyo uso puede ser directo o indirecto (en inglés, Crop Wild Relatives - CWR). La conservación de germoplasma resulta imprescindible para tener reserva de genes que amplíen la capacidad para dar respuesta a nuevas condiciones y necesidades de los agroecosistemas. Esto incluye hacer frente a los efectos adversos del cambio climático. Es menester detener la erosión genética que ocurre por el estrechamiento de la base genética de los cultivos (De la Rosa 2013).

Las colecciones nacionales de germoplasma<sup>32</sup> de VV, no reflejan su valor potencial como cultivo. A nivel mundial el total de accesiones de VV conservadas en bancos de germoplasma totaliza 2147 entradas, según datos del sistema mundial de recursos fitogenéticos de FAO<sup>33</sup>.

El estado de la colección de trabajo de VV mantenida en la EEA Hilario Ascasubi, producto de esta Tesis (Capítulo II) está integrado por 123 entradas. Más de la mitad de las accesiones son de origen nacional, aunque también se cuenta con accesiones procedentes de Europa, colectadas en regiones correspondientes a países de Europa del Este, y también Australia, Francia y Alemania. Más del 75% de las entradas conservadas en Hilario Ascasubi son poblaciones naturalizadas o *landraces*.

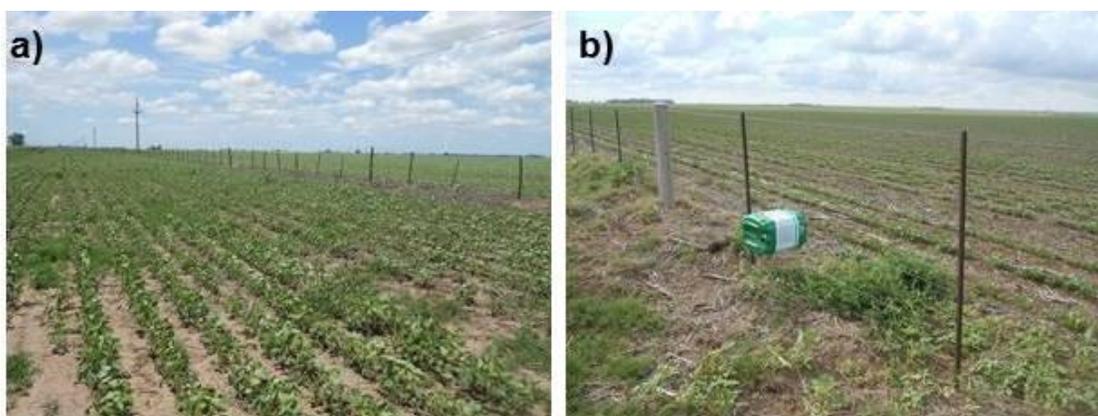
Las poblaciones naturalizadas de Argentina se recolectaron en ambientes disturbados por acción antrópica entre caminos y cultivos agrícolas (banquinas). Algunas poblaciones observadas durante las colectas no persistieron en ciclos posteriores debido a que fueron destruidas por laboreo, cortes mecánicos, aplicación de herbicidas o reemplazo por cultivos.

---

<sup>32</sup> <http://redgen.inta.gob.ar>

<sup>33</sup> <http://www.fao.org/wiews>

El mantenimiento de franjas como refugio de la VV y de otras especies vegetales acompañantes, podría considerarse como una estrategia de bajo costo para la conservación de las poblaciones *in situ* (Vincent et al. 2019), con múltiples beneficios ecosistémico (D'Acunto et al. 2014; Morrison et al. 2017). En los ambientes de mayor productividad agrícola de la región Pampeana es frecuente observar que las banquinas estén completamente desmalezadas mediante la aplicación de herbicidas totales o cultivadas. Estas prácticas excluyen que estos hábitats puedan valorizarse como áreas de conservación de la biodiversidad (Figura 7.1).



**Figura 7.1.** Manejo de banquinas con siembra de cultivos y aplicación de herbicidas en algunos sitios de la región Pampeana.

## **7.2 Zona diferencial para la producción de semillas con aprovechamiento de la resiembra**

La región del sudoeste bonaerense y oeste de La Pampa se caracteriza por poseer un clima templado semiárido con gran variabilidad espacio-temporal en las precipitaciones (Campo et al. 2004; Laborde et al. 2006). Los sistemas de producción predominantes en esa región son ganadero-agrícolas. Los recursos forrajeros suelen ser verdes de invierno, fundamentalmente avena, pasturas perennes y pastizales naturales. Los principales cultivos de grano son trigo, avena y cebada (Iurman et al. 2008).

Esta región se presenta como un área potencial para la producción nacional de semillas de VV debido a la notoria adaptación de la especie a este ambiente semiárido (Sección 2.3). El desarrollo de una especialización para la producción de semilla permitiría captar las oportunidades de exportación a países como EEUU. Allí la VV se utiliza como CC en no menos de 6,2 millones de ha, un área con potencial de crecimiento debido a su elevada producción de biomasa y resistencia al frío (Kissing Kucek et al. 2019).

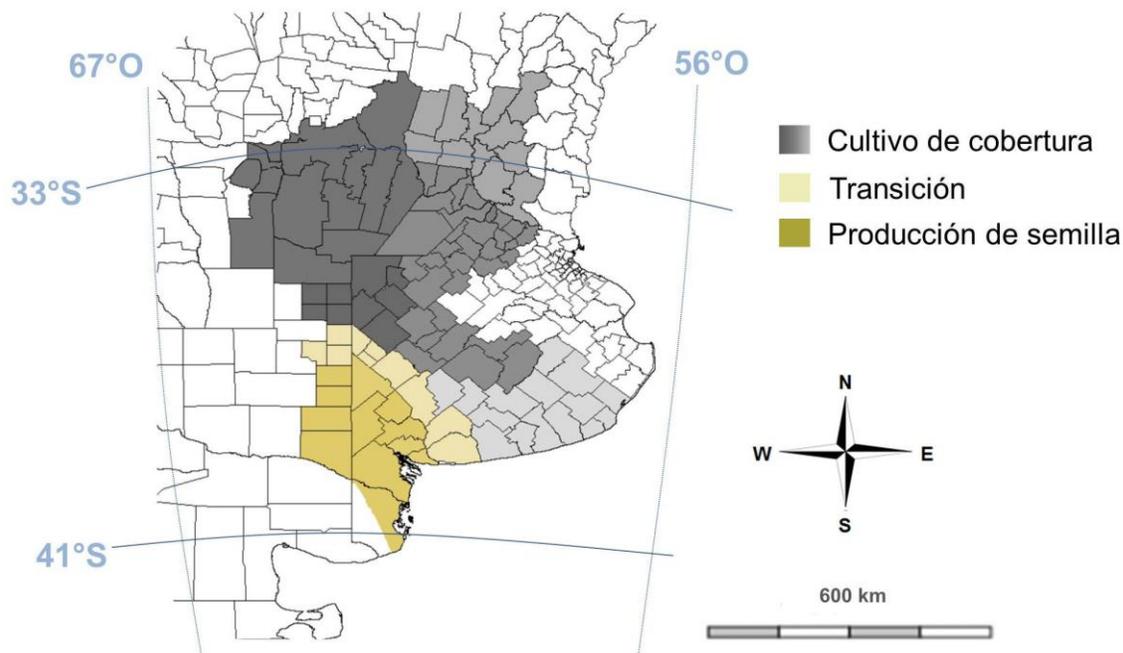
En una planificación nacional es posible la producción de semillas en una zona especializada y la utilización en ambientes donde los CC de VV muestran potencial (Pinto et al. 2017). En la Figura 7.2 se delimitan las áreas con aptitud potencial por destino y aquellas de transición en el cual la utilización puede ser dual, en función de las condiciones climáticas del año. Considerando que la zona productora de semilla de VV se solaparía con la que existe ocurrencia de poblaciones naturalizadas y la marcada alogamia de la especie (Zhang y Mosjidis 1995; 1998), es prioritario establecer prácticas de manejo para tener condiciones de aislamiento adecuadas debido al posible riesgo de flujo génico.

El conocimiento de la demografía de la especie profundizado en esta Tesis permitirá desarrollar protocolos de manejo para que las nuevas variedades mejoradas mantengan la pureza genética durante el incremento de semillas.

