

Revista de
Investigaciones
Agropecuarias

RIA

La Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) es una publicación de información científica editada por el INTA. Los artículos presentados son admitidos por un Comité Editorial compuesto por prestigiosas figuras del ámbito académico y científico agropecuario. Abarca diferentes temas preparados por profesionales del INTA y de otras instituciones, y está destinada a la comunidad científica nacional e internacional. Lo expresado por autores, corresponsales o columnistas no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial, de la revista o de su institución editora.

INDEXACIONES

Scopus
Latindex (Folio 3346)
CABI Publishing
DOAJ (Directory of Open Access Journals)
Redalyc.org
Núcleo Básico
Thomson Reuters
Dialnet
Scielo
CiteFactor

DATOS EDITORIALES

Chile 460 2.º piso. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. CP (C1098AAJ)
+54 (011) 4339-0600
<http://ria.inta.gov.ar>
ria@inta.gov.ar

ISSN 0325-8718 ISSN 1669-2314
Propiedad Intelectual N.º 5231354

Institución Editora: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Cuatrimestral. Vol. 48 N.º 1
Abril 2022, Buenos Aires, Argentina.

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidente: Ing. Agr. Mariano Garmendia	Dr. Pablo Paillone FAA.	Dirección Nacional Asistente Transferencia y Extensión
Vicepresidenta: Dra. Nacira Belen Muñoz	Sr. Santos Zuberbhuler SRA.	Ing. Agr. María Rosa Scala
Consejeros Nacionales: Ing. Agr. Joaquín Manuel Serrano MAGyP	Director Nacional: Ing. Agr. Carlos Parera	Dirección General Administración CPN Lic. Rosendo Tarsetti
Ing. Agr. Liliana Monterroso Facultades de Cs. Agrarias	Directores Nacionales Asistentes: Dirección Nacional Asistente Operaciones y Asuntos Jurídicos	Dirección Nacional Asistente Desarrollo, Gestión y Fortalecimiento de las Personas Mg. Constanza Inés Necuzzi
Ing. Agr. Alejandro Conci. AACREA.	Ing. Agr. José Luis Spontón	Dirección Nacional Asistente Sistemas de Información, Tecnología y Procesos Ing. Fernando Ricitelli
Ing. Agr. Mario Nicolás Carlino CONINAGRO.	Dirección Nacional Asistente Investigación y Desarrollo	Dirección Nacional Asistente Comunicación Institucional
Ing. Agr. Sergio Melgarejo CRA.	Ing. Agr. Martín Irurueta	Lic. Máximo Bontempo
	Dirección Nacional Asistente Planificación, Monitoreo y Evaluación	Coordinación Nacional Vinculación Tecnológica y Relaciones Institucionales Lic. Zootecnista Juan Sebastián Llorens
	Lic. Leticia Gabriela Tamburo	

MIEMBROS DEL COMITÉ EDITORIAL

EDITOR GENERAL

Dr. Ariel Pereda.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

EDITORES

Ing. Agr. M. Sci. Jorge Mariotti.
Universidad Nacional de Salta (UNSA). Argentina.

Dr. Tomas Miguel Schlichter.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dra. Ana María Romero.
Universidad de Buenos Aires (UBA). Argentina.

Dr. Carlos Parera.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agr. M. Sc. María Eugenia Beget.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Miguel Ángel Taboada.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

Dr. Aníbal Pordomingo.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Martín Durante.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Laureano Frizzo.
Universidad Nacional del Litoral (UNL). Argentina.

Dr. Juan Wahren.
Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG). Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

Dra. Karina Trono.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

Dra. Gabriela Posse.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Sergio Vaudagna.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Ditmar Kurtz.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agro. M. Sc. Alejandro Valeiro.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Oscar Taboga.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Sergio E. Feingold.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Dr. Darío Fernández.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agr. M. Sc. Marina Di Filippo.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agr. M. Sc. Emiliano Quiroga.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agr. M. Sc. Alejandro Rago.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

M. Sc. María Isabel Tort.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Ing. Agr. M. Sc. Damián Vega.
Universidad de Buenos Aires (UBA). Argentina.

STAFF

Dirección:
Dra. Norma Pense
Lic. Máximo Bontempo

Coordinación editorial:
Mg. Mario Migliorati

Asistente editorial:
Lic. Gustavo Ciuffo
Lic. Cecile Esperbernt

Producción Editorial:
Asesores técnicos y de contenido
Ing. Agr. Cristian Zuchini
Dr. Martín Irurueta

Corrección:
Laura Lima

Diseño y Edición:
Dirección Nacional Asistente
Comunicación Institucional.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

Esta publicación es propiedad del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Rivadavia 1439. CABA. Buenos Aires, Argentina.

TRABAJOS

ARTÍCULOS

Tipburn en hortalizas de hoja en hidroponía: posibles causas y control

Castañares, J.L.

3

Combinación de tratamientos con fungicidas y nitrato de calcio para el control de la mancha marrón (*Alternaria alternata*) y su efecto en la producción de tangor 'Murcott'

Alayón Luaces, P.; Chabbal, M.D.; Piccoli, A.B.; Yfran Elvira, M.M.; Gaiad, J.E.; Giménez, L.I.

10

Implementación y resultados de un programa de mejora genética en ovinos

Mueller, J.P.; Aranguren, E.M.

16

Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales

Rattin, J.; Echarte, M.; Barrera, L. (ex aequo); Tognetti, J.; Di Benedetto, A.

24

Efecto del control estratégico de la garrapata común del bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* sobre la ganancia de peso en vaquillas Braford en el noreste de Argentina

Rossner, M.V.; Torrents, J.; Morel, N.; Prieto, P.N.; Lottero, F.; Mangold, A.J.; Nava, S.

41

Recuperación de embriones en hembras de alpacas y llamas con ovulación única o múltiple

Huanca Mamani, T.

48

Situación de las virosis del cultivo de papa en el Sudeste Bonarense

Salvalaggio, A.E.; Bruno, C.; Huarte, M.A.; López Lambertini, P.M.

53

Impacto de la densidad de siembra en el establecimiento de *Bromus auleticus* Trin ex Nees en un campo natural de Basalto (Uruguay)

Franco Aquino, R.; Jaurena, M.; Reyno, R.

64

Uso de monensina y virginiamicina en el engorde a corral de vaquillonas basado en maíz entero

Pordomingo, A.J.; Gelid, L.; Pordomingo, A.B.; Baliño, P.; Bressan, E.

71

Combinación de monensina y virginiamicina en engorde y eficiencia de novillos terminados a corral

Pordomingo, A.J.; Bressan, E.; Apa, F.J.

78

Efecto del nivel de suplementación con harina de algodón sobre el consumo y el aumento de peso en bovinos en recría alimentados con silaje de sorgo

Chiossone, J.L.; Balbuena, O.

84

Análisis de manejo de Residuos Sólidos Urbanos y elaboración de aboneras para huertas traspatio en San Andrés de Giles (Bs. As.)

Cóppola, J.; Pescio, F.; Schamber, P.

90

Estudio exploratorio sobre *Mycoplasma hyopneumoniae* en granjas porcinas del norte de la provincia de La Pampa, Argentina, utilizando PCR como metodología de diagnóstico

Murcia, V.N.; Beneitez, A.; Pordomingo, A.J.; Miranda, A.

100

Prospección del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del Cinturón Hortícola de La Plata

Rolleri, J.; Romero, A.M.

104

Suppression of *Lolium multiflorum* Lam. with *Vicia villosa* Roth combined with residual herbicides

Renzi, J.P.; Pérez Aagaard, C.; Chantre, G.R.; Gigón, R.; Reinoso, O.; Quintana, M.; Ducos, I.; Cantamutto, M.A.

111

Feed sorting behavior and performance of Argentinian Creole, Braford and crossbred steers during the growing and fattening phases

Della Rosa, M.M.; Corva, P.M.; Royo, V.; Zimmerman, M.; Bottegal, D.; Nasca, J.A.

118

Tipburn en hortalizas de hoja en hidroponía: posibles causas y control

Publicado online 06 de abril de 2022

Castañares, J.L.^{1,2}

RESUMEN

El *tipburn* es un desorden fisiológico muy común en hortalizas de hoja, caracterizado por la necrosis en los bordes de las hojas jóvenes y asociado a la deficiente acumulación de calcio. Predispone a la incidencia el desbalance nutricional, alta temperatura, alta humedad relativa diurna y baja nocturna, alta radiación y alta tasa de crecimiento. En sistemas de producción muy intensivos, como hidroponía, la tasa de aparición de este daño suele ser muy importante. También el control en tales producciones suele ser más difícil en comparación con una producción en el campo. El objetivo de esta revisión es enumerar las principales causantes conocidas del *tipburn* en hidroponía y algunas posibles alternativas para su prevención.

Palabras clave: calcio, desorden nutricional, pared celular, necrosis de hojas, producción intensiva.

ABSTRACT

Tipburn is a very common physiological disorder in leafy vegetables, characterized by a necrosis at the edge of young leaves associated with poor calcium accumulation. Nutritional imbalance, high temperature, high diurnal and low nocturnal relative humidity, high radiation and high growth rates predispose to this disorder. In very intensive production systems, such as hydroponics, the rate of occurrence of this damage is usually very important. Also, control, in such production systems, is usually more difficult compared to field production. The objective of this review is to list the main known causes of tipburn in hydroponics and some possible alternatives for its prevention.

Keywords: calcium, nutritional imbalance, cellular wall, leaf necrosis, intensive cultivation.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), Udaondo 1695, Ituzaingó, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: castanares.jose@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Luján (UNLu), Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Fisiología Vegetal. Ruta 5 y Avenida Constitución, Luján, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

El *tipburn* es un desorden fisiológico frecuente en hortalizas de hojas que se manifiesta como una necrosis en los ápices y bordes de las hojas en activo crecimiento (Maruo y Johkan, 2019). Los síntomas pueden extenderse hacia la parte inferior de las hojas, pudiendo ser una vía de entrada a infecciones secundarias de hongos (ej. *Botritis*, *Sclerotinia*) o bacterias (ej. *Xanthomonas*, *Pseudomonas*), que terminan por afectar todo el cultivo (Obispo, 1997; Pauwelyn et al., 2011). Al mismo tiempo, la calidad del producto cosechado puede verse afectada por la menor palatabilidad de las hojas dañadas (Holmes et al., 2019).

Esta enfermedad fisiológica es conocida desde hace más de un siglo (Thompson, 1926). Kruger (1966) fue el primer investigador en proponer la relación entre el calcio (Ca) y la aparición del desorden. Actualmente, existe un acuerdo en que el *tipburn* se debe a una deficiencia de Ca puntual en los márgenes de las hojas (Maruo y Johkan, 2019). Este nutriente cumple un rol esencial en la formación y estabilidad de las paredes celulares (González-Fontes et al., 2017). Es por ello que valores subóptimos en tejidos comprometerán la formación y estabilidad celular y serán predisponentes para el daño.

No obstante, el *tipburn* no es sinónimo de deficiencia de Ca, dado que mientras una deficiencia puede conducir a una reducción o inhibición del crecimiento, el *tipburn* se manifiesta incluso en condiciones de consumo de lujo (Kuronuma et al., 2020). Diferentes condiciones pueden modificar la absorción y transporte del Ca y aún no existe un acuerdo en muchas de ellas, dado que aun

en situaciones diametralmente opuestas puede aparecer este daño, existiendo también una predisposición genética (Macias-González et al., 2019).

Si bien este desorden fisiológico no es exclusivo de alguna técnica de cultivo en particular, la tasa de aparición es mayor en cultivos en invernadero e hidroponía en comparación con cultivos en el campo (Vanhassel et al., 2015). La principal explicación estaría, por un lado, en la mayor tasa de crecimiento en sistemas de producción muy intensivos, que implica una más alta demanda de Ca en tejidos en expansión (Carassay et al., 2012). Por otro lado, en sistemas de producción en el campo es posible prevenir algunos cambios climáticos drásticos (Vanhassel et al., 2015).

El objetivo de esta revisión es enumerar las principales causantes conocidas del *tipburn* en hortalizas de hoja cultivadas en hidroponía y algunas posibles alternativas para su prevención.