El modelo de emergencia desarrollado en esta Tesis fue validado con redes neuronales artificiales (Chantre et al. 2018). Esa aproximación permitió poner a disposición de los usuarios interesados una aplicación web que permite estimar la emergencia de varias especies de interés agronómico, incluyendo a la VV (Díaz et al. 2019). El sistema al cual puede accederse en un sitio de internet público<sup>34</sup>, puede emplearse como herramienta para la toma de decisiones.

---

<sup>34</sup> <http://pronostico-malezas.frbb.utn.edu.ar/>



**Figura 7.2.** Propuesta de zonificación de la producción de semilla de *Vicia villosa*, aprovechamiento de la resiembra natural (marrón oscuro) y áreas con mayor (gris oscuro) a menor (gris claro) difusión como cultivo de cobertura o de servicio, según Madias 2020. Los departamentos con color marrón claro corresponden a áreas de transición donde los dos fines serían posibles.

### 7.3 Desarrollo de cultivares superiores

Actualmente el programa de mejoramiento de la EEA Hilario Ascasubi se encuentra focalizado en la selección de genotipos con baja dormición física (PY) y alta tasa de crecimiento invernal, mediante selección recurrente fenotípica a campo con control de la polinización. Para este objetivo se realizaron cruzamientos entre accesiones nacionales con otras de origen europeo. Estos últimos debido a que han mostrado bajos niveles de PY (Sección 3.3.1).

La liberación de cultivares con bajo a nulo PY reducirá la aparición de plantas voluntarias en las rotaciones donde la VV se destina para CC o en rotaciones con cereales de invierno. Esta aparición se puede producir cuando los lotes se destinan para producción de semillas con incorporación de las mismas al banco de suelo o también cuando los CC

de VV no son controlados en su totalidad durante primavera con anterioridad a la siembra del cultivo principal.

En los CC de VV, el control mecánico con rolo utilizado en forma previa a que la especie alcance el estadio fenológico de completa floración, suele ser incompleto (Keene et al. 2017). En esas condiciones, las plantas pueden rebrotar y reproducirse en el cultivo de verano que lo sigue (maíz o soja), recargando de semillas al banco de suelo, lo cual posibilitará la emergencia en los cultivos posteriores de la rotación. Contar con variedades con bajo nivel de PY posibilitará que la emergencia de las semillas del banco de suelo ocurra en forma previo a la siembra del cereal de invierno, pudiéndose eliminar mediante herbicidas o laboreos mecánicos (Travlos et al. 2020).

## 8 CONCLUSIONES

**Hipótesis 1.1.** La distribución geográfica de las poblaciones espontáneas de *V. villosa* está asociada a las condiciones ambientales y ecológicas de los hábitats ocupados

Se acepta esta hipótesis.

Las poblaciones de VV se naturalizaron en un rango geográfico comprendido entre 33-41°S de latitud y 60-66°O de longitud. Se determinó que los nichos ocupados se asociaron con áreas perturbadas, suelos neutros a alcalinos, textura gruesa, y buena capacidad de drenaje. También se restringió a un rango climático con 400-800 mm de lluvia y 11-13,6 °C de temperatura media anual, en el cual las bajas precipitaciones y las temperaturas cálidas durante los meses de verano explicaron la distribución potencial de las poblaciones.

**Hipótesis 1.2.** Las poblaciones naturales de *V. villosa* poseen una elevada biodiversidad genotípica que se expresa en el fenotipo observado en un jardín común.

Se acepta esta hipótesis parcialmente.

Si bien se observó diversidad genotípica de las poblaciones naturalizadas de VV en 11 atributos de los 13 evaluados, estas no estuvieron asociadas al sitio de origen. Asimismo, el análisis canónico discriminante no mostró divergencias fenotípicas marcadas entre las poblaciones nacionales, aunque si se diferenciaron de las provenientes de EU.

**Hipótesis 2.1.** La dormición y germinación de la *V. villosa* están asociadas al establecimiento de la especie bajo sistemas agrícolas y es posible predecir su patrón de emergencia mediante un modelo mecanístico.

Se acepta esta hipótesis.

Mediante la influencia de las variables térmicas e hídricas sobre la regulación de la salida de la dormición y la germinación en VV fue posible desarrollar un modelo mecanicista de

emergencia, inédito para la especie. Este modelo se validó durante siete ciclos, mostrando una elevada robustez.

**Hipótesis 3.1.** Los parámetros poblacionales de *V. villosa* relacionados con la producción y dispersión de semillas, dinámica del banco de semillas en el suelo y patrón de emergencia a campo, permitirán desarrollar un modelo demográfico de simulación para orientar estrategias de manejo en secuencias de *V. villosa* y cultivos de cereales de invierno.

Se acepta esta hipótesis.

Los parámetros poblacionales permitieron identificar los puntos vulnerables que condicionan el ciclo de vida de la VV en secuencias de la especie y cultivos de cereales. Estos parámetros se pudieron integrar en un modelo demográfico que fue validado.

**Hipótesis 4.1.** La biodiversidad del germoplasma de *V. villosa* desarrollada y conservada en los agroecosistemas del país puede emplearse para seleccionar poblaciones mejoradas de la especie para diferentes objetivos de uso del cultivo.

Se acepta esta hipótesis.

El germoplasma desarrollado y conservado en los agroecosistemas del país se puede emplear para la selección de poblaciones mejoradas de la especie para diferentes objetivos de uso del cultivo. Este germoplasma ya se utilizó para el mejoramiento e inscripción en los Registros Oficiales del cultivar denominado Ascasubi INTA, que alcanzó difusión comercial nacional y en el exterior del país. Actualmente se está finalizando el tercer ciclo de selección recurrente fenotípica en cuatro poblaciones promisorias de la especie.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Aapresid.** 2018. Cultivos de cobertura en Argentina. ¿Qué se está haciendo y qué falta?. <https://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2018/03/Analisis-encuesta-sobre-CC-web.pdf>.
- **Aarssen, L.W., Hall, I.V., Jensen, K.I.N.** 1986. The biology of Canadian weed: *Vicia angustifolia* L., *V. cracca* L., *V. sativa* L., *V. tetrasperma* (L.) Schreb. and *V. villosa* Roth. *Canadian Journal of Plant Science*, 66, 711-737.
- **Agamennoni, R., Vanzolini, J.I.** 2006a. Diferentes manejos para la vicia y su efecto sobre el rendimiento y la calidad de trigo. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta, Argentina.
- **Agamennoni, R., Vanzolini, J.I.** 2006b. Efecto de la vicia y el pastoreo sobre el rendimiento de trigo en siembra directa. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta, Argentina.
- **Al-Ghzawi, A.A., Samarah, N., Zaitoun, S., Alqudah, A.** 2009. Impact of bee pollinators on seed set and yield of *Vicia villosa* spp. *dasycarpa* (Leguminosae) grown under semiarid conditions. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 65-74.
- **Araújo, MB., Pearson, R.G., Thuiller, W., Erhard, M.** 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11, 1504-1513.
- **Araya, A., Kisekka, I., Gowda, P.H., Vara Prasad, P.V.** 2017. Evaluation of water-limited cropping systems in a semi-arid climate using DSSAT-CSM. *Agricultural Systems*, 150, 86-98.
- **Archer, S., Pyke, D.** 1991. Plant-animal interactions affecting plant establishment and persistence on revegetated rangeland. *Journal of Range Management*, 44, 558-565.
- **Armke, F.W., Scott, C.B.** 1999. Using cattle to disperse seeds for winter forage plants. *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 12, 28-38.
- **Ashworth, A.J., Allen, F.L., Keyser, P.D., Tyler, D.D., Saxton, A.M., Taylor, A.M.** 2015. Switchgrass yield and stand dynamics from legume intercropping based on seeding rate and harvest management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70, 374-384.
- **Assefa, G., Ledin, I.** 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Science and Technology*, 92, 95-111.
- **Ates, S., Feindel, D., El Moneim, A., Ryan, J.** 2013. Annual forage legumes in dryland agricultural systems of the West Asia and North Africa Regions: research achievements and future perspective. *Grass and Forage Science*, 69, 17-31.
- **Baigorria, T., Gómez, G., Cazorla, C., Lardone, A. Bojanich, M., Aimetta, B., Bertolla, A., Cagliero, M., Vilches, D.** 2011. Bases para el manejo de la vicia como antecesor del cultivo de maíz. Jornada de actualización técnica en el cultivo de maíz. Marcos Juárez, Córdoba.

- **Bair, N.B., Meyer, S.E., Allen, P.S.** 2006. A hydrothermal after-ripening time model for seed dormancy loss in *Bromus tectorum* L. *Seed Science Research*, 16, 17-28.
- **Bariotakis, M., Georgescu, L., Laina, D., Oikonomou, I., Ntagounakis, G., Koufaki, M.I., Souma, M., Choreftakis, M., Zormpa, O.G., Smykal, P., Sourvinos, G., Lionis, C., Castanas, E., Karousou, R., Pirintsos, S.A.** 2019. From wild harvest towards precision agriculture: Use of Ecological Niche Modelling to direct potential cultivation of wild medicinal plants in Crete. *Science of the Total Environment*, 694. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133681.
- **Barsky O, Gelman J.** 2009. Historia del Agro Argentino. Editorial Sudamericana. Buenos Aires.
- **Basaran, U., Mut, H., Onal Asci, O., Ayan, I., Acar, Z.** 2012. Germination pattern of naturally grown *Lathyrus* and *Vicia* species to different methods and seedbeds. *International Journal of Plant Production*, 6, 325-336.
- **Baskin, C.C., Baskin, J.M.** 2014. Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination (2<sup>nd</sup> ed.). San Diego: Academic Press.
- **Baskin, J.M., Baskin, C.C., Li, X.** 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*, 15, 139-152.
- **Batlla, D., Benech-Arnold, R.L.** 2015. A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. *Seed Science Research*, 25, 147-158.
- **Bauer, M.C., Meyer, S.E., Allen, P.S.** 1998. A simulation model to predict seed dormancy loss in the field for *Bromus tectorum* L. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1235-1244.
- **Bell, L.W., Moore, A.D., Kirkegaard, J.A.** 2014. Evolution in crop-livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. *European Journal Agronomy*, 57, 10-20.
- **Berger, J.D., Robertson, L.D., Cocks, P.S.** 2002. Agricultural potential of Mediterranean grain and forage legumes: Key differences between and within *Vicia* species in terms of phenology, yield, and agronomy give insight into plant adaptation to semi-arid environments. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49:313-325.
- **Bertolotto, M., Marzetti, M.** 2017. Manejo de malezas problema. Cultivos de cobertura: bases para su manejo en sistemas de producción. *REM-Aapresid*. ISSN N° 2250-5350, 7, 31p.
- **Black, C.A.** 1965. "Methods of Soil Analysis: Part I Physical and mineralogical properties". *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA.
- **Blanco, A.M., Chantre, G.R., Lodovichi, M.V., Bandoni, J.A., López, R.L., Vigna, M.R., Gigón, R., Sabbatini, M.A.** 2014. Modelling seed dormancy release and germination for predicting *Avena fatua* L. field emergence: A genetic algorithm approach. *Ecological Modelling*, 272, 293-300.
- **Booth, B.D., Murphy, S.D., Swanton, C.J.** 2003. Weed ecology in natural and agricultural systems. CABI publishing, London, UK. 303 p.

- **Bradford, K.J.** 1990. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*, 94, 840-849.
- **Bradford, K.J.** 1995. Water relations in seed germination. In: *Seed Development and Germination* (eds. Kigel J and Galili G), 351-396. Marcel Dekker, NY, USA.
- **Bradford, K.J.** 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modelling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.
- **Brandsaeter, L.O., Heggen, H., Riley, H., Stubhaug, E., Henriksen, T.M.** 2008. Winter survival, biomass accumulation and N mineralization of winter annual and biennial legumes sown at various times of year in Northern Temperate Regions. *European Journal Agronomy*, 28, 437-448.
- **Brandsaeter, L.O., Netland, J.** 1999. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in Northern Regions: I. Field experiments. *Crop Science*, 39, 1369-1379.
- **Brandsaeter, L.O., Oismo, A., Tronsmo, A.M., Fykse, H.** 2002. Freezing resistance of winter annual and biennial legumes at different developmental stages. *Crop Science*, 42, 437-443.
- **Brandsaeter, L.O., Smeby, T., Tronsmo, A.M., Netland, J.** 2000. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in Northern Regions: II. Frost resistance study. *Crop Science*, 40, 175-181.
- **Bray, R.H., Kurtz, L.T.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
- **Bullied, W.J., Bullock, P.R. Van Acker, R.C.** 2012a. Modelling soil water retention for weed seed germination sensitivity to water potential. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 812561, 13, doi:10.1155/2012/812561.
- **Bullied, W.J., Van Acker, R.C., Bullock P.R.** 2012b. Review: Microsite characteristics influencing weed seedling recruitment and implications for recruitment modelling. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 627-650.
- **Burkart, A.** 1952. *Las leguminosas Argentinas: Silvestres y cultivadas*. (2<sup>nd</sup> ed.). Buenos Aires, Argentina. Acme Agency.
- **Burkart, R., Bárbaro, N.O., Sanchez, R.O., Gómez, D.A.** 1999. *Eco-Regiones De La Argentina*. Administración de Parques Nacionales. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, Presidencia de la Nación Argentina.
- **Campo, A., Capelli de Steffens, A., Diez, P.** 2004. *El clima del Suroeste bonaerense*. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo. 105 pp.
- **Carlson, J.E., Adams, C.A., Holsinger, K.E.** 2016. Intraspecific variation in stomatal traits, leaf traits and physiology reflects adaptation along aridity gradients in a South African shrub. *Annals of botany*, 117, 195-207.
- **Carr, P.M., Poland, W.W., Tisor L.J.** 2005. Forage legume regeneration from the soil seed bank in Western North Dakota. *Agronomy Journal*, 97, 505-513.

- **Chantre, G.R., Batlla, D., Sabbatini, M.R., Orioli, G.** 2009. Germination parameterization and development of an after-ripening thermal-time model for primary dormancy release of *Lithospermum arvense* seeds. *Annals of botany*, 103, 1291-1301.
- **Chantre G.R., Sabbatini M.R., Orioli G.A.** 2010. An after-ripening thermal-time model for *Lithospermum arvense* seeds based on changes in population hydrotime parameters. *Weed Research*, 50, 218-227.
- **Chantre, G., Vigna, M., Renzi, J.P., Blanco, A.** 2018. A flexible and practical approach for real-time weed emergence prediction based on Artificial Neural Networks. *Biosystems Engineering*, 170, 51-60.
- **Clark, A.** 2007. Managing Cover Crops Profitably. 3rd ed. Handbook series. SARE, College Park, MD.
- **Clark, A.J., Decker, A.M., Meisinger, J.J., Mulford, F.R., Mcintonsh, M.S.** 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agronomy Journal*, 87, 579-585.
- **Colbach N., Mézière D.** 2013. Using a sensitivity analysis of a weed dynamics model to develop sustainable cropping systems. I. Annual interactions between crop management techniques and biophysical field state variables. *Journal of Agricultural Science*, 151, 229-246.
- **Colbach N., Busset H., Yamada O., Dürr C., Caneill J.** 2006. AlomySys: Modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate II. Evaluation. *European Journal of Agronomy*, 24, 113-128.
- **Colbach N., Chauvel B., Darmency H., Tricault Y.** 2011. Sensitivity of weed emergence and dynamics to life-traits of annual spring-emerging weeds in contrasting cropping systems, using weed beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) as an example. *Journal of Agricultural Science*, 149, 679–700.
- **Colbach, N., Dürr, C., Roger-Estrade, J., Caneill, J.** 2005. How to model the effects of farming practices on weed emergence. *Weed Research*, 45, 2-17.
- **Coraglio, J.C., Vieyra, C.A., Nienstedt, E.F.** 2001. Obtención del cultivar “Tolse FCA” de *Vicia dasycarpa* (Ten.). *Agriscientia* 18:59-62.
- **Covas, G.** 1978. Forrajeras indígenas. *Ciencia e Investigación*, 34, 209-213.
- **Crews, T.E., Peoples, M.B.** 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102, 279-297.
- **Crockett, B.C., Mirsky, S., Curran, W.S.** 2012. Hairy vetch seed bank persistence as influenced by mechanical scarification and soil depth. In Proceedings of the Northeastern Weed Science Society (20 pp.). Philadelphia, PA: Northeastern Weed Science Society. [www.newss.org/proceedings/proceedings\\_2012.pdf](http://www.newss.org/proceedings/proceedings_2012.pdf)
- **Curran, W.S., Wallace, J.M., Mirsky, S., Crockett, B.** 2015. Effectiveness of herbicides for control of hairy vetch (*Vicia villosa*) in winter wheat. *Weed Technology*, 29, 509-518.