CONDICIONES PREDISONENTES AL TIPBURN

Baja absorción de calcio

Los desequilibrios entre iones en la solución nutritiva suelen presentarse con frecuencia. Steiner (1961), luego de una larga serie de experimentos, llegó a la conclusión de la importancia de mantener las relaciones entre cationes y aniones dentro de ciertos límites (tabla 1). Excesos en la concentración relativa de algunos iones puede conducir a la deficiencia de otros debido a la precipitación, competencia o toxicidad.

	Cationes (%)				Aniones (%)			
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Rango ideal	25-45	35-55	17-23	0-15	35-65	3-12	25-45	0-20

Tabla 1. Relaciones ideales entre iones (Steiner, 1961).

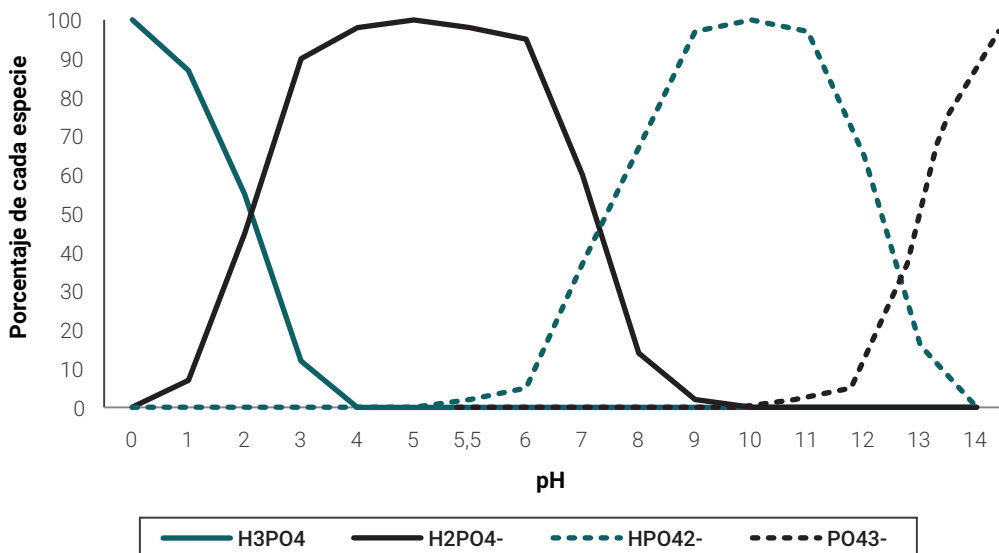


Figura 1. Formas del P según el pH (modificado de Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

Una formulación nutritiva con niveles supraóptimos de Mg^{2+} , K^+ o NH_4^+ puede favorecer la aparición del *tipburn* debido al efecto antagónico de estos iones con el Ca^{2+} (Cubeta et al., 2000; Hagassou et al., 2019). El exceso de NH_4^+ , además de la competencia con el Ca^{2+} , puede conducir a una acidificación de la solución (Riaz et al., 2020) con el consiguiente daño en raíces y cambios en las formas químicas de los elementos. Altos niveles de Na^+ en la solución nutritiva, debido al uso de agua de mala calidad, también puede provocar un antagonismo con el Ca^{2+} (Parihar et al., 2015).

El Ca no se transporta por floema, de modo que no puede removilizarse de tejidos más viejos a órganos en formación (Macias-González et al., 2019), sino que estos dependerán exclusivamente del Ca proveniente de la solución nutritiva.

La precipitación del Ca como $CaHPO_4$ puede producirse por un aumento en el pH de la solución. Las formas en que habitualmente está presente el P en la solución $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} son variables en función del pH (Coello Santos y Ríos Mesa, 2016). Valores elevados de pH determinarán un aumento de la proporción de HPO_4^{2-} respecto del $H_2PO_4^-$ con el consiguiente riesgo de precipitación (fig. 1). El Ca precipitado no estará disponible para las plantas.

La conductividad eléctrica (CE) de la solución también puede influir en la absorción de nutrientes. Ha sido reportado el aumento de los desórdenes vinculados a la deficiente absorción de Ca como consecuencia de una elevada CE (Ho y White, 2005; Kleemann, 2000). Esto se debería a la reducción de la capacidad de absorción de agua, y con ello los iones disueltos, por la elevada presencia de solutos que reducen el potencial osmótico (Albornoz y Heinrich Lieth, 2015). En lechuga cultivada en hidroponía, Samarakoon et al. (2017) comprobaron que a partir de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ la tasa de aparición de *tipburn* aumenta significativamente.

Deficiencia de boro

El boro (B) es un micronutriente cuya principal función estaría asociada a la formación de la pared celular, dado que hasta el 90% del B celular se encuentra en este sitio (Rasheed, 2009). Es requerido para la correcta incorporación del Ca en las paredes celulares formando complejos (Bolaños et al., 2004). La deficiencia de B puede contribuir al aumento de la incidencia del *tipburn* (Archana y Verma, 2017; Riaz et al., 2020).

Temperatura

Existe común acuerdo en que elevadas temperaturas ambientales influyen en la manifestación del *tipburn* (Holmes et al., 2019; Lee et al., 2013). Nagata y Stratton (1995) propusieron la evaluación de la susceptibilidad al *tipburn* en nuevos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante el sometimiento a altas temperaturas.

Assimakopoulou et al. (2013) realizaron un ensayo para comparar el efecto de la estación del año (invierno y primavera) y la técnica de cultivo (hidroponía y campo) en la aparición del *tipburn* en lechuga. La mayor presencia fue registrada en primavera y en sistema hidropóni-

co, seguido en menor medida por el cultivo en el campo y en primavera. En invierno no se manifestó en ninguno de los dos sistemas de cultivo. La mayor severidad del *tipburn* en cultivos en invernáculos e hidroponía se debe a la mayor tasa de crecimiento, con hojas jóvenes que presentan una elevada demanda de Ca (Holmes et al., 2019).

En cultivos hidropónicos, además de la temperatura ambiente, la temperatura de la solución nutritiva es un factor para considerar. Elevadas temperaturas pueden provocar una drástica reducción del oxígeno disuelto (OD) (Son et al., 2020) causando una reducción en la tasa de respiración de las raíces con perjuicios en la actividad metabólica de estas viéndose afectada la absorción de Ca (Assimakopoulou et al., 2013; Maruo y Johkan, 2019).

Sin embargo, muy bajas temperaturas en la zona de las raíces retrasarán el crecimiento de la parte aérea, además de inducir la producción de metabolitos secundarios, en respuesta al estrés térmico, que mejoran las características organolépticas de la planta (Sakamoto y Suzuki, 2015). Por tales motivos, debería buscarse el equilibrio de temperatura que garantice el mejor crecimiento y la mejor calidad organoléptica.

Humedad relativa

Existe una estrecha correlación entre la aparición del *tipburn* y la elevada humedad relativa (HR) diurna (Choi y Lee, 2008; Kubota, 2020). Por ello, el microambiente de elevada HR presente en el interior de las hojas jóvenes sería uno de los causantes de *tipburn* en estas (Kubota, 2020).

La transpiración es la principal fuerza generadora del movimiento del Ca en las plantas, dado que ese ion se mueve junto con el agua en el xilema (Demidchik et al., 2018). La ausencia de un gradiente de HR entre la planta y la atmósfera limitará el movimiento de agua en el xilema y comprometerá el transporte del Ca. Durante la noche, la presión radical, generada por la presencia de solutos en el xilema, es la principal determinante del transporte del agua junto con los nutrientes en el xilema (Maruo y Johkan, 2019). La mayor presión radical se generará en condiciones de alta HR (Vanhassel et al., 2015).

An et al. (2017) evaluaron la aparición de *tipburn* en plantas de apio de agua (*Oenanthe stolonifera* DC.) cultivadas en hidroponía y sometidas a diferentes regímenes de HR diurnos y nocturnos. En HR 60/90% (día/noche) la tasa de aparición de *tipburn* fue de 1,4%, mientras que en HR de 60/60% aumentó a 25%.

Radiación

En condiciones de alta intensidad lumínica puede observarse un incremento en la incidencia y severidad del *tipburn* (Bumgarner y Buck, 2016). Wissemeier y Zühlke (2002) estudiaron diferentes variables ambientales y su relación con el *tipburn*. El máximo coeficiente de correlación fue hallado con la suma de radiación desde la siembra a la cosecha, considerando que este parámetro podría ser un buen predictor de la aparición del *tipburn*, al eliminar el resto de las variables ambientales. Se cree que este aumento con la radiación se debe a la mayor

tasa de crecimiento y demanda de Ca por los tejidos (Olle y Bender, 2009).

Gaudreau *et al.* (1994) suplementaron con luz artificial plantas de lechuga durante la etapa oscura con el objetivo de incrementar el rendimiento. Sin embargo, esta condición aceleró la aparición del *tipburn*. Esto se confirma con los experimentos realizados por Goto y Takakura (2003), quienes registraron una menor incidencia del *tipburn* al reducir la duración de la etapa de iluminación, sin que se afectase el rendimiento del cultivo. Sago (2016) midió la concentración de Ca en diferentes hojas de plantas de lechuga, creciendo en distintas intensidades lumínicas y observó una correlación entre la absorción de Ca y la intensidad lumínica. Al mismo tiempo registró un aumento en la concentración de este elemento en hojas exteriores. Sin embargo, no hubo aumento en hojas interiores, más jóvenes, en las cuales se manifestó el *tipburn*.

Alta tasa de crecimiento

La mayoría de los investigadores concuerdan en que una elevada tasa de crecimiento predispone al *tipburn* (Uno *et al.*, 2016; Ahmed *et al.*, 2020). Por este motivo, en los cultivos protegidos y en hidroponía es frecuente la aparición de este desorden.

El aumento del metabolismo de las plantas con alta tasa de crecimiento determina que deba mantenerse un constante flujo transpiratorio y movimiento de iones. Por lo tanto, cualquier restricción en el movimiento del agua y el Ca en la planta serán predisponentes para la manifestación del *tipburn* (Yang *et al.*, 2018). De la conjunción de factores que pueden influir en el crecimiento, la temperatura es el que presenta la más estrecha correlación (Lee *et al.*, 2015). De modo que la temperatura puede relacionarse de manera directa e indirecta con el *tipburn*.

Asimismo, los factores que puedan afectar el crecimiento de las raíces (ej. cambios drásticos en el pH, baja temperatura, estrés hídrico o salino, etc.) influirán en la absorción del Ca y por ende en la incidencia del *tipburn* (Maruo y Johkan, 2019).

Un elevada tasa de crecimiento implica mayores niveles de ácido giberélico (GA) (Saure, 2014). Aunque aún no es del todo claro el mecanismo, se ha observado que el GA reduce la movilización del Ca. Se cree que esta hormona reduce la fijación del Ca a las membranas, aumentando la permeabilidad de estas (De Freitas *et al.*, 2012) y por consiguiente la predisposición al *tipburn*.

No obstante, la alta tasa de crecimiento no determina indefectiblemente la aparición del *tipburn* dado que no ha sido posible hallar una correlación directa entre ambos (Wissemeier y Zühlke, 2002).

PREVENCIÓN DEL TIPBURN

Como se ha visto en los párrafos previos, numerosos factores ambientales pueden, directa o indirectamente, influir en la manifestación del *tipburn*, por lo que resulta sumamente complejo indicar prácticas que garanticen la prevención de este.

Además del ambiente, existe una predisposición genética a la aparición de este daño (Macías-González *et al.*, 2019). La búsqueda de los genes responsables del *tipburn* aún es incipiente debido a la complejidad de este desorden fisiológico, que es gobernado por varios genes (Uno *et al.*, 2016).

Se discutirán a continuación algunos resultados de investigaciones que han demostrado un efecto positivo en la atenuación de este desorden fisiológico. Se concluye el apartado con una tabla resumen (tabla 4) de algunas prácticas con relativo éxito.

Equilibrio de iones

La formulación y mantenimiento de la solución nutritiva respetando el equilibrio de iones será de suma importancia para garantizar una adecuada absorción del Ca. En este sentido, resulta de gran utilidad tener presente la relación propuesta por Steiner (1961), y que fuera indicada en la primera parte de esta revisión (tabla 1), en la formulación y manejo de la solución nutritiva.

Teniendo presente las relaciones entre cationes y aniones, y realizando análisis químicos diarios de la solución nutritiva a fin de conocer el comportamiento de los iones, Maruo *et al.* (1992) desarrollaron una solución nutritiva para lechuga en hidroponía con relativa efectividad en la prevención del *tipburn* (tabla 2).