- **D'Acunto, L., Semmartin, M., Ghera, C.M.** 2014. Uncropped field margins to mitigate soil carbon losses in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 183, 60-68.
- **D'amico, M.B., Calandrini, G.L., González-Andujar, J.L., Chantre, G.R.** 2018. Analysis of different management strategies for annual ryegrass (*Lolium rigidum*) based on a population dynamic model. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28(12), p. 1830041.
- **Dahal, P., Bradford K.J.** 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. *Journal of Experimental Botany*, 41, 1441-1453.
- **Damiano, F., López R.L., Vigna M.R., Moschini R.** 2010. Evaluación del modelo microclimático del suelo STM<sup>2</sup> para estudios de emergencia de plántulas de *Avena fatua*. In: *Proceedings of The I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*, Azul, Buenos Aires, Argentina, pp. 555-561.
- **Davidson, A, Jennions M, Nicotra A.** 2011 Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptative? A meta-analysis. *Ecology Letters*, 14, 419-431.
- **Davis, A.S., Fu, X., Schutte, B.J., Berhow, M.A., Dalling, J.W.** 2016. Interspecific variation in persistence of buried weed seeds follows trade-offs among physiological, chemical, and physical seed defenses. *Ecology and Evolution*, 6, 6836-6845.
- **De La Rosa, L., Lázaro, A., Varela, F.** 2002. Utilización en mejora de la variabilidad morfo-agronómica de *Vicia sativa* L. *Congreso de Mejora Genética de Plantas*. Almería, España. P 319-324.
- **De la Rosa, L.** 2013. Recursos Genéticos. Cap. 3, 53-64. En: *Vicias: Bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana*. 2013. Editores: Juan Pablo Renzi y Miguel A. Cantamutto. Ediciones INTA. 299p.
- **Deaker, R., Roughley, R.J., Kennedy, I.R.** 2004. Legume seed inoculation technology – a Review. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1275-1288.
- **Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W.** 2018. InfoStat version 2018 Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- **Díaz, A.I., Balmaceda, L., Rostagno, A., Aggio, S.L., Renzi, J.P., Vigna, M.R., Chantre, G.R., Blanco A.M., Iparraguirre, J.** 2019. Sistema on-line de predicción de emergencia de malezas. *XI Congreso de Agrolinformática (CAI) – JAIIO*. Salta, Argentina.
- **Drriouech, N., Abou Fayad, F., Ghanem, A., Al-bitar, L.** 2008. Agronomic performance of annual self-reseeding legumes and their self-establishment potential in the Apulia region of Italy. *16th IFOAM Organic World Congress*, Modena, Italy.
- **Duke, J.A.** 1981. Handbook of legumes of world economic importance. New York and London: Plenum Press, 345 pp.

- **Dwivedi, S.L., Ceccarelli, S., Blair, M.W., Upadhyaya, H.D., Are, A.K., Ortiz R.** 2016. Landrace Germplasm for Improving Yield and Abiotic Stress Adaptation. *Trends in Plant Science*, 21, 31-42.
- **Elkins, D.M., Hoveland, C.S., Donnelly, E.D.** 1966. Germination of *Vicia* species and interspecific lines as affected by temperature cycles. *Crop Science*, 6, 45-48.
- **Enneking, D.** 1995. The toxicity of *Vicia* species and their utilisation as grain legumes. 2<sup>nd</sup> Ed. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture. *Occasional Publication N° 6*. University of Western Australia, Nedlands W.A.
- **Enrico, J.M., Piccinetti, C.F., Barraco, M.R., Agosti, M.B., Ecclesia, R.P., Salvagiotti, F.** 2020. Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *European Journal of Agronomy*, 115. doi.org/10.1016/j.eja.2020.126016.
- **Finch-Savage, W.E., Footitt, S.** 2017. Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. *Journal of Experimental Botany*, 68, 843-856.
- **Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., van Velthuisen, H.T., Verelst, L., Wiberg, D.** 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- **Foley, M.E.** 1994. Temperature and water status of seed affect afterripening in wild oat (*Avena fatua*). *Weed Science*, 42, 200-204.
- **Forcella F., Benech-Arnold R.L., Sánchez R., Ghera C.M.** 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67, 123-139.
- **Francis, C.M., Enneking, D., Abd El Moneim, A.** 1999. When and where will vetches have an impact as grain legumes?. En: Knight, R. (ed.) Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21<sup>st</sup> Century. *Proceedings of the Third International Food Legume Research Conference*, Adelaide 1997. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. Vol. 34. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 671-683.
- **Frasier, I., Noellemeyer, E., Amiotti, N., Quiroga, A.** 2017. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. *Field Crops Research*, 214, 104-112.
- **Fuller, D.Q., Allaby, R.** 2009. Seed Dispersal and crop domestication: shattering, germination and seasonality in evolution under cultivation. *Annual Plant Reviews* 38, 238-295.
- **Gama-Arachchige, N.S., Baskin, J.M., Geneve, R.L., Baskin, C.C.** 2011. Acquisition of physical dormancy and ontogeny of the micropyle–water-gap complex in developing seeds of *Geranium carolinianum* (*Geraniaceae*). *Annals of Botany*, 108, 51-64.

- **Gama-Arachchige, N.S., Baskin, J.M., Geneve, R.L., Baskin, C.C.** 2013. Quantitative analysis of the thermal requirements for stepwise physical dormancy-break in seeds of the winter annual *Geranium carolinianum* (Geraniaceae). *Annals of Botany*, 111, 849-858.
- **Gardarin, A., Durr, C., Colbach, N.** 2012. Modelling the dynamics and emergence of multispecies weed seed bank with species traits. *Ecological Modelling*, 240, 123-138.
- **Gardarin, A., Guillemin, J.P., Munier-Jolain, N.M. Colbach, N.** 2010 Estimation of key parameters for weed population dynamics models: Base temperature and base water potential for germination. *European Journal of Agronomy*, 32, 162-168.
- **Gepts, P.** 2002. A comparison between crop domestication, classical plant breeding, and genetic engineering. *Crop Science*, 42, 1780-1790.
- **Ghouse, S.J.M., Jayasuriya, K.M.G.G.** 2018. Seed dormancy in relation to predation and pathogenicity of four tropical Fabaceae species from Sri Lanka. *Ceylon Journal of Science*, 47, 395-403.
- **Gianinetti, A., Cohn, M.A.** 2007. Seed dormancy in red rice: Population-based analysis of dry-afterripening with a hydrotime model. *Seed Science Research*, 17, 253-272.
- **Goar, G.D.** 1934. Vetches and related crops for forage. University of California, Berkeley, California. Circular 336, 18p.
- **Godoy-Bürki, C.** 2015. Diversidad de plantas vasculares en zonas áridas del Noroeste de Argentina (NOA): Patrones de Distribución, Prioridades de Conservación y Cambio climático. *Tesis Doctorado en Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata*. 159p.
- **González-Andujar, J.L., Fernández-Quintanilla, C.** 1993. Strategies for the control of *Avena sterilis* in winter wheat production systems in central Spain. *Crop Protection*, 12, 617-623.
- **González-Andujar, J.L., Fernández-Quintanilla, C.** 2004. Modeling the population dynamics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) under various weed management systems. *Crop Protection*, 23, 723–729.
- **Gorostegui, J.** 1971. Variedades vegetales del INTA. Cultivares creados o introducidos desde 1958. *Colección Agropecuaria del INTA N° 19*. 528 p.
- **Graham C.** 2006. Managing weeds in vetch rotation crops. A guide to integrated weed management in cotton. 5p.
- **Grahmann, K., Quincke, A., Barolín, E., Ciganda, V.** 2020. Cultivos de cobertura: reducción de la erosión y aportes a la nutrición del suelo. El caso de la mezcla de Centeno (*Secale cereale*) con *Vicia Villosa*. *Revista INIA*, 60, 71-74.
- **Grime, J.P., Mason, G., Curtis, A.V., Rodman, J., Band, S.R., Mowforth, M.A.G., Neal, A.M., Shaw, S.** 1981. A comparative study of germination characteristics in a local flora. *Journal of Ecology*, 69, 1017-1059.