Por último, resulta de suma importancia ajustar la CE a los valores recomendados para cada especie (tabla 3), a fin de garantizar la adecuada absorción del Ca (Santos Coello y Ríos Mesa, 2016).

Control de temperatura, HR, radiación

La modificación de la temperatura y HR a valores ideales es una acción difícil de concretar. Por ello podría esperarse una mayor incidencia del *tipburn* en cultivos protegidos (Assimakopoulou *et al.*, 2013).

El mantenimiento de la temperatura óptima en la solución hidropónica (alrededor de 20 °C) contribuiría a la prevención del *tipburn* por la mejora del funcionamiento de las raíces y la mejor oxigenación de estas (Cometti *et al.*, 2013). Asimismo, los efectos negativos de una elevada relación K/Ca podrían atenuarse, mejorando la absorción y translocación del Ca (Napier y Combrink, 2005).

	meq L ⁻¹						
Fórmula	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	HPO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
Inicio	12,0	0,0	4,0	8,3	5,0	2,0	2,0
Reposición	12,0	1,3	4,0	8,0	4,0	2,0	2,0

Tabla 2. Fórmula nutritiva para lechuga hidropónica (Maruo *et al.*, 1992).

Especie	Umbral de CE (dS m ⁻¹)
Lechuga	1,3
Espinaca	2,0
Frutilla	1,0
Col	1,8
Tomate	2,5
Melón	2,5
Pimiento	1,5
Brócoli	2,8
Berenjena	1,1

Tabla 3. Umbral de conductividad eléctrica (CE) que no compromete el rendimiento de algunos cultivos hortícolas (Coello Santos y Ríos Mesa, 2016).

La mejora del flujo de aire al interior de las plantas cultivadas en hidroponía mediante ventiladores ha demostrado ser una técnica eficaz en la reducción del *tipburn* (Zhang *et al.*, 2016; Ahmed *et al.*, 2019). El movimiento de aire permite, además de disminuir la temperatura, asegurar una tasa constante de transpiración que permita optimizar el transporte del Ca a las hojas interiores y más nuevas (Lee *et al.*, 2013).

Una práctica que ha reportado resultados positivos en la prevención es el recubrimiento de las plantas durante la noche con polietileno, a fin de aumentar la HR y con ello la presión radical, permitiendo, de este modo, una mejor movilización del Ca (Kroggel y Kubota, 2016; Wien y de Villiers, 2005). La complementación de lo anterior con nebulización de las plantas por debajo de las cañerías que las sostienen (en sistemas NFT) permitiría mejorar aún más el control del *tipburn* (Vanhassel *et al.*, 2015).

Con referencia a la radiación en condiciones de iluminación artificial debe evitarse la prolongación excesiva del fotoperíodo así como el uso de lámparas de muy alta intensidad (Kleemann, 2018; Olle y Bender, 2009). Goto y Takakura (2003) cultivaron lechuga en dos ciclos de luz: 14 h luz /10 h oscuridad y 105 min luz/75 min de oscuridad. La cantidad de luz total recibida durante todo el día no varió

en ambos ciclos. Llegaron a la conclusión que la repetición frecuente de ciclos cortos de luz/oscuridad permite reducir la aparición del *tipburn* sin afectar el rendimiento.

En invernaderos, el sombreado de las plantas ha demostrado reducir la aparición de los desórdenes vinculados al Ca (Bárcena *et al.*, 2019; Kratky *et al.*, 2002), lo que puede deberse fundamentalmente a la reducción de la transpiración y de la tasa de crecimiento.

Control del crecimiento

Dado que, como fuera indicado anteriormente, muchas de las condiciones que predisponen a la manifestación del *tipburn* determinan, al mismo tiempo, una elevada tasa de crecimiento (Wissemeier y Zühlke, 2002), ha sido propuesta la utilización de retardadores de crecimiento como práctica preventiva (Corriveau *et al.*, 2012).

Yang *et al.* (2018) estudiaron el efecto de la aplicación de espermidina en plantas de lechuga en hidroponía, registrando un aumento de la absorción de Ca, del transporte a las hojas interiores y una menor aparición de *tipburn*. Obispo (1997) comparó el efecto de dos retardadores de crecimiento que interfieren en la síntesis de GA, daminozida y paclobutrazol, concluyendo que las plantas de lechuga tratadas con este último redujeron la tasa de aparición del *tipburn*. Sin embargo, Corriveau *et al.* (2012) no lograron encontrar un efecto positivo al aplicar prohexadiona de calcio en lechuga.

Aplicación foliar de Ca y B

Las primeras experiencias de aplicación foliar de Ca para prevenir o retrasar la aparición de *tipburn* en lechuga fueron realizadas por Kruger (1966). Desde entonces diversos investigadores han reportado las ventajas de esta práctica (Corriveau *et al.*, 2012; Saleh, 2008) dado que el Ca tiene la capacidad de atravesar la cutícula a través de los estomas o ectodesmos (Gilliam *et al.*, 2011). Borkowski *et al.* (2016) redujeron la aparición de *tipburn* en col china (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis*) aplicando Ca(NO₃)₂ 1,5% foliarmente. En lechuga en hidroponía, Samarakoon *et al.* (2018) lograron disminuir este daño con la aplicación foliar de 800 mg L⁻¹ CaCl₂

Práctica	Referencias
Mantenimiento de un adecuado equilibrio de iones	Steiner, 1961; Maruo <i>et al.</i> , 1992
Ajuste de la CE	Olle y Bender, 2009; Santos Coello y Ríos Mesa, 2016
Control de la temperatura	Napier y Combrink, 2005; Zhang <i>et al.</i> , 2016; Ahmed <i>et al.</i> , 2019
Aumento de HR nocturna	Wien y de Villiers, 2005; Kroggel y Kubota, 2016; Vanhassel <i>et al.</i> , 2015
Reducción de la radiación	Kratky <i>et al.</i> , 2002; Goto y Takakura, 2003; Olle y Bender, 2009; Kleemann, 2018; Bárcena <i>et al.</i> , 2019;
Retardadores del crecimiento	Obispo, 1997; Wissemeier y Zühlke, 2002; Corriveau <i>et al.</i> , 2012; Yang <i>et al.</i> , 2018
Aplicación foliar de Ca y B	Kruger, 1966; Saleh, 2008; Olle y Bender, 2009; Rasheed, 2009; Corriveau <i>et al.</i> , 2012; Samarakoon <i>et al.</i> , 2018

Tabla 4. Resumen de algunas prácticas para reducir el *tipburn*.

dos veces por semana, sin que resultara afectado el rendimiento. Esto concuerda con lo reportado por Corriveau *et al.* (2012).

La aplicación foliar de B, sola o combinada con Ca, podría contribuir también a la prevención del *tipburn*, considerando que es un elemento que se necesita en relativamente pocas cantidades, en relación con los macronutrientes (Rasheed, 2009).

Sin embargo, existen resultados de investigaciones que no han podido hallar una correlación entre la aplicación foliar de Ca y la prevención del *tipburn* (Holtzschulze, 2005; Jenni *et al.*, 2008; Uno *et al.*, 2016). Esto podría explicarse por el hecho de que el Ca pulverizado no siempre puede alcanzar los órganos sensibles en las cantidades ideales para prevenirlo (Saure, 1998). A esto se le suma, como limitación, la escasa movilidad de este elemento que implica que deban realizarse varias aplicaciones en el transcurso del cultivo (Singh *et al.*, 2018). Queda claro, entonces, que no es posible establecer una recomendación respecto de la práctica de aplicación foliar de Ca que invariablemente permita prevenir el *tipburn*.

CONCLUSIONES

Si bien el *tipburn* es un desorden fisiológico ampliamente reportado y estudiado, dada la multiplicidad de factores que pueden desencadenarlo, la tasa de aparición en sistemas de producción muy intensivos es relativamente alta y su control no siempre es posible. No todas las prácticas comentadas en los párrafos anteriores son de fácil aplicación. Sin embargo, el seguimiento de las variables ambientales y el monitoreo del cultivo, para la rápida detección del desorden, resultan de suma importancia a fin de poder implementar medidas atenuadoras y obtener los máximos beneficios de los sistemas productivos intensivos.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, H.A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y. 2019. Lettuce plant growth and tipburn occurrence as affected by airflow using a multi-fan system in a plant factory with artificial light. *Journal of Thermal Biology* 88, 102496.
- AHMED, H.A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y. 2020. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African Journal of Botany* 130, 75-89.
- ALBORNOZ, F.; HEINRICH LIETH, J. 2015. Over fertilization limits lettuce productivity because of osmotic stress. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75, 284-290.
- AN, J.U.; JOUNG, K.H.; YOON, H.S.; HWANG, Y.H.; HONG, G.P. 2017. Effects of photo/dark period and relative humidity during dark period on growth and tipburn occurrence of water dropwort (*Oenanthe stolonifera* DC.) in a closed-type plant factory. *Protected Horticulture and Plant Factory* 26, 146-150.
- ARCHANA, N.P.; VERMA, P. 2017. Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: a review. *Journal of Global Biosciences* 6, 4958-4965.
- ASSIMAKOPOULOU, A.; KOTSIRAS, A.; NIFAKOS, K. 2013. Incidence of lettuce tipburn as related to hydroponic system and cultivar. *Journal of Plant Nutrition* 36, 1383-1400.
- BÁRCENA, A.; GRACIANO, C.; LUCA, T.; GUIAMET, J.J.; COSTA, L. 2019. Shade cloths and polyethylene covers have opposite effects on tipburn development in greenhouse grown lettuce. *Scientia Horticulturae* 249, 93-99.
- BOLAÑOS, L.; LUKASZEWSKI, K.; BONILLA, I.; BLEVINS, D. 2004. Why boron? *Plant Physiology and Biochemistry* 42, 907-912.
- BORKOWSKI, J.; DYKI, B.; OSKIERA, M.; MACHLAŃSKA, A.; FELCZYŃSKA, A.; 2016. The prevention of tipburn on Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis* (Lour.) Olson) with foliar fertilizers and biostimulators. *Journal of Horticultural Research* 24, 47-56.
- BUMGARNER, N.; BUCK, J. 2016. Light emitting diode and metal halide supplemental lighting for greenhouse Bibb lettuce production in the Midwestern United States. *Journal of Applied Horticulture* 18, 889-899.
- CARASSAY, L.R.; BUSTOS, D.A.; GOLBERG, A.D.; TALEISNIK, E. 2012. Tipburn in salt-affected lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants results from local oxidative stress. *Journal of Plant Physiology* 169, 285-293.
- CHOI, K.; LEE, Y. 2008. Effects of relative humidity on the apparent variability in the incidence of tipburn symptom and distribution of mineral nutrients between morphologically different lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 49, 20-24.
- COELLO SANTOS, B.; RÍOS MESA, D. 2016. Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife, Tenerife, 113 p.
- COMETTI, N.N.; BREMENKAMP, D.M.; GALON, K.; HELL, L.R.; ZANOTELLI, M.F. 2013. Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. *Horticultura Brasileira* 31, 287-292.
- CORRIVEAU, J.; GAUDREAU, L.; CARON, J.; JENNI, S.; GOSSELIN, A. 2012. Testing irrigation, day/night foliar spraying, foliar calcium and growth inhibitor as possible cultural practices to reduce tipburn in lettuce. *Canadian Journal of Plant Science* 92, 889-899.
- CUBETA, M.A.; CODY, B.R.; SUGG, R.E.; CROZIER, C.R. 2000. Influence of soil calcium, potassium, and pH on development of leaf tipburn of cabbage in eastern North Carolina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31, 259-275.
- DE FREITAS, S.T.; JIANG, C.-Z.; MITCHAM, E.J. 2012. Mechanisms involved in calcium deficiency development in tomato fruit in response to gibberellins. *Journal of Plant Growth Regulation* 31, 221-234.
- DEMIDCHIK, V.; SHABALA, S.; ISAYENKOV, S.; CUIN, T.A.; POTTOSIN, I. 2018. Calcium transport across plant membranes: mechanisms and functions. *New Phytologist* 220, 49-69.
- GAUDREAU, L.; CHARBONNEAU, J.; VÉZINA, L.-P.; GOSSELIN, A. 1994. Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. *HortScience* 29, 1285-1289.
- GILLIHAM, M.; DAYOD, M.; HOCKING, B.J.; XU, B.; CONN, S.J.; KAISER, B.N.; LEIGH, R.A.; TYERMAN, S.D. 2011. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany* 62, 2233-2250.
- GONZÁLEZ-FONTES, A.; NAVARRO-GOCHICOA, M.T.; CEACERO, C.J.; HERRERA-RODRÍGUEZ, M.B.; CAMACHO-CRISTÓBAL, J.J.; REXACH, J. 2017. Chapter 9 Understanding calcium transport and signaling, and its use efficiency in vascular plants. En: HOSSAIN, M.A.; KAMIYA, T.; BURRITT, D.J.; TRAN, L.-S.P.; FUJIWARA, T. (Eds.). *Plant Macronutrient Use Efficiency. Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants*. Academic Press. 165-180 pp.
- GOTO, E.; TAKAKURA, T. 2003. Reduction of lettuce tipburn by shortening day/night cycle. *Journal of Agricultural Meteorology* 59, 219-225.
- HAGASSOU, D.; FRANCIA, E.; RONGA, D.; BUTI, M. 2019. Blossom end-rot in tomato (*Solanum lycopersicum* L.): A multi-disciplinary overview of inducing factors and control strategies. *Scientia Horticulturae* 249, 49-58.
- HO, L.C.; WHITE, P.J. 2005. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95, 571-581.
- HOLMES, S.C.; WELLS, D.E.; PICKENS, J.M.; KEMBLE, J.M. 2019. Selection of heat tolerant lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars grown in deep water culture and their marketability. *Horticulturae* 5, 50.
- HOLTZSCHULZE, M. 2005. Tipburn in head lettuce: the role of calcium and strategies for preventing the disorder. MSc Thesis. University of Bonn.
- JENNI, S.; DUBUC, J.F.; DESROSIERS, J.C.; STEWART, K.A. 2008. Cooling the canopy with sprinkler irrigation to reduce tipburn in endive. *Acta Horticulturae* 792, 379-384.
- KLEEMANN, M. 2018. Effect of light on calcium accumulation and tipburn in chervil (*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.). Integrated View of Fruit and Vegetable Quality. CRC Press, Florida. 54-63 pp.
- KLEEMANN, M. 2000. Effects of salinity, nutrients and spraying with CaCl₂ solution on the development of calcium deficiency in chervil (*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.) and curled parsley (*Petroselinum crispum* (mill.) nym. Convar. Crispum). Integrated View of Fruit and Vegetable Quality. CRC Press, Florida. 41-53 pp.
- KRATKY, B.A.; MAEHIRA, G.T.; CUPPLES, R.J. 2002. Shading and periodic replacement of nutrient solution improve production of hydroponically-grown

- watercress. Proc. 30th National Agricultural Plastics Association Congress. 60-65 pp.
- KROGGEL, M.; KUBOTA, C. 2016. Controlled environment strategies for tipburn management in greenhouse strawberry production. VIII International Strawberry Symposium 1156. 529-536 pp.
- KRUGER, N.S. 1966. Tip-burn of lettuce in relation to calcium nutrition. Queensland Journal of Agricultural and Animal Science 23, 379-385.
- KUBOTA, C. 2020. Growth, Development, Transpiration and Translocation as Affected by Abiotic Environmental Factors. En: KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M.B.T.-P.F. (Eds.). Plant Factory. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, San Diego. 207-220 pp.
- KURONUMA, T.; ANDO, M.; WATANABE, H. 2020. Tipburn Incidence and Ca Acquisition and Distribution in *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) Cultivars under different Ca concentrations in nutrient solution. Agronomy 10, 216.
- LEE, A.-C.; LIAO, F.-S.; LO, H.-F. 2015. Temperature, daylength, and cultivar interact to affect the growth and yield of lettuce grown in high tunnels in subtropical regions. HortScience 50, 1412-1418.
- LEE, J.G.; CHOI, C.S.; JANG, Y.A.; JANG, S.W.; LEE, S.G.; UM, Y.C. 2013. Effects of air temperature and air flow rate control on the tipburn occurrence of leaf lettuce in a closed-type plant factory system. Horticulture, Environment and Biotechnology 54, 303-310.
- MACIAS-GONZÁLEZ, M.; TRUCO, M.J.; BERTIER, L.D.; JENNI, S.; SIMKO, I.; HAYES, R.J.; MICHELMORE, R.W. 2019. Genetic architecture of tipburn resistance in lettuce. Theoretical and Applied Genetics 132, 2209-2222.
- MARUO, T.; ITO, T.; ISHII, S. 1992. Studies on the feasible management of nutrient solution in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). Technical Bulletin of the Faculty of Horticulture 46, 235-240.
- MARUO, T.; JOHKAN, M. 2019. Tipburn. En: KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (Eds.). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, Londres. 231-234 pp.
- NAGATA, R.T.; STRATTON, M.L. 1995. Development of an objective test for tipburn evaluation. Proceedings of Florida State Horticultural Society Meeting 107, 99-101.
- NAPIER, D.R.; Combrink, N.J.J. 2005. Aspects of calcium nutrition to limit plant physiological disorders. v International Pineapple Symposium 702. 107-116 pp.
- OBISPO, L.A. 1997. Control del "Tipburn" en lechuga. Horticultura Revista de Industria y Distribución Socioeconómica Horticola, Frutas, Hortalizas, Flores, Plantas, Árboles Ornamentales y Viveros, 13-22.
- OLLE, M.; BENDER, I. 2009. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 84, 577-584.
- PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V.P.; PRASAD, S.M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research 22, 4056-4075.
- PAUWELYN, E.; VANHOUTEGHEM, K.; COTTYN, B.; DE VOS, P.; MAES, M.; BLEYAERT, P.; HÖFTE, M. 2011. Epidemiology of *Pseudomonas cichorii*, the cause of lettuce midrib rot. Journal of Phytopathology 159, 298-305.
- RASHEED, M.K. 2009. Role of boron in plant growth: a review. Journal of Agricultural Research 47, 329-338.
- RIAZ, M.; MAHMOOD, R.; KHAN, S.N.; HAIDER, M.S.; RAMZAN, S. 2020. Onion tip burn: Significance, and response to amount and form of nitrogen. Scientia Horticulturae 261, 108773.
- SAGO, Y. 2016. Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. HortScience 51, 1087-1091.
- SAKAMOTO, M.; SUZUKI, T. 2015. Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red Wave). American Journal of Plant Sciences 6, 23-50.
- SALEH, S.A. 2008. Precision stressing by supplemental Ca and *Bacillus subtilis* FZB24 to improve quality of lettuce under protected cultivation. International Symposium on Application of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables 824. 297-302 pp.
- SAMARAKOON, U.; FYFFE, C.; BALE, J.; LING, P.; BASNAGALA, S.; DONLEY, N.; ALTLAND, J. 2017. Effect of electrical conductivity on the productivity and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. grown using nutrient film technique (NFT). International Symposium on Growing Media, Soilless Cultivation, and Compost Utilization in Horticulture 1266. 137-144 pp.
- SAMARAKOON, U.; PALMER, J.; LING, P.; ALTLAND, J. 2018. Quantifying the Effects of Electrical Conductivity, pH and Foliar Application of Calcium Chloride on Yield and Tipburn of *Lactuca sativa* L. Grown Using Nutrient Film Technique (NFT). ASHS Annual Conference.
- SANTOS COELLO, B.; RÍOS MESA, D. 2016. Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife, Tenerife, 133 p.
- SAURE, M.C. 2014. Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit—a reappraisal. Scientia Horticulturae 174, 151-154.
- SAURE, M.C. 1998. Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. Scientia Horticulturae 76, 131-147.
- SINGH, S.P.; SINGH, S.; RAJPUT, R.K.; KUMAR, R. 2018. Plant Mineral Nutrition: Functions, Deficiency and Toxicity Symptoms and Correcting Deficiency with Foliar Application of Nutrients. A Technique Achieving Maximum Economic Return. Review Paper. International Journal of Trend in Research and Development 5, 363-370.
- SON, J.E.; KIM, H.J.; AHN, T.I. 2020. Hydroponic Systems. En: KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (Eds.). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, Londres. 213-221 pp.
- STEINER, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil 15, 134-154.
- THOMPSON, R.C. 1926. Tipburn of lettuce. Bull. Colorado Agricultural Experimental Station. 311.
- TREJO-TÉLLEZ, L.I.; GÓMEZ-MERINO, F.C. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches. En Tech Open, Londres. 1-24 pp.
- UNO, Y.; OKUBO, H.; ITOH, H.; KOYAMA, R. 2016. Reduction of leaf lettuce tipburn using an indicator cultivar. Scientia Horticulturae 210, 14-18.
- VANHASSEL, P.; BLEYAERT, P.; VAN LOMMEL, J.; VANDELDELDE, I.; CRAPÉ, S.; VAN HESE, N.; HANSSSENS, J.; STEPPE, K.; VAN LABEKE, M.-C. 2015. Rise of nightly air humidity as a measure for tipburn prevention in hydroponic cultivation of butterhead lettuce. xxix International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1107. 195-202 pp.
- WIEN, H.C.; DE VILLIERS, D.S. 2005. Inducing Lettuce Tipburn with Relative Humidity Modification. HortScience 40, 1053C-1053.
- WISSEMEIER, A.H.; ZÜHLKE, G. 2002. Relation between climatic variables, growth and the incidence of tipburn in field-grown lettuce as evaluated by simple, partial and multiple regression analysis. Scientia Horticulturae 93, 193-204.
- YANG, Q.; LU, N.; WANG, L.; HUANG, X.; YANG, D.; SUN, J. 2018. Exogenous Spermidine Promoted Ca²⁺ Absorption in Lettuce Roots and Reduced the Incidence of Tipburn. Horticultural Science and Technology 36, 702-712.
- ZHANG, Y.; KACIRA, M.; AN, L. 2016. A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system. Biosystems Engineering 147, 193-205.

Combinación de tratamientos con fungicidas y nitrato de calcio para el control de la mancha marrón (*Alternaria alternata*) y su efecto en la producción de tangor ‘Murcott’

Publicado online 06 de abril de 2022

Alayón Luaces, P.¹; Chabbal, M.D.⁴; Piccoli, A.B.²; Yfran Elvira, M.M.³; Gaiad, J.E.¹; Giménez, L.I.⁴

RESUMEN

El control de la mancha marrón (*Alternaria alternata*) en los cítricos se realiza con la aplicación de fungicidas como mancozeb, iprodione, clorotalonil y de productos inductores de resistencia como fosfito de potasio y magnesio. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de aportes de nitrato de calcio a un plan de control sanitario (combinación de tratamientos con fungicidas) en el control de mancha marrón, la producción y la nutrición foliar de tangor -Murcott-. El experimento se realizó en Corrientes, Argentina, durante las campañas 2013-2014 y 2014-2015, en un lote de tangor ‘Murcott’ de 14 años de edad. En un arreglo factorial en bloques completos aleatorizados, se evaluó el aporte del nitrato de calcio (0, 125 y 250 kg por ha⁻¹) en parcelas con o sin tratamiento con fungicidas. Se determinó la incidencia y la severidad de la enfermedad, la producción por planta y el contenido foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. La aplicación de 125 kg ha⁻¹ de nitrato de calcio y el control sanitario minimizaron los daños de la enfermedad. La aplicación de nitrato de calcio más el control sanitario actuaron en forma aditiva logrando resultados significativos en la disminución de la severidad e incidencia y en el aumento de la producción. En el análisis del contenido de nutrientes se observó que el tratamiento con control sanitario y aporte de 125 kg ha⁻¹ de nitrato de calcio aumentaron los porcentajes de N y de Ca en hojas.

Palabras clave: nitrato de Ca, mancha marrón, mandarina.

ABSTRACT

Control of brown spot (Alternaria alternata) in citrus is done with the application of fungicides and products such as mancozeb, iprodione, chlorothalonil, and potassium or magnesium phosphite. The aim of this work was to evaluate the effect of calcium nitrate contributions to a sanitary program (combination of treatments with fungicides) on the control of brown spot, production, and foliar nutrition of tangor -Murcott-. The experiment was conducted in Corrientes, Argentina, during 2013-2014 and 2014-2015 production periods, on a 14-year-old tangor ‘Murcott’ grove. The contribution of calcium nitrate (0, 125 and 250 kg per ha⁻¹) on plots treated or not with fungicides was evaluated in a randomized complete block factorial arrangement. Incidence, severity, production per plant and foliar content of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium were determined. Application of 125 kg ha⁻¹ of calcium

¹Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra Fruticultura. Sargento Cabral 2131, CP3400 Corrientes, Argentina.

²Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra Química General e Inorgánica. Sargento Cabral 2131, CP3400 Corrientes, Argentina.

³Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra Física. Sargento Cabral 2131, CP3400 Corrientes, Argentina. Correo electrónico: mariyfran077@hotmail.com

⁴Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Cálculo Estadístico y Biometría. Sargento Cabral 2131, CP3400 Corrientes, Argentina.

nitrate and the sanitary program minimized disease damage. Application of calcium nitrate plus the sanitary program acted additively, significantly reducing the severity and incidence of the disease and increasing plant production. In the analysis of the nutrient contents, it was observed that the sanitary scheme and 125 kg ha⁻¹ of calcium nitrate increased the percentages of N and Ca in leaves.

Keywords: Ca nitrate, brown spot, tangerine.

INTRODUCCIÓN

La mancha marrón (ABS, por sus siglas en inglés: *Alternaria Brown Spot*) es una enfermedad causada por el hongo *Alternaria alternata* que afecta a todos los cítricos cultivados, principalmente tangelos y tangores. El ABS afecta brotes, hojas jóvenes y frutos; los síntomas se caracterizan por manchas necróticas negras parduzcas rodeadas por un halo amarillo (Vicent *et al.*, 2007). El ABS se disemina principalmente a través de conidios (esporas asexuales) del hongo y el proceso de colonización involucra la producción de toxinas específicas del hospedero (HST, host-specific toxins) (Tsuge *et al.*, 2013). La infección causada por *A. alternata* en las hojas de citrus induce una rápida peroxidación de lípidos, acumulación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y muerte celular (Chung, 2012). Esta enfermedad no solo disminuye la calidad comercial del fruto, sino que también provoca la abscisión de las frutas de las variedades más susceptibles (Peres *et al.*, 2003). Los tangelos y tangores resultantes de cruzamientos que involucran a la especie *Citrus reticulata* o *C. tangerina* son más susceptibles al ABS que aquellos cruzamientos con *C. deliciosa* (Reis *et al.*, 2007).

El inóculo necesario para nuevas infecciones proviene de esporas que se encuentran suspendidas en el aire, o de lesiones en hojas que están aún en los árboles o en la hojarasca del suelo. El desarrollo de la enfermedad varía considerablemente en función de la susceptibilidad del cultivar, la historia de la enfermedad en el lote y las condiciones ambientales de cada año (Bassimba *et al.*, 2014). Las frutas pueden ser afectadas inmediatamente luego de la caída de pétalos y se mantienen susceptibles hasta aproximadamente tres meses después (Timmer *et al.*, 2003).

El control de la enfermedad requiere de la aplicación de fungicidas (Vicent *et al.*, 2009; Timmer *et al.*, 2003). Entre los fungicidas de contacto, mancozeb, iprodione y clorotalonil tienen comprobada eficacia; de la misma forma productos como fosfito de potasio y magnesio han mostrado ser eficientes aliados en el control de esta enfermedad (Vicent *et al.*, 2007; Rodrigues Moreira Catão *et al.*, 2013). Fungicidas sistémicos del grupo químico de los triazoles y del grupo de las estrobilurinas son eficientes para controlar la enfermedad y necesarios para obtener frutos saludables y evitar su caída prematura (Miles *et al.*, 2004).

Para establecer los intervalos de pulverización es necesario tener en cuenta la frecuencia de las precipitaciones y la historia de la enfermedad en el lote, ya que la cantidad de inóculo depende de la presencia de esporas. En el noreste argentino, las altas precipitaciones y noches húmedas en el mes de diciembre proveen condiciones favorables para la infección (Dewdney y Timmer, 2014).

Las sales de calcio pueden emplearse con éxito para disminuir el daño por enfermedades en plantas cultivadas (Serrano *et al.*, 2013). Al respecto, Sugimoto *et al.* (2005) reportaron

que la aplicación preventiva de nitrato o cloruro de calcio disminuyó el daño por *Phytophthora sojae* en plantas de soja (*Glycine max* L.), explicando que esa disminución de la enfermedad estaba relacionada con el aumento del contenido de calcio en el tejido vegetal y a la acción directa sobre el patógeno (disminución en la producción de zoosporas por efecto de las sales); además, con nitrato de calcio obtuvieron mejores resultados que con cloruro de calcio. Este nutriente actúa como agente cementante de las células y aumenta la resistencia de los tejidos a patógenos, mejorando la calidad nutricional (Ciccarese *et al.*, 2013). Las paredes celulares vegetales no solo proporcionan estructura a la planta, sino que también actúan como barreras contra estreses bióticos y abióticos (Malinovsky *et al.*, 2014).

Tradicionalmente el control de las enfermedades se realiza mediante la aplicación de fungicidas químicos, sin embargo, el uso indiscriminado de estos compuestos ha impactado negativamente a los agroecosistemas y al medioambiente. De ahí la importancia de desarrollar otras alternativas, como el uso de sales minerales con acción fungicida, que también activan los mecanismos de defensa de las plantas. Las sales minerales utilizadas para el control de enfermedades deben ser eficaces, además de tener bajo impacto negativo al ambiente y ser inocuas para la salud humana. Es importante incrementar el conocimiento sobre el uso de las sales minerales como alternativa ambiental aceptable para la protección de cultivos. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto aditivo de la aplicación de nitrato de calcio a la combinación de tratamientos con fungicidas en el control de la mancha marrón (*Alternaria alternata*), la productividad y nutrición de plantas de tanger 'Murcott'.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el establecimiento Trébol Pampa, en la localidad de Mburucuyá, Corrientes, Argentina (28,06 S; 58,26 O), durante dos campañas consecutivas 2013-2014 (A2013) y 2014-2015 (A2014), en un lote comercial de tanger 'Murcott' (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck), de 14 años de edad injertado sobre trifol (Poncirus trifoliata L. Raf.), cuyo marco de plantación fue 6 x 3 m (556 árboles ha⁻¹). El diseño experimental fue un arreglo factorial en bloques completos aleatorizados, los factores fueron: Factor 1: Campaña con dos niveles (A2013 y A2014), Factor 2: nitrato de calcio, Ca(NO₃)₂, con tres niveles (0, 125 y 250 kg ha⁻¹) y Factor 3: Control Sanitario con dos niveles (Sin y Con control) (tabla 1), con cinco repeticiones (bloques). La parcela experimental estuvo constituida por tres árboles, los cuales recibieron los tratamientos: se utilizó el árbol central para registrar los datos.

Los niveles de Ca(NO₃)₂ aportan en porcentaje N:16, OCa: 26 y fue aplicado en partes iguales en diciembre y en marzo. Los días 17/09/2013 y 26/9/2014 se aplicó por planta a todas las

Nitrato de calcio	Control sanitario	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Mar
F0 ¹	C0 ²	----	----	----	----	----	----	----
F0	C1	Cu	Di	Cu	Py+Fo	Cu	Py+Fo	Cu
F1	C0	----	----	----	----	Ca(NO ₃) ₂	----	Ca(NO ₃) ₂
F1	C1	Cu	Di	Cu	Py+Fo	Ca(NO ₃) ₂ +Cu	Py+Fo	Ca(NO ₃) ₂ +Cu
F2	C0	----	----	----	----	Ca(NO ₃) ₂	----	Ca(NO ₃) ₂
F2	C1	Cu	Di	Cu	Py+Fo	Ca(NO ₃) ₂ +Cu	Py+Fo	Ca(NO ₃) ₂ +Cu

Tabla 1. Detalle de la aplicación de nitrato de calcio y control sanitario, según los meses.

¹ F0, 0 kg ha⁻¹; F1, 125 kg ha⁻¹; F2, 250 kg ha⁻¹.

² C0, sin control; C1, combinación de oxiclورو de cobre (Cu) 0,25%, difenoconazole (Di) 0,0 %, pyraclostrobin (Py) 0,02% y fosfito de potasio (Fo) 0,2%.

parcelas, 900 g de 15-06-15-06 que aporta N: 15%, P₂O₅: 6%, K₂O: 15% y MgO: 6%. Las aplicaciones de productos fungicidas se realizaron con motomochila marca STIHL 420® y el volumen pulverizado promedio por planta fue de 2,5 L.

Variables analizadas

Para evaluar los daños por mancha marrón se seleccionaron 40 frutos por árbol mediante un muestreo aleatorio simple y se calculó la incidencia (I) y severidad (S). La incidencia se expresó en porcentaje de fruta afectada por árbol, la severidad mediante la siguiente escala expresada en grados según porcentaje de la superficie de los frutos con síntomas de la enfermedad: Grado 0 (G0): Sin daños; Grado 1 (G1) 1 a 15%; Grado 2 (G2): 16 a 30%; Grado 3 (G3): 31 a 45%; Grado 4 (G4): > de 46%. El cálculo de severidad se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$S = [0(\text{N.º Frutos G0}) + 1(\text{N.º Frutos G1}) + 2(\text{N.º Frutos G2}) + 3(\text{N.º Frutos G3}) + 4(\text{N.º Frutos G4})] / \text{Total de frutos muestreados}$$

Al momento de la cosecha se determinó la producción por planta (kg planta⁻¹). Para determinar el contenido de nutrientes en hojas; en abril de cada campaña se muestrearon hojas de ramas fructíferas, de siete meses correspondiente a la brotación de primavera provenientes de los cuatro puntos cardinales de la planta. Se determinaron el contenido de nitrógeno (N) por el método de Kjeldhal; fósforo (P) por espectrometría

de absorción molecular (método Murphy-Riley), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica (Kalra, 1998).

Análisis estadísticos

Se evaluó de manera conjunta la incidencia, la severidad y la producción por medio de un Análisis de la Varianza Multivariado (MANOVA), con cinco repeticiones. El modelo estadístico utilizado incluyó los factores: Bloque, Campaña, Nitrato de Calcio, Control Sanitario y las interacciones dobles de Campaña, Nitrato de Calcio y Control Sanitario. Para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se utilizó la transformación de Box y Cox, $Y = (Y^{\lambda} - 1) / \lambda$, $\lambda = 0,53$ y logaritmo natural para las variables severidad y producción respectivamente. Los vectores de medias se compararon con la prueba de Hotelling, $\alpha = 0,05$ (Hair et al., 2005).

En lo referente al contenido de nutrientes en hojas (N, P, K, Ca y Mg), se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y Biplot.

El programa utilizado para el análisis de datos fue InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de cada tratamiento para las variables Incidencia, Severidad y Producción se presentan en la tabla 2.

Nitrato de calcio ¹	Control sanitario ²	Incidencia (%)	Severidad	Producción (kg Planta ⁻¹)	Prueba Hotelling Alfa=0,05
F1	C1	39,27	0,46	86,65	C
F2	C1	47,42	0,57	80,39	B C
F0	C1	46,99	0,6	74,14	B C
F1	C0	61,3	0,82	71,09	B
F2	C0	73,57	1,14	74,77	A
F0	C0	87,02	1,47	55,74	A

Tabla 2. Incidencia, severidad y producción promedio, en árboles con distintos tratamientos de nitrato de calcio (F0, F1 y F2) y control sanitario (C0 y C1). Resultados de la prueba de Hotelling.

Medias con letras iguales no difieren significativamente $p > 0,05$.

¹ F0: 0 kg ha⁻¹, F1: 125 kg ha⁻¹ y F2: 250 kg ha⁻¹ de Ca(NO₃)₂.

² C0: sin control; C1: combinación de oxiclورو de cobre 0,25%, difenoconazole 0,03%, pyraclostrobin 0,02% y fosfito de K 0,2%.

Mes	Campaña 2013-2014	Campaña 2014-2015
Agosto	42	0
Septiembre	15	135
Octubre	202	81
Noviembre	303	95
Diciembre	153	386
Enero	136	238
Febrero	169	153
Marzo	240	169
Abril	232	145

Tabla 3. Precipitación acumulada (mm) por mes y campaña.

Fuente propia del establecimiento Trébol Pampa, localidad de Mburucuyá, Corrientes, Argentina.