- **Hamrick, J.L., Godt, M.J.W.** 1989. Allozyme diversity in plant species. In *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, pp. 43–63. Eds A.H.D. Brown, M.T. Clegg, A.L. Kahler and B.S. Weir. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- **Hanelt, P., Mettin, D.** 1989. Biosystematics of the genus *Vicia* L. (Leguminosae). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 20,199-223.
- **Heap, I.M.** 2020. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org>. Acceso: Julio 2020.
- **Hechenleitner, P.** 2015. Biogeography and Systematics of South American *Vicia* (Leguminosae). *Thesis University of Aberdeen*. 188p.
- **Helliwell, E., Faber-Hammond, J., Lopez, Z.C., Garoutte, A., von Wettberg, E., Friesen, M.L., Porter, S.S.** 2018. Rapid establishment of a flowering cline in *Medicago polymorpha* after invasion of North America. *Molecular Ecology*, 27, 4758-4774.
- **Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., Albert, D. L.** 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773–785.
- **Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A.** 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25:1965-78.
- **Holst, N., Rasmussen, I.A., Bastiaans, L.** 2007. Field weed population dynamics: a review of model approaches and applications. *Weed Research*, 47, 1-14.
- **Horvitz, N., Wang, R., Wan, F-H., Nathan, R.** 2017. Pervasive human-mediated large-scale invasion: analysis of spread patterns and their underlying mechanisms in 17 of China's worst invasive plants. *Journal of Ecology*, 105, 85-94.
- **Hradilová, I., Duchoslav, M., Brus, J., Pechanec, V., Hýbl, M., Kopecký, P., Smrová, L., Stefelová, N., Vaclávek, T., Bariotakis, M., Machalová, J. Hron, K., Pirintsos, S., Smýkal, P.** 2019. Variation in wild pea (*Pisum sativum* subsp. *elatius*) seed dormancy and its relationship to the environment and seed coat traits. *PeerJ* 7:e6263 <http://doi.org/10.7717/peerj.6263>
- **Hu, X., Li, T., Wang J., Wang Y., Baskin C.C., Baskin J.M.** 2013. Seed dormancy in four Tibetan Plateau *Vicia* species and characterization of physiological changes in response of seeds to environmental factors. *Seed Science Research* 23, 133-140.
- **Hudson, A.R., Ayre, D.J., Ooi, M.K.J.** 2015. Physical dormancy in a changing climate. *Seed Science Research*, 25, 66-81.
- **Hyde, E.O.C.** 1954. The function of the hilum in some Papilionaceae in relation to the ripening of the seed and the permeability of the testa. *Annals of Botany*, 11, 241-256.
- **Ibañez, S., Medina, M.I., Agostini, E.** 2019. *Vicia*: a green bridge to clean up polluted environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 13-21.
- **InfoStat.** 2018. Grupo Infostat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- **International Seed Testing Association.** 2019. International Rules for Seed Testing. Zürich: ISTA. 300 pp. doi.org/10.15258/istarules.2019.F.
- **IPGRI.** 2012. International Plant Genetic Resources Institute. [http://www.bioversityinternational.org/about\\_us.html](http://www.bioversityinternational.org/about_us.html).
- **Iurman, D., Marinissen, J., Castoldi, F., Larreguy, V., Agamennoni, R., Perez Pizarro, J., Mosciano, M., Tosi, C.** 2008. Sistemas agropecuarios representativos de Villarino y Patagones. Análisis y propuestas. *Informe EEA. H. Ascasubi* 110p.
- **Ivany, J.A.** 2001. Evaluation of herbicides for control of tufted vetch (*Vicia cracca*) and narrow-leaved vetch (*Vicia angustifolia*). *Crop Protection*, 20, 447-450.
- **Jaaska, V.** 1997. Isoenzyme diversity and phylogenetic affinities in *Vicia* subgenus *Vicia* (*Fabaceae*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44, 557-574.
- **Jaaska, V.** 2005. Isozyme variation and phylogenetic relationships in *Vicia* subgenus *Cracca* (*Fabaceae*). *Annals of Botany*, 96, 1085-1096.
- **Jacobsen, K.L., Gallagher, R.S., Burnham, M., Bradley, B.B., Larson, Z.M., Walker, C.W., Watson, J.E.** 2010. Mitigation of seed germination impediments in hairy vetch. *Agronomy Journal*, 102, 1346-1351.
- **Jannink, J.L., Merrick, L.C., Liebman, M., Dyck, E.A., Corson, S.** 1997. Management and winter hardiness of hairy vetch in Maine. *Technical Bulletin 167*. Maine Agricultural and Forest Experiment Station. 35p.
- **Jones, J.P.** (1928) A physiological study of dormancy in vetch seed. Cornell Univ. Agri. Exp. Sta. Mem. 120, 1-50.
- **Keatinge, J.D.H., Aiming Qi, T.R., Wheeler, R.H., Ellis, R.J., Summerfield, R.J.** 1998. Effects of temperature and photoperiod on phenology as a guide to the selection of annual legume cover and green manure crops for hillside farming systems. *Field Crops Research*, 57,139-152.
- **Keene, C.L., Curran, W.S., Wallace, J.M., Ryan, M.R., Mirsky, S.B., VanGessel, M.J., Barbercheck, M.E.** 2017. Cover Crop Termination Timing is Critical in Organic Rotational No-Till Systems. *Agronomy Journal*, 109, 272-282.
- **Kimball, S., Angert, A.L., Huxman, T.E., Venable, D.E.** 2010. Contemporary climate change in the Sonoran Desert favors cold-adapted species. *Global Change Biology*, 16, 1555-1565.
- **Kissing Kucek, L., Riday, H., Ehlke, N., Reberg-Horton, C., Maul, J., Mirsky, S.B., Pelzer, C.J., Poskaitis, M., Ryan, M.R., Seehaver, S., Wayman, S., Wiering, N.** 2019. Environmental Influences on the Relationship between Fall and Spring Vigor in Hairy Vetch. *Crop Science*, 59, 2443-2454.
- **Kissing Kucek, L., Riday, H., Rufener, B.P., Burke, A.N., Eagen, S.S., Ehlke, N., Krogman, S., Mirsky, S.B., Reberg-Horton, C., Ryan, M.R., Wayman, S., Wiering, N.P.** 2020. Pod Dehiscence in Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth). *Frontiers in Plant Science*, 11:82. doi: 10.3389/fpls.2020.00082.

- **Kluyver, T.A., Charles, M., Jones, G., Rees, M., Osborne, L.P.** 2013. Did greater burial depth increase the seed size of domesticated legumes?. *Journal of Experimental Botany*, 64, 4101-4108.
- **Komatsuzaki, M.** 2007. New weed management strategy using subterranean clover reseeding under different tillage systems: Numerical experiments with the subterranean clover-tillage dynamics model. *Weed Biology and Management*, 7, 3-13.
- **Kucewicz, M., Maćkiewicz, K. and Żróbek-Sokolnik, A.** 2010. Selected aspects of tiny vetch (*Vicia hirsuta* (L.) Gray S.F.) seed ecology: generative reproduction and effects of seed maturity and seed storage on seed germination. *Acta Agrobotanica*, 63, 205-212.
- **Labarthe, A., Pelta, H.** 1971. Informe de Vicias. Agencia Cooperativa de Extensión Rural-INTA Tornquist.
- **Laborde, H.E., Bredan, R.E., Fioretti, M.N.** 2006. Technology and sustainability for the development of the Caldenal. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 99, 297-304.
- **Laliberté, B., L. Maggioni, N. Maxted and V. Negri.** 2000. Report of a joint meeting of a Task Force on Wild Species Conservation in Genetic Reserves and a Task Force on On-farm Conservation and Management, 18-20 May 2000, Isola Polvese, Italy. *International Plant Genetic Resources Institute*, Rome, Italy.
- **Larreguy, OC.** 1982. Catálogo de cultivares creados e introducidos por el INTA de 1970 a 1977. *Colección Agropecuaria del INTA N° 21*. 195 p.
- **Leguizamón, E., Chantre, G.R.** 2014. Modelización de sistemas agronómicos. En: Malezas e invasoras de la Argentina: Ecología y manejo. Fernández, O.A., Leguizamón E.S., Acciaresi, H.A. Bahía Blanca. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns.
- **Linneo, C.** 1735-1770. *Systema naturae* [Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis].
- **Loi, A., Howieson, J.G., Cocks, P.S., Caredda, S.** 1993. The adaptation of *Medicago polymorpha* to a range of edaphic and environmental conditions: effect of temperature on growth, and acidity stress on nodulation and nod gene induction. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33, 25-30.
- **Loi, A., Howieson, J.G., Nutt, B.J., Carr, S.J.** 2005. A second generation of annual pasture legumes and their potential for inclusion in Mediterranean-type farming systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45, 289-299.
- **Loi, A., Nutt, B.J., Howieson, J.G., Yates, R.J., Norman, H.C.** 2012. Preliminary assessment of bladder clover (*Trifolium spumosum* L.) as an annual legume for ley farming systems in southern Australia. *Crop and Pasture Science*, 63, 582-591.
- **Long, R.L., Gorecki, M.J., Renton, M., Scott, J.K., Colville, L., Goggin, D.E., Commander, L.E., Westcott, D.E., Cherry, H., Finch-Savage, W.E.** 2015. The ecophysiology of seed

persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*, 90, 31-59.

- **Longas, M., Chantre, G., Sabbatini, M.** 2016. Soil nitrogen fertilisation as a maternal effect on *Buglossoides arvensis* seed germinability. *Weed Research*, 56, 462-469.
- **Madias, A.** 2020. Cultivos de Servicios: actualidad y perspectivas. *Red de Innovadores*, Aapresid, 182, 30-37.
- **Manganaro, A.** 1919. Leguminosas bonaerenses. In: Anales de la Sociedad Científica Argentina. Eds Carrete, E., Lizer, C. Buenos Aires. p77-264.
- **Marcos Prado, M.T.** 2015. Aplicación de los modelos de nicho ecológico a la conservación del género *Vicia* en la Península e Islas Baleares. *Tesis Ing. Tec. Forestal de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal*, Universidad Politécnica de Madrid. 147p.
- **Martel, M.A.** 2019. Comportamiento y productividad de poblaciones naturalizadas de *Vicia villosa* Roth distribuidas en la Región Semiárida Pampeana. Tesis de grado UNS-DA. 30p.
- **Martínez, E., Renzi, J.P., Matarazzo, R., Schmid, E.** 2008. Efecto de la polinización en cultivos de interés apícola e industrial. *Apitrack R, Información apícola* N° 177.
- **Marzocca, A.** 1994. Guía descriptiva de Malezas en el Cono Sur. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- **Mateo-Box, J.M.** 1961. Leguminosas de grano. Salvat eds Barcelona.
- **Maul, J., Mirsky, S., Emche, S., Devine, T.** 2011. Evaluating a germplasm collection of the cover crop hairy vetch for use in sustainable farming systems. *Crop Science*, 51, 2615-2625.
- **Maxted, N.** 1995. An ecogeographical study of *Vicia* subgenus *Vicia*. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools. 8. Rome: *International Plant Genetic Resources Institute*. 190p.
- **Mayer, D.G., Butler, D.G.** 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling*, 68, 21-32.
- **McGregor, S.E.** 1976. Insect pollinations of cultivated crop plants. Agriculture Service. United States Department of Agriculture. P 369-372.
- **Michel, B.E.** 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology*, 72, 66-70.
- **Miranda, A.O., Bedotti, D.O., Peralighi, S.** 2005. Toxicidad en bovinos producido por *Vicia villosa*. Caso reportado. p94-97 En: Investigación en producción animal 2004. Región subhúmeda y semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica* 88. EEA INTA. Anguil, Argentina.
- **Molinari, M.** 2013. Dinámica de crecimiento aéreo y radicular en *Vicia villosa* Roth. y *Vicia sativa* L. Tesis de grado UNS-DA. 34p.
- **Morrison, J., Izquierdo, J., Hernández Plaza, E., González-Andújar, J.L.** 2017. The role of field margins in supporting wild bees in Mediterranean cereal agroecosystems: Which biotic and abiotic factors are important?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247, 216-224.

- **Nan, Z.B., Abd El Moneim, A.M., Larbi, A., Nie, B.** 2006. Productivity of vetches (*Vicia* spp.) under alpine grassland conditions in China. *Tropical Grasslands*, 40, 177-182.
- **Ni, B.R., Bradford, K.J.** 1992. Quantitative models characterizing seed germination responses to abscisic acid and osmoticum. *Plant Physiology*, 98, 1057-1068.
- **Nichols, P.G.H., Revell, C.K., Humphries, A.W., Howie, J.H., Hall, E.J., Sandral, G.A., Ghamkhar, K., Harris, C.A.** 2012. Temperate pasture legumes in Australia - their history, current use, and future prospects. *Crop and Pasture Science*, 63, 691-725.
- **Nichols, P.G.H., Loi, A., Nutt, B.J., Evans, P.M., Craig, A.D., Pengell, Y.B.C., Dear, B.S., Lloyd, D.L., Revell, C.K., Nair, R.M., Ewing, M.A., Howieson, J.G., Auricht, G.A., Howie, J.H., Sandral, G.A., Carr, S.J., De Koning, C.T., Hackney, B.F., Crocker, G.J., Snowball, R., Hughes, S.J., Hall, E.J., Foster, K.J., Skinner, P.W., Barbetti, M.J., You, M.P.** 2007. New annual and short-lived perennial pasture legumes for Australian agriculture – 15 years of revolution. *Field Crops Research*, 104, 10-23.
- **Norman, H.C., Cokcs, P.S., Galwey, N.W.** 2005. Annual clovers (*Trifolium* spp.) have different reproductive strategies to achieve persistence in Mediterranean-type climates. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 33-43.
- **Nutt, B.J., Loi, A.** 1999. Harvestability of annual Mediterranean pasture legume using conventional crop machinery. In: Proceedings of Fourth international herbage seed conference (78-82). *International herbage seed group. University of Perugia*. Perugia, Italy.
- **Odriozola, E., Paloma, E., Lopez, T., Campero, C.** 1991. An outbreak of *Vicia villosa* (hairy vetch) poisoning in grazing Aberdeen Angus bulls in Argentina. *Veterinary and Human Toxicology*, 33, 278-280.
- **Ooi, M.K.J., Auld, T.D., Denham, A.J.** 2009. Climate change and bet-hedging: interactions between increased soil temperatures and seed bank persistence. *Global Change Biology*, 15, 2375-2386.
- **Oryokot, J.O.E., Murphy, S.D., Thomas, A.G., Swanton, C.J.** 1997. Temperature and moisture dependent models of seed germination and shoot elongation in green and redroot pigweed (*Amaranthus powellii*, *A. retroflexus*). *Weed Science*, 45, 488-496.
- **Ovalle, C.M., Del Pozo, A.L., Avendaño, J.R., Fernández, F.E., Arredondo, S.S.** 2005. Adaptation, growth and production of new annual forage legumes in the Mediterranean Zone of Chile. II. Species performance in granitic soils of the sub-humid interior dryland. *Agricultura Técnica*, 65, 265-277.
- **Ozpinar, S.** 2006. Effects of tillage on productivity of winter wheat-vetch rotation under dryland Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 89, 259-265.
- **Parodi, L.** 1972. Descripción de las plantas cultivadas. Segunda edición. Volumen I. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. ACME. Buenos Aires.