El análisis de la varianza multivariado arrojó significancia ($p < 0,001$) de cada factor.

Se puede observar que las aplicaciones de productos fungicidas (combinación de oxiclورو de Cu 0,25%, difenoconazole 0,03%, pyraclostrobin 0,02% y fosfito de K 0,2%) y la aplicación de nitrato de calcio [nivel F1 (125 kg ha^{-1} de CaNO_3)] producen efectos aditivos logrando los mejores resultados en el control sanitario y la producción respecto de los tratamientos sin aporte de nitrato de calcio (F0) y sin control sanitario (C0). Miles *et al.* (2004) y Llorens *et al.* (2013) estudiaron el control de *Alternaria* en mandarina Fortune con productos como estrobilurinas (pyraclostrobin), mancozeb y cobre (oxiclورو

de cobre y óxido cuproso), demostrando que se logra un buen control con los fungicidas que tienen penetración en el tejido y con los de contacto, aunque sugieren que estos deberían alternarse. Asimismo, Agostini *et al.* (2003) aplicando estrobilurinas sobre la brotación en plantas en macetas observaron reducción de la severidad de la enfermedad en comparación con el control no tratado. Los fosfitos exhiben un complejo modo de acción, ya que tienen la capacidad de controlar enfermedades en diversos cultivos, actuando directamente en el desarrollo del patógeno e indirectamente mediante la estimulación de respuestas de defensa de las plantas (Lobato *et al.*, 2011; Eshraghi *et al.*, 2011; Machinandarena *et al.*, 2012).

Las ventajas del control sanitario se visualizan en la combinación F0-C1, con una incidencia del 46,99% y una producción de $74,14 \text{ kg planta}^{-1}$ (promedio ponderado de dos campañas para todos los datos), representando una disminución de la incidencia del 40% y un aumento de $18,4 \text{ kg planta}^{-1}$ respecto del tratamiento sin fertilización y sin control sanitario (F0-C0). Sin embargo, cuando se aplica 250 g de nitrato de calcio sin control sanitario, se manifiesta un aumento en la brotación que resultaría favorable para el desarrollo de la enfermedad. Conjuntamente las condiciones ambientales, especialmente las precipitaciones, que se presentaron durante el desarrollo de la investigación (tabla 3), fueron las óptimas para favorecer las etapas infectivas del hongo, lo cual se vio reflejado en una mayor incidencia y severidad en la fruta con aporte de 250 g de nitrato de calcio, sin diferenciarse del tratamiento testigo (F0-C0). Asimismo, los resultados encontrados por Saborio *et al.* (2000) en papaya o mamón (*Carica papaya*) en Costa Rica, con pulverizaciones de CaCl_2 y CaCO_2 no lograron disminuir la severidad de la enfermedad en el control de *Colletotrichum gloeosporioides*. No obstante, el tratamiento con aporte de 125 g de nitrato de calcio sin control sanitario logró diferenciarse

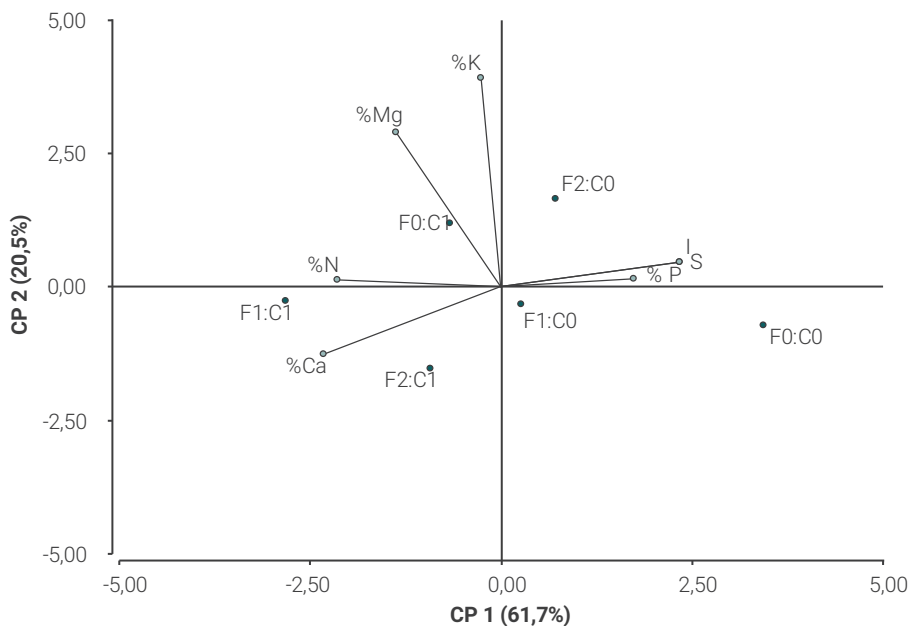


Figura 1. Biplot resultante de contenido de nutrientes foliares (N, P, K, Ca y Mg), respecto del agregado de nitrato de calcio (F0, F1 y F2) y del control sanitario (C0 y C1).

(F0: 0 kg ha^{-1} , F1: 125 kg ha^{-1} y F2: 250 kg ha^{-1} de $\text{Ca(NO}_3)_2$ y C0: sin control y C1: combinación de oxiclورو de Cu (Cu) 0,25%, difenoconazole (Di) 0,03%, pyraclostrobin (Py) 0,02% y fosfito de K (Fo) 0,2%).

significativamente de los tratamientos testigos [sin aporte de nitrato de calcio (F0) y sin control sanitario (C0)].

En el tratamiento F1-C1 (con aporte de 125 kg de nitrato de calcio ha⁻¹ y control sanitario), se encontraron valores significativamente mayores de producción de frutos (kg planta⁻¹) en comparación con el resto de los tratamientos. Resultados similares obtuvieron Berdeja-Arbeu *et al.* (2016) en lima Persa fertilizada con 2% de nitrato de calcio (15% N y 34% Ca), encontrando rendimiento acumulado de fruto significativamente mayor respecto del testigo.

Del análisis de Componentes Principales y Biplot realizado con los contenidos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), la Incidencia y la Severidad se pueden observar en la figura 1 que las componentes principales 1 y 2 (CP 1, CP 2) representan el 61,7% y 20,5% respectivamente de la variación total. Mientras que la Incidencia y la Severidad estuvieron asociadas a tratamientos sin Control Sanitario (C0) ni aportes de nitrato de calcio (N0-C0). Existen estudios en otros cultivos sobre la influencia que tiene la nutrición, especialmente con ciertos elementos minerales. Uno de los elementos que más influye sobre el control de la expresión de enfermedades es el calcio (Yáñez Juárez *et al.*, 2016; Jiang *et al.*, 2013). El calcio está considerado como el principal responsable de la constitución de la membrana de las células y se acumula entre pared celular y lámina media, en donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, lo que confiere la estabilidad y mantiene la integridad de estas; desde este punto de vista, el calcio tiene gran importancia en la economía del agua (Palacios, 2005; Agustí, 2010; Rincón Pérez-Martínez Quintero, 2015). Este nutriente actúa como agente cementante de las células, además se encuentra estrechamente relacionado con la actividad meristemática, tiene influencia en la regulación de los sistemas enzimáticos y la actividad de fitohormonas y aumenta la resistencia de los tejidos a patógenos, incrementando la vida útil poscosecha y calidad nutricional (Paniagua *et al.*, 2013; Aghdam *et al.*, 2012; Ciccavese *et al.*, 2013). Las sales de calcio pueden emplearse con éxito para mejorar la tolerancia a enfermedades en plantas cultivadas (Serrano *et al.*, 2013).

Los reportes acerca del efecto de las sales minerales contra fitopatógenos del follaje y raíces de plantas cultivadas son numerosos y aunque su eficacia es generalmente menor que la de los fungicidas convencionales y no los podrían sustituir por completo (Deliopoulos *et al.*, 2010), su integración como parte de un programa de manejo integrado puede permitir la disminución del número de aplicaciones de fungicidas y reducir la posibilidad de generar resistencia a fungicidas por los hongos.

CONCLUSIONES

El efecto aditivo de la aplicación de 125 kg ha⁻¹ de nitrato de calcio a la combinación de tratamientos con fungicidas resultó tener efectos favorables en el control de la mancha marrón por *Alternaria* (*Alternaria alternata*), en la productividad y contenidos foliares de N y Ca en plantas de tanger 'Murcott'.

BIBLIOGRAFÍA

- AGHDAM, M.S.; HASSANPOURAGHDAM, M.B.; PALIYATH, G.; FARMANI, B. 2012. The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers. *Scientia Horticulturae*.144 (Supplement C):102-15.
- AGOSTINI, J.P.; BUSHONG, P.M.; TIMMER, L.W. 2003. Greenhouse Evaluation of Products That Induce Host Resistance for Control of Scab, Melanose, and *Alternaria* Brown Spot of Citrus. *Plant Disease* 87 (1), 69-74.
- AGUSTI, M. 2010. *Fruticultura*. 2 ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 507 p.
- BASSIMBA, D.D.M.; MIRA, J.L.; VICENT, A. 2014. Inoculum sources, infection periods, and effects of environmental factors on *Alternaria* brown spot of mandarin in Mediterranean climate conditions. *Plant Disease* 98 (3), 409-417.
- BERDEJA-ARBEU, R.; HERNÁNDEZ-SAYAGO, K.; SALAZAR-SANDOVAL, R.I.; VÁZQUEZ-CRUZ, F.; MÉNDEZ-GÓMEZ, J.; MORENO-VELÁZQUEZ, D. 2016. Aspersiones foliares con nitratos en lima 'Persa'. 2016. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2 (3), 72-77.
- CICCAVESE, A.; STELLACCI, A.M.; GENTILESCO, G.; RUBINO, P. 2013. Effectiveness of pre- and post-ripening calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology* 75 (Supplement C), 135-41.
- CHUNG, K.R. 2012. Stress Response and Pathogenicity of the Necrotrophic Fungal Pathogen *Alternaria alternata* Review Article. *Scientifica*: 1-17.
- DELIPOPOULOS, T.; KETTLEWELL, P.S.; HARE, M.C. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. *Crop Protection*. 29:1059-1075.
- DEWDNEY, M.M.; TIMMER, L.W. 2014. Florida Citrus Pest Management Guide: *alternaria* Bown Spot. 1-3.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat [Internet]. Version 2018. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat; 2017.
- ESHRAIGHI, L.; ANDERSON, J.; ARYAMANESH, N.; SHEARER, B.; MCCOMB, J.; HARDY, G.E.S.; O'BRIEN, P.A. 2011. Phosphite primed defence responses and enhanced expression of defence genes in *Arabidopsis thaliana* infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology* 60, 1086-1095.
- HAIR, J.K.Jr.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. 2005. *Análisis Multivariante*, 5 ed. Prentice Hall Iberia, Madrid, 799 p.
- JIANG, J.F.; LI, J.G.; DONG, Y.H. 2013. Effect of calcium nutrition on resistance of tomato against bacterial wilt induced by *Ralstonia solanacearum*. *Eur. J. Plant Pathol.* 136, 547-555.
- KALRA, P.Y. 1998. *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC Press. Boca Raton. 300 p.
- LOBATO, M.C.; MACHINANDIERENA, M.F.; TAMBASCIO, C.; DOSIO, G.A.A.; CALDIZ, D.O.; DALIO, G.R.; ANDREU, A.B.; OLIVIERI, F.P. 2011. Effect of foliar applications of phosphite on post-harvest potato tubers. *European Journal Plant Pathology* 130,155-163.
- LORENS, E.; FERNÁNDEZ-CRESPO, E.; VICEDO, B.; LAPENA, L.; GARCÍA-AGUSTÍN, P. 2013. Enhancement of the citrus immune system provides effective resistance against *Alternaria* brown spot disease. *Journal of Plant Physiology* 170, 146-154.
- MACHINANDIERENA, M.F.; LOBATO, M.C.; FELDMAN, M.L.; DALEO, G.R.; ANDREU, A.B. 2012. Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology* 169, 1417-1424.
- MALINOVSKY, F.G.; FANGEL, J.U.; WILLATS, W.G.T. 2014. The role of the cell wall in plant immunity. *Frontiers in Plant Science* 5 (178), 1-12.
- MILES, A.K.; WILLINGHAM, S.L.; COOKE, A.W. 2004. Field evaluation of strobilurins and a plant activator for the control of citrus black spot. *Aust. Plant Pathol.* 33, 371-378.
- PALACIOS, J. 2005. *Citricultura*. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 518 p.
- PANIAGUA, A.C.; EAST, A.R.; HINDMARSH, J.P.; HEYES, J.A. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 13-9.
- PERES, N.A.R.J.; AGOSTINI, J.P.; TIMMER, L.W. 2003. Outbreaks of *alternaria* brown spot of citrus in Brazil and Argentina. *Plant Disease* (87),750.
- REIS, R.F.; DE ALMEIDA, T.F.; STUCHI, E.S.; DE GOES A. 2007. Susceptibility of citrus species to *Alternaria alternata*, the causal agent of the *Alternaria* brown spot. *Scientia Horticulturae* 113, 336-342.
- RINCÓN-PÉREZ, A.; MARTÍNEZ-QUINTERO, E. 2015. Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos Hoy* 23(34), 13-25.
- RODRIGUES MOREIRA CATÃO, H.C.; PEREIRA SALES, N.L.; QUEIROZ AZEVEDO, D.M.; DIAS DA SILVA FLÁVIO, N.S.; BATISTA DE CAMPOS MENEZES, J.; VIEIRA BARBOSA, L.; SAVELLI MARTINEZ, R.A. 2013. Fungicides and alternative products in the mycelial growth and germination control of *Alternaria tomatophila*. *IDESIA* (Chile) 31(3), 21-28.
- SABORIO, D.; SAENZ, V.; ARAUZ, L.F.; BERTSCH, F. 2000. Efecto del calcio en aplicaciones precosecha y poscosecha sobre la severidad de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y la calidad de frutos de Papaya (*Carica papaya*). *Agronomía Costarricense*, 24(2), 77-88.