- **Pascher, K., Hainz-Renetzeder, C., Gollmann, G., Schneeweiss, G.M.** 2017. Spillage of viable seeds of oilseed rape along transportation routes: ecological risk assessment and perspectives on management efforts. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 104. doi: 10.3389/fevo.2017.00104.
- **Paulsen, T.R., Colville, L., Daws, M.I., Eliassen, S., Högestedt, G., Kranner, I., Thompson, K. Vandvik, V.** 2015. The crypsis hypothesis explained: a reply to Jayasuriya *et al.* (2015). *Seed Science Research*, 25, 402-408.
- **Pearson, R.G.** 2010. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons in conservation*, 3,54-89.
- **Penfield, S., MacGregor, D.R.** 2017. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. *Journal of Experimental Botany*, 68, 819-825.
- **Perissé, P.** 2015. Respuesta morfo-fisiológicas de la germinación de *Vicia dasycarpa* Ten. cv. Tolse F.C.A. en condiciones de estrés hídrico y salino. *Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias*. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Córdoba. 114p.
- **Petraityte, N., Sliesaravicius, A., Dastikaite, A.** 2007. Potential reproduction and real seed productivity of *Vicia villosa* L. *Biologija*, 53, 48-51.
- **Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R.** 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- **Phillips, S.J., Dudík, M., Schapire, R.E.** 2018. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/).
- **Picciau, R., Pritchard, H.W., Mattana, E., Bacchetta, G.** 2018. Thermal thresholds for seed germination in Mediterranean species are higher in mountain compared with lowland areas. *Seed Science Research*, 29, 44-54.
- **Pinto, P., Fernández Long, M.E., Piñeiro, G.** 2017. Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248, 48-57.
- **Pittman, K.B., Barney, J.N., Cahoon, C.W., Flessner, M.L.** 2019. Influence of hairy vetch seed germination and maturation on weediness in subsequent crops. *Weed Research*, 59, 427-436.
- **Potokina, E.K.** 1997. *Vicia sativa* L. aggregate (*Fabaceae*) in the flora of former USSR. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44, 199-209.
- **Probert, R.J.** 2000. "The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination," in *Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2<sup>nd</sup> Edn, ed. M. Fenner (Wallingford: CABI publishing), 261-292.
- **Puricelli, C.A.** 1996. La consociación avena más vicia en el S.O de Buenos Aires una revisión de antecedentes. *Serie didáctica N° 2*. INTA, EEA Bordenave. p. 14.

- **Radhouane, L.** 2007. Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *African Journal of Biotechnology*, 6, 1102-1105.
- **Ranalli, P., Cubero, J.I.** 1997. Bases for genetic improvement of grain legumes. *Field Crops Research*, 53, 69-82.
- **Rebek, E., Mulder, P.** 2020. Nectar and pollen plants of Oklahoma. Oklahoma Cooperative Extension Service EPP-7155 2pp.
- **Recarte, D.** 2012. Caracterización morfológica y productiva de *Vicia villosa* subsp. *villosa* y *V. villosa* subsp. *dasycarpa*. Tesis de grado UNS-DA. 24p.
- **Rees, R.** 1992. The International and Local Market Prospects for *Vicia* and *Lathyrus*. Proceedings of the *Vicia/Lathyrus* Workshop, Perth, Western Australia. p77.
- **Reid, R., Bettencourt, E., Konopka, J.** 1992. Genetics Resources of *Lathyrus* and *Vicia*, and Associated Quarantine Problems. Proceedings of the *Vicia/Lathyrus* Workshop, Perth, Western Australia. p77.
- **Renzi, J.P.** 2008. Cobertura y producción de biomasa de cultivares y poblaciones de *Vicia* spp. *Revista Argentina de Producción Animal*. 28, 411-412.
- **Renzi, J.P., Cantamutto, M.A.** 2009. Dormancia y germinación en semillas de *Vicia villosa* Roth. *Análisis de Semillas*, 3, 84-89.
- **Renzi, J.P.** 2009. Efecto de la estructura de cultivo y grado de madurez a cosecha sobre el rendimiento y la calidad de semillas de *Vicia sativa* L. y *V. villosa* Roth, bajo riego. *Tesis de Magister en Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional del Sur. 126p.
- **Renzi, J.P., Lasa, J.C., Cantamutto, M.A.** 2010. Caracterización morfológica de semillas de *Vicia* spp. *Actas de I Jornada de mejoramiento genético de forrajeras*. P139.
- **Renzi, J.P., Reinoso, O., Varela, S., García, F., Cantamutto, M.A.** 2011. Distribución y destinos del cultivo de *Vicia* spp. en la Región Pampeana. *Análisis de semillas*, 5, 40-42.
- **Renzi, J.P., Cantamutto, M.A.** 2013. Vicias: Bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana (*Vicias: agronomic bases for management in the Pampas*). Ediciones INTA: Buenos Aires, Argentina, 299p.
- **Renzi, J.P., Chantre, G.R., Cantamutto, M.A.** 2014. Development of a thermal-time model for combinational dormancy release of hairy vetch (*Vicia villosa* ssp. *villosa*). *Crop and Pasture Science*, 65, 470-478.
- **Renzi, J.P., Chantre, G.R., Cantamutto, M.A.** 2016. Effect of water availability and seed source on physical dormancy break of *Vicia villosa* ssp. *villosa*. *Seed Science Research*, 26, 254-263.
- **Renzi, J.P., Chantre, G.R., Cantamutto, M.A.** 2017. Self-regeneration of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) as affected by seedling density and soil tillage method in a semi-arid agroecosystem. *Grass and Forage Science*, 72, 535–544.

- **Renzi, J.P., Duchoslav, M., Brus, J., Hradilová, I., Pechanec, V., Václavek, T., Machalová, J., Hron, K., Verdier, J., Smýkal, P.** 2020b. Physical Dormancy Release in *Medicago truncatula* Seeds Is Related to Environmental Variations. *Plants*, 9, 503. doi.org/10.3390/plants9040503.
- **Restovich, S.B., Andriulo, A.E., Portela, S.I.** 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128, 62-70.
- **Richards L.A.** 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*, **68**, 95-112.
- **Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C.R., Lavado, R.S.** 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70, 112-118.
- **Rolston, M.P.** 1978. Water impermeable seed dormancy. *The Botanical Review*, 3, 1-32.
- **Ruffo, M.L., Parsons, A.T.** 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur N°21*.
- **Samarah, N.H., Allataifeh, N., Turk, M., Tawaha, A.R.** 2003. Effect of maturity stage on germination and dormancy of fresh and air-dried seeds of bitter vetch (*Vicia ervilia* L.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 46, 347-354.
- **Samarah, N.H., Allataifeh, N., Turk, M.A., Tawaha, M.A.** 2004. Seed germination and dormancy of fresh and air-dried seeds of common vetch (*Vicia sativa* L.) harvested at different stages maturity. *Seed Science and Technology*, 32, 11-19.
- **Santana, V., Bradstock, R.A., Ooi, M., Denham, A.J., Auld, T.D. and Baeza, M.** 2010. Effects of soil temperature regimes after fire on seed dormancy and germination in six Australian Fabaceae species. *Australian Journal of Botany*, 58, 539-545.
- **Saxena, M.C., Abd El Moneim, A.M., Ratinam, M.** 1992. Vetches (*Vicia* spp.) and chicklings (*Lathyrus* spp.) in the farming systems in West Asia and North Africa and improvement of these crops at ICARDA. *Proceedings of the Vicia/Lathyrus Workshop*, Perth, Western Australia. p77.
- **Schifino-Wittmann, M.T.** 2000. The cytogenetics and evolution of forage legumes from Rio Grande do Sul: a review. *Genetics and Molecular Biology*, 23, 989-995.
- **Schütz, W., Milberg, P., Lamont, B.B.** 2002. Seed dormancy, after-ripening and light requirements of four annual Asteraceae in south-western Australia. *Annals of Botany*, 90, 707-714.
- **Segura, F., Vicente, M.J., Franco, J.A., Martínez-Sánchez, J.J.** 2015. Effects of maternal environmental factors on physical dormancy of *Astragalus nitidiflorus* seeds (Fabaceae), a critically endangered species of SE Spain. *Flora*, 216, 71-76.
- **Seymour, M., Siddique, K., Brandon, N., Martin, L., Jackson, E.** 2002. Response of vetch (*Vicia* spp.) to plant density in southwestern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42, 1043-1051.
- **Shrestha, A., Thomas, A.G., Swanton, C.J.** 1999. Modelling germination and shoot-radicle elongation of *Ambrosia artemisiifolia*. *Weed Science*, 47, 557-562.

- **Smith, W.** 1913. The Book of Vetch. Indiana, EEUU p220.
- **Smouse, P.E., Long, J.C., Sokal, R.R.** 1986. Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. *Systematic Zoology*, 35, 627-632.
- **Smýkal, P., Vernoud, V., Blair, M.W., Soukup, A. and Thompson, R.D.** 2014. The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Frontiers in Plant Science*, 351, 1-19.
- **Snapp, S.S., Swinton, S.M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J.R., Leep, R., Nyiraneza, J., O'Neil, K.** 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy Journal*, 97, 322-332.
- **Sousa-Ortega, C., Chamber, E., Urbano, J.M., Izquierdo, J., Loureiro, I., Marí, A.I., Royo-Esnaol, A.** 2020. Should emergence models for *Lolium rigidum* be changed throughout climatic conditions? The case of Spain. *Crop Protection*, 128, doi:10.1016/j.cropro.2019.105012.
- **Spokas K., Forcella, F.** 2009. Software tools for weed seed germination modelling. *Weed Science*, 57, 216-227.
- **Sykes, V., Wilson, A., McClure, A.T., Raper, T., Blair, R., Walker, F., Bates, G.** 2020. Cover Crop Variety Tests in Tennessee. Agronomic Crop Variety Testing and Demonstrations Department of Plant Sciences Institute of Agriculture University of Tennessee Knoxville. 34p. <https://milannotill.tennessee.edu/research-tours/> "Tour G: Cover Crops with No-Till"
- **Tate, M., Enneking, D.** 2006. Vetch: from feed to food?. *Grain legume*, 47, 14-15. <http://www.grainlegumes.com>
- **Taylor, G.B., Maller, L.A., Rossiter, R.C.** 1991. A model describing the influence of hard seededness on the persistence of an annual forage legume, in a ley farming system, in a mediterranean-type environment. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 37, 275-301.
- **Teasdale, J.R., Devine, T.E., Mosjidis, J.A., Bellinder, R.R., Beste, C.E.** 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the Northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. *Agronomy Journal*, 92, 1266-1271.
- **Toser, M.G., Ooi, M.K.J.** 2014. Humidity-regulated dormancy onset in the Fabaceae: a conceptual model and its ecological implications for the Australian wattle *Acacia saligna*. *Annals of Botany*, 114, 579-590.
- **Travlos, I., Gazoulis, I., Kanatas, P., Tsekoura, A., Zannopoulos, S., Papastylianou, P.** 2020. Key Factors Affecting Weed Seeds' Germination, Weed Emergence, and Their Possible Role for the Efficacy of False Seedbed Technique as Weed Management Practice. *Frontiers in Agronomy* 2, 1. doi: 10.3389/fagro.2020.00001.
- **Tribouillois, H., Dürr, C., Demilly, D., Wagner, M.H., Justes, E.** 2016. Determination of germination response to temperature and water potential for a wide range of cover crop species and related functional groups *PLoS ONE* 11, e0161185.doi:10.1371/journal.pone.0161185.

- **Uzun, A., Sozen, E. and Acikgoz, E.** 2013. Seed dormancy and germination of *Vicia sativa* subsp. *nigra* and *Vicia sativa* subsp. *macrocarpa*. *Seed Science and Technology*, 41, 137-142.
- **van Assche, J.A. and Vandeloos, F.** (2010) Combinational dormancy in winter annual *Fabaceae*. *Seed Science Research*, 20, 237-242.
- **van Assche, J.A., Debucquoy K.L.A., Rommens, W.A.F.** 2003. Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (*Fabaceae*). *New Phytologist*, 153, 315-323.
- **van de Wouw, M., Enneking, D., Robertson, L.D., Maxted, N.** 2001. Vetches (*Vicia* L.). In 'Plant genetic resources of legumes in the Mediterranean'. (Eds N Maxted, SJ Bennett) pp. 132-157. (Kluwer: Dordrecht, The Netherlands).
- **van de Wouw, M., Maxted, N., Ford-Floyd, B.V.** 2003a. A multivariate and cladistic study of *Vicia* L. ser. *Vicia* (*Fabaceae*) based on analysis of morphological characters. *Plant Systematics and Evolution*, 237, 19-39.
- **van de Wouw, M., Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V.** 2003b. Agro-morphological characterization of common vetch and its close relatives. *Euphatica*, 130, 281-292.
- **van Klinken, R.D., Flack, L.** 2005. Wet heat as a mechanism for dormancy release and germination of seeds with physical dormancy. *Weed Science*, 53, 663-669.
- **van Zonneveld, M., Rakha, M., yee Tan, S., Chou, Y-Y., Chang, C-H., Yen, J-Y., Schafaitner, R., Nair, R., Naito, K., Solberg, S.** 2020. Mapping patterns of abiotic and biotic stress resilience uncovers conservation gaps and breeding potential of *Vigna* wild relatives. *Scientific Reports*, 10:2111. doi.org/10.1038/s41598-020-58646-8.
- **Vanni, R.O., Kurtz, D.** 2005. Nueva variedad y precisiones taxonómicas para el género *Vicia* (*Leguminosae*) en el norte de la Argentina. *Darwiniana*, 43, 216-231.
- **Vanzolini, J.I.** 2011. La *Vicia villosa* como cultivo de cobertura: efectos de corto plazo sobre el suelo y la productividad del maíz bajo riego en el Valle bonaerense del Río Colorado. *Tesis de Magister DA- Universidad Nacional del Sur*. 134p.
- **Vanzolini, J.I., Galantini, J.A., Martínez, J.M., Suñer, L.** 2017. Changes in soil pH and phosphorus availability during decomposition of cover crop residues. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63, 1864-1874.
- **Vincent, H., Amri, A., Castañeda-Álvarez, N.P., Dempewolf, H., Dulloo, E., Guarino, L., Hole, D., Mba, C., Toledo, A., Maxted, N.** 2019. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation. *Communication Biology*, 2, 136. doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z.
- **Vleeshouwers, L.M., Kropff, M.J.** 2000. Modelling field emergence patterns in arable weeds. *New Phytologist*, 148, 445-457.
- **Volesky, J.D., Mowrey, D.P., Smith, G.R.** 1995. Performance of rose clover and hairy vetch interseeded into Old World bluestem. *Journal of Range Management*, 49, 446-451.

- **Walsh, M.J., Groose, R.W., Obour, A.K., Claypool, D.A., Delaney, R.H., Krall, J.M.** 2013. Seed Persistence in Soil of Five Medic Cultivars in Southeastern Wyoming. *Crop Science*, 53, 1-5.
- **Warwick, K.** 2011. Establishment and Persistence of Legumes in Switchgrass Biomass and Forage/biomass Production Systems. *Thesis of Master of Science. The University of Tennessee*, Knoxville 128p.
- **Washitani, I.** 1987. A convenient screening test system and a model for thermal germination responses of wild plant seeds: behaviour of model and real seeds in the system. *Plant, Cell and Environment*, 10, 587-598.
- **Wayman, S., Kissing Kucek, L., Mirsky, S.B., Ackroyd, V., Cordeau, S., Ryan, M.R.** 2016. Organic and conventional farmers differ in their perspectives on cover crop use and breeding. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32, 376-385.
- **Weber, L.H., Schifino-Wittmann, M.T.** 1999. The *Vicia sativa* L. aggregate (Fabaceae) in Southern Brazil. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46: 207-211.
- **White, J., Rushing, B.** 2019. Mississippi Cover Crop Variety Trials. Information Bulletin 542. 20p.
- **Wilke, B.J., Snapp, S.S.** 2008. Winter cover crops for local ecosystems: linking plant traits and ecosystem function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 551-557.
- **Yeater, K.M., Bollero, G.A., Bullock, D.G., Rayburn, A.L., Rodriguez-Zas, S.** 2004. Assessment of genetic variation in hairy vetch using canonical discriminant analysis. *Crop Science*, 44, 185-189.
- **Zalamea, P-C., Dalling, J.W., Sarmiento, C., Arnold, E., Delevicj, C., Berhow, M.A., Ndobegang, A., Gripenberg, S., Davis, A.S.** 2018. Dormancy-defense syndromes and tradeoffs between physical and chemical defenses in seeds of pioneer species. *Ecology*, 99, 1988-1998.
- **Zambrano, C., Bastida F., Gonzalez-Andujar, J.L.** 2013. A hydrothermal seedling emergence model for *Conyza bonariensis*. *Weed Research*, 53, 213-220.
- **Zhang, X., Mosjidis, J.A.** 1995. Breeding systems of several *Vicia* species. *Crop Science*, 35, 1200-1202.
- **Zhang, X., Mosjidis, J.A.** 1998. Rapid prediction of mating system of *Vicia* species. *Crop Science*, 38, 872-875.