SERRANO, M.S.; FERNÁNDEZ, R.P.; DE VITA, P.; SÁNCHEZ, M.E. 2013. Calcium mineral nutrition increases the tolerance of *Quercus ilex* to *Phytophthora* root disease affecting oak rangeland ecosystems in Spain. *Agroforestry Systems*. 87,173-179.

SUGIMOTO, T.; AINO, M.; SUGIMOTO, M.; WATANABE, K. 2005. Reduction of *Phytophthora* stem rot disease on soybeans by the application of CaCl_2 and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. *J. Phytopathol.* 153,536-543.

TIMMER, L.W.; PEEVER, T.L.; SOLEL, Z.; AKIMITSU, K. 2003. *Alternaria* diseases of citrus – Novel pathosystems. *Phytopathologia Mediterranea*. (42), 99-112.

TSUGE, T.; HARIMOTO, Y.; AKIMITSU, K.; OHTANI, K.; KODAMA, M.; AKAGI, Y.; EGUSA, M.; YAMAMOTO, M.; OTANI, H. 2013. Host-selective toxins pro-

duced by the plant pathogenic fungus *Alternaria alternata*. *FEMS Microbiology*, Amsterdam, 37, 44-66.

VICENT, A.; ARMENGOL, J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. 2007. Rain-fastness and persistence of fungicides for control of *Alternaria* brown spot of citrus. *Plant Disease*, 91,393-399.

VICENT, A.; ARMENGOL, J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. 2009. Protectant activity of reduced concentration copper sprays against *Alternaria* brown spot on 'Fortune' mandarin fruit in Spain. *Crop Protection*, 28,1-6.

YÁÑEZ JUÁREZ, M.G.; RUVALCABA, L.P.; ZAVALA-MEJÍA, E.; AYALA TAFOYA, F.; VELÁZQUEZ ALCARAZ, T.J.; DÍAZ VALDÉS, T. 2016. Sales minerales para el control de la cenicilla (*Oidium* sp.) en pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7, 1551-1561.

Implementación y resultados de un programa de mejora genética en ovinos

Publicado online 06 de abril de 2022

Mueller, J.P.¹; Aranguren, E.M.²

RESUMEN

La raza ovina Ideal o Polwarth originaria de Australia se cría en el centro del Litoral argentino proveyendo ingresos a sus productores a través de la venta de lana y carne. Criadores de esa región, interesados en afinar las lanas, aumentar o al menos mantener el peso de vellón y aumentar los pesos corporales de sus ovinos Ideal formaron la sociedad "Cabañas Integradas" e implementaron en el año 2003 un programa de mejoramiento genético. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el resultado de ese programa cumplidos quince años de ejecución. El programa de mejoramiento se basó en la formación de un núcleo con las mejores ovejas de los criadores y la provisión de carneros nacidos en el núcleo a los planteles individuales de sus establecimientos. Después de la introducción inicial de carneros todos los reemplazos de carneros y ovejas se basó en candidatos nacidos en el propio núcleo o en los planteles individuales. Para la selección de reemplazos se usaron índices de selección basados en una función objetivo con valores de cría de caracteres de interés ponderados por su importancia económica. Los caracteres fueron el peso al destete (PCD) y el peso a la esquila, peso de vellón y diámetro medio a la primera (PCE1, PVS1 y PDF1) y segunda esquila (PCE2, PVS2 y PDF2). La importancia económica se determinó como beneficio marginal, precio menos costo, por unidad de cambio en la característica. Los valores de cría expresados como diferencias esperadas en la progenie (DEPs) se obtuvieron de análisis mixtos multicarácter con propiedades BLUP del servicio de evaluación genética de ovinos "Provino Avanzado" operado por el INTA. Para su cálculo se utilizaron parámetros genéticos y fenotípicos calculados de la propia población. Las tendencias genéticas resultaron similares para los tres pesos corporales (PCD, PCE1 y PCE2) con tasas de 0,12 a 0,14 kg por año. Las ganancias genéticas acumuladas en los 15 años llegaron a los 2,5 kg. No se logró mejora genética en los pesos de vellón (PVS1 y PVS2), pero se logró afinar la lana (PDF1 y PDF2) en cerca de un micrón. Las tendencias genéticas en los siete caracteres se resumen en el incremento del ingreso económico de aproximadamente 1% por año. Las tendencias fenotípicas resultaron con bajo coeficiente de determinación, pero en las direcciones deseadas. Tomando el promedio de los primeros y últimos tres años del programa y en el caso de borregos/as el peso corporal a la primera esquila aumentó unos 3,1 kg y el diámetro medio de fibras se redujo 1,5 μm . Sería deseable que más criadores Ideal comiencen sus propios programas de mejoramiento basados en evaluaciones Provino Avanzado, eventualmente vinculándose a Cabañas Integradas para su evaluación genética conjunta y así aprovechar mejor la variabilidad genética existente en la raza.

Palabras clave: Polwarth, Ideal, lana, valor de cría, índice de selección, objetivo de cría.

ABSTRACT

The Ideal or Polwarth sheep breed originated in Australia, is raised in the centre of the Argentine Litoral, providing income to producers through wool and meat. Breeders from the region, interested in refining the wool, increasing or at least maintaining the fleece weight and increasing the body weights of their Ideal sheep, formed the association "Cabañas Integradas" and started a genetic improvement program in 2003. The aim of this study was to evaluate the results of this program after completing fifteen years in operation. The program was based on a nucleus herd with the best ewes available in order to produce rams for the individual herds. After the initial introduction of rams

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bariloche, Modesta Victoria 4450, San Carlos de Bariloche, 8400 Río Negro, Argentina. Correo electrónico: mueller.joaquin@inta.gov.ar

²Estancia Aguay Rincón, Dr. Tomás Pozzi 649, Curuzú Cuatíá (3460) Corrientes, Argentina.

all replacements of rams and ewes were based on candidates born in the nucleus or in the individual herds. For the selection of replacements, selection indexes were used based on an objective function with breeding values of traits of interest weighted by their economic importance. The goal traits were weaning weight (PCD) and shearing weight, fleece weight and mean fibre diameter at first (PCE1, PVS1 and PDF1) and second shearing (PCE2, PVS2 and PDF2). The economic importance was determined as marginal benefit, price minus cost, per unit of change in each trait. The breeding values expressed as expected progeny differences (DEPs) were obtained from mixed multivariate analyses with BLUP properties using "Provino Avanzado" the national sheep genetic evaluation service operated by INTA. For its calculation, genetic and phenotypic parameters calculated from the population itself were used. The genetic trends were similar for the three body weights (PCD, PCE1 and PCE2) with rates of 0.12 to 0.14 kg per year. The accumulated genetic gains in the 15 years reached 2.5 kg. No genetic improvement was achieved in the fleece weights (PVS1 and PVS2), but it was possible to refine the wool (PDF1 and PDF2) by close to one micron. The genetic trends in the seven traits are summarized in the increase in economic income of approximately 1% per year. The phenotypic trends resulted with a low coefficient of determination, but in the desired directions. Taking the average of the first and last three years of the program, the body weight at the first shearing increased 3.1 kg and the mean fibre diameter decreased by 1.5 μm . It would be desirable for more Ideal breeders to start their own improvement programs based on Provino Avanzado evaluations, eventually linking to Cabañas Integradas for a joint genetic evaluation and thus take better advantage of the existing genetic variability in the breed.

Keywords: Polwarth, Ideal, wool, breeding value, selection index, breeding goal.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La raza ovina Ideal fue creada por cruzamientos en el estado de Victoria del sur de Australia en 1880 con el nombre de Polwarth con base en un 25% de genes Lincoln y 75% de Merino. La raza fue introducida en la Argentina por el criador Federico Garat desde el Uruguay en el año 1940. Más adelante se formó la Asociación Argentina de Criadores de Ideal (AACI) con el propósito de su promoción y mejora genética. Aunque no existen estadísticas de existencias ovinas discriminadas por raza, se estima un total de 188.000 cabezas de ovinos Ideal en unas 380 majadas distribuidas en el sur de la provincia de Corrientes y norte de Entre Ríos (Aranguren, 2014). La raza Ideal es de doble propósito carne-lana, usada como línea materna y conocida por la producción de lana suave, fina, de color blanco y mechas largas en un vellón más bien suelto, apropiado a zonas de altas precipitaciones. Aparte de generar ingresos por venta de lana y carne, las majadas ovinas en general son importantes para el control de renovalos y por ello comunes en sistemas de pastoreo mixto ovino-bovino en campos naturales del Litoral.

En el año 1990 seis asociaciones de criadores, incluyendo la AACI, y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) firmaron un convenio de colaboración recíproca que inauguró formalmente el Servicio Nacional de Evaluación Genética de Ovinos o "Provino" de la Argentina. Un diagnóstico de la raza Ideal indicaba que la población de pedigrí era demasiado pequeña para abastecer adecuadamente la demanda de carneros de las majadas generales y que el mérito genético de los carneros ofrecidos era subjetivo. En función de ese diagnóstico se propuso un plan de apertura de pedigrí y la organización de pruebas de progenie de padres de la raza (Mueller, 1995). La propuesta de apertura de pedigrí encontró resistencia entre varios criadores, pero la propuesta de establecer pruebas de progenie de padres fue aceptada. La primera prueba de progenie se organizó en el establecimiento Aguay Rincón en 1997 y se continuó en El Cerro. En los tres años de prueba se evaluaron

14 padres provenientes de las cabañas Don Serafín, Tierras del Timboy, Aguay Rincón, San Agustín y Yaguareté. Se probaron además padres importados de El Renuevo de Uruguay y Fairfield de Australia (Mueller y Rivero, 2003).

Las pruebas de progenie se discontinuaron, pero las evaluaciones genéticas Provino Básico, aquellas que permiten comparaciones de animales de un mismo grupo contemporáneo, continuaron en varios establecimientos. Sin embargo, esas evaluaciones no permiten comprobar progreso genético. A mediados del año 2003 tres productores del sur de Corrientes con plantales y majadas generales Ideal desde hacía más de 30 años decidieron emprender en conjunto un programa de mejora genética de sus ovinos utilizando evaluaciones genéticas Provino Avanzado, aquellas que permiten comprobar progreso genético. El objetivo de mejora genética era disminuir el diámetro de fibra de la lana considerando los precios favorables y sostenidos para lanas más finas, mantener o aumentar el peso de vellón y aumentar el peso corporal de sus animales. Los tres productores formaron la sociedad "Cabañas Integradas", acordaron formar un núcleo productor de carneros con las mejores ovejas de los tres campos y acordaron aplicar un programa de selección. Aunque la estructura empresarial de Cabañas Integradas se modificó a través de los años, el programa de mejoramiento genético continuó. En este trabajo se describen el diseño, la implementación y los resultados obtenidos al cabo de 15 años de ejecución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

Los tres establecimientos son La Amadito ubicado en Paso de los Libres, Nueva Italia y Aguay Rincón, estos dos últimos ubicados en la zona de Curuzú Cuatiá. Con base en las necesidades de carneros de los plantales de los tres establecimientos con aproximadamente 200 ovejas cada uno, una pre-

sión de selección deseable y consideraciones sobre la tasa de consanguinidad, se decidió formar un núcleo de 300 ovejas en dos etapas. Para el primer servicio del núcleo, realizado entre diciembre de 2003 y febrero de 2004 se seleccionaron visualmente las mejores 70 ovejas de cada plantel individual. Esas ovejas se sirvieron con tres carneros con registros de finura de la lana inferiores a 24 μm comprados en Uruguay y Brasil. Al segundo servicio se contó con mediciones de finura de la lana de todas las ovejas del núcleo, lo que permitió descartar aquellas de diámetro mayor a 24,5 μm y sumar otras seleccionadas para completar las 300 planificadas. Además, se sumaron otros dos carneros adquiridos en Uruguay. Al tercer servicio se utilizó como padre el primer borrego seleccionado del propio núcleo descartando al padre importado con progenie inferior. A partir de ese servicio también se comenzaron a usar borregos del núcleo en los planteles de los tres establecimientos. Los reemplazos de ovejas inferiores y viejas se realizaron con las mejores borregas nacidas en el propio núcleo y una proporción cercana al 50% con borregas seleccionadas en los tres campos. De esta manera quedó establecido un sistema de núcleo abierto productor de carneros para los tres socios de Cabañas Integradas.

El diseño inicial basado en el núcleo manejado en La Amadito proveyendo carneros a los tres planteles individuales fue variando a través del tiempo por diferentes motivos. A partir del año 2006 el plantel de Nueva Italia pasó a manejarse en Aguay Rincón. A partir del año 2008 la cría de borregos/as nacidos en el núcleo de La Amadito se realizó en Aguay Rincón. Ese año también comenzó la evaluación genética conjunta de los planteles individuales y del núcleo, incrementándose la base genética original. A partir del año 2017 el núcleo en La Amadito se redistribuyó entre los socios. En otras palabras, el trabajo de mejoramiento genético iniciado con el núcleo en La Amadito prosiguió en los planteles individuales y sigue actualmente en Aguay Rincón con aproximadamente 400 ovejas de cría.

Manejo de los animales, registros de producción y genealogía

El calendario de manejo entre establecimientos y a lo largo de los años varió según circunstancias particulares. En general el servicio del núcleo y de los planteles se realizó en los meses de diciembre y febrero con pariciones en mayo y junio. El servicio siempre fue natural y en potreros separados por padre. Los potreros de cada campo se consideraron similares y las ovejas se asignaron al azar a cada potrero quedando en ellos hasta el destete de sus corderos. En todo momento el núcleo y los planteles individuales se manejaron en campo natural sin suplementación y con el protocolo sanitario habitual de la región. En marzo se practicaron ecografías para detectar ovejas múltiparas y secas que eran separadas para un manejo diferencial. A la parición se identificaba fecha, sexo y tipo (simple o múltiple) de nacimiento de los corderos. El padre de cada cordero quedaba identificado con el potrero de nacimiento. En agosto o septiembre se esquilaban los corderos a los fines de emparejar el tiempo de crecimiento de lana a la primera esquila de vellón completo. En octubre se destetaron los corderos registrando su peso corporal (PCD). Previo a la primera esquila se realizó la calificación visual de borregos/as en tres atributos, aquellos relacionados con la calidad de lana, el cuerpo y la pureza racial. La calificación la asignaron los propios criadores con puntajes de 1 a 3, donde una calificación 1 es para animales inferiores, 2 para animales promedio y

3 para animales superiores. A la esquila, en septiembre y con 12 meses de crecimiento de la lana, se registró el peso de vellón sucio (PVS1) y el peso corporal sin lana (PCE1). Además, se extrajo una muestra de lana de la zona del costillar del vellón para la determinación del promedio de diámetros de fibra (PDF1) en los laboratorios de lanas del INTA Bariloche o del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL).

Cabe señalar que en los primeros años del programa el análisis de las muestras de lana incluía la determinación del rinde al lavado para el cálculo del peso de vellón limpio y su uso en los índices de selección. Ese análisis se abandonó por razones logísticas, exigía el envío de un gran volumen de lana al laboratorio del INTA Bariloche (el análisis de rinde al lavado exige un mayor tamaño de muestra que el análisis de finura) y porque los rindes al lavado eran sistemáticamente muy altos y por ello los pesos de vellón sucio y limpio, muy semejantes. En marzo del año siguiente, cuando los carneros cortan los 4 dientes y tienen 7 meses de crecimiento de lana, se realizó una segunda esquila registrando pesos de vellón (PVS2), pesos corporales (PCE2) y promedios de diámetro de fibras (PDF2) obtenido del análisis de muestras de lana. Esa segunda esquila y sus datos permitieron seleccionar y reservar reproductores para el siguiente servicio y presentar los restantes carneros para venta con media lana e información objetiva en los remates realizados anualmente en noviembre. Todos los registros genealógicos y registros de producción se mantuvieron en planillas de cálculo Excel y en bases de datos permanentes del sistema SAS (2009).

Definición de objetivos de mejora genética

Los caracteres de los animales para mejorar genéticamente eran la finura de la lana de borrego y de adulto, representada en las mediciones de PDF1 y PDF2, el peso corporal al destete, a la edad de borrego y de adulto, representado en las mediciones de PCD, PCE1 y PCE2 y el peso de vellón de borrego y adulto, representado con mediciones de PVS1 y PVS2. A los fines de determinar la importancia relativa de los caracteres para mejorar genéticamente se realizó un análisis bioeconómico de una majada Ideal típica, calculando el beneficio económico que se lograba por unidad de cambio en cada carácter siguiendo la metodología propuesta por Ponzoni (1979). Para ello se consideró el beneficio económico como la diferencia entre el precio por unidad de producto (P) y su costo de producción (C) tomando en cuenta la cantidad de expresiones (e) de esos beneficios en la vida útil de una oveja, tal que la importancia económica del carácter i es $w_i = e_i(P_i - C_i)$.

La cantidad de expresiones de cada carácter se calculó a partir de parámetros biológicos y productivos promedio de las tres majadas de Cabañas Integradas. Estos parámetros son el porcentaje de señalada, mortandad entre señalada y primera esquila, mortandad de adultos y edad al primer y al último parto. Los precios por kg de cordero, kg de borrego y kg de adulto como así también los precios por kg de lana se obtuvieron del resultado de las ventas efectivamente realizadas por los socios de Cabañas Integradas. Se consideró como un costo de producción la reducción de los ingresos por el incremento de requerimientos nutricionales por mejoramiento genético, traducidos en reducción de la dotación. Con este criterio, Álvarez *et al.* (2014) calcularon que el costo de aumentar el peso al destete representa el 26,7% del precio del kg de cordero y el costo de incrementar el peso adulto de las ovejas representa el

64,7% del precio del kg de animales adultos. Los valores económicos se ajustaron en la medida en que se modificaban los precios y costos relativos. Con los valores económicos se definió una función objetivo H como la sumatoria de los valores de cría de los siete caracteres de interés ponderados con sus valores económicos tal que $H = \sum_{i=1}^7 w_i x \hat{a}_i$, donde \hat{a}_i es el valor de cría predicho para la característica i (Hazel, 1943).

Estimación de mérito genético

Con los nacimientos del año 2004 comenzó la evaluación genética de los ovinos del núcleo con la metodología usada por el servicio Provino Avanzado. El modelo estadístico utilizado para estimar los méritos genéticos es multicarácter (Henderson y Quaas, 1976), incluyendo todas las variables de la función objetivo, con grupo contemporáneo como efecto fijo. El grupo contemporáneo se definió como la combinación de campo de nacimiento, año de nacimiento y sexo. El tipo de nacimiento se incluyó en el modelo como efecto fijo para peso al destete y para caracteres de primera esquila (PCE1, PVS1 y PDF1). En los primeros años, el peso al destete se ajustó linealmente a 120 días, luego se optó por no hacer ese ajuste y en cambio incluir la edad cuadrática como covariable del peso al destete.

El modelo multicarácter aplicado fue el siguiente:

$$y = Xb + Za + e, \text{ donde}$$

y es el vector de todas las observaciones para los 7 caracteres (PCD, PCE1, PVS1, PDF1, PCE2, PVS2 y PDF2),

b es el vector de efectos fijos grupo contemporáneo (campo x año x sexo para los 7 caracteres) y tipo de nacimiento (solo para PCD, PCE1, PVS1 y PDF1),

X es la matriz de diseño que vincula observaciones con los efectos fijos,

a es el vector de los efectos genéticos aditivos aleatorios,

Z es la matriz de diseño que vincula las observaciones con los efectos aleatorios, y

e es el vector de residuales aleatorios.

Se asumió que

$$\text{Var} \begin{pmatrix} a \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \otimes G & 0 \\ 0 & I \otimes R \end{pmatrix}, \text{ donde}$$

A es la matriz de parentesco, I es una matriz de identidad, \otimes es el multiplicador directo de Kronecker, G es la matriz 7×7 de covarianzas genéticas aditivas entre los siete caracteres y R es la matriz 7×7 de covarianzas residuales entre los siete caracteres. Se asumió que los efectos residuales aleatorios se distribuyen en forma independiente entre animales y que la matriz de parentesco considera las correlaciones de efectos aditivos entre animales.

Para la estimación de los valores de cría y sus exactitudes se utilizó el software Pest (Groeneveld *et al.*, 1990) hasta nacimientos del año 2011 y posteriormente el software Wombat (Meyer, 2007). Ambos programas ajustan modelos mixtos utilizando algoritmos AI-REML y predicen valores de cría lineales insesgados con mínima varianza (BLUP).

Inicialmente las matrices de covarianzas necesarias para correr esos programas se basaron en parámetros de la literatura sobre la raza Merino (Safari *et al.*, 2005). A partir de los nacimientos del año 2019 se utilizaron parámetros obtenidos de la propia población Ideal. Estos parámetros se obtuvieron

de un análisis multicarácter realizado con el mismo modelo animal mixto anterior. Con las matrices de covarianzas obtenidas también se calcularon las heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas correspondientes.

Los valores de cría obtenidos fueron ajustados a un año base, elegido arbitrariamente como el año 2004 cuando nacen los primeros animales del núcleo. Para ello se restó el promedio del valor de cría de cada característica de animales nacidos en el año 2004 al valor de cría de todos los animales evaluados, quedando promedios cero para el año base. Promediando valores de cría por año de nacimiento se graficaron las tendencias genéticas de la población en estudio. Con los valores económicos de cada característica y los valores de cría de cada animal se calculó el mérito genético agregado de cada animal definido como índice utilizado para la selección de los animales. La exactitud de los índices fue calculada arbitrariamente como exactitud promedio de las exactitudes del valor de cría de tres caracteres importantes PCD, PVS1 y PDF1. A los fines de una mejor interpretación de los resultados, los índices de selección se estandarizaron para arrojar un promedio de 100 y desvío estándar de 10. El índice estandarizado I de un animal se obtuvo como $10 \times (I^* \bar{I}^*) / \sigma_{I^*} + 100$, donde I^* es el índice original con promedio y \bar{I}^* desvío estándar σ_{I^*} .

Para la selección anual de carneros del núcleo se preparó un listado de candidatos jóvenes y adultos sugeridos a partir de los índices de selección y su exactitud, las diferencias esperadas en la progenie (DEPs) de cada característica, el nivel de consanguinidad y , en el caso de padres ya usados, el promedio de la calificación visual de su progenie. Indicando además la importancia de repetir al menos dos padres para asegurar la conexión genética entre años. Se prefirió presentar a los méritos genéticos para cada característica como DEPs o mitad del valor de cría haciendo notar que un animal transmite solo la mitad de sus genes a su progenie. Con esa información y una inspección visual final, los miembros de Cabañas Integradas definieron anualmente los padres para el servicio del núcleo. La selección de borregas de reposición provenientes del núcleo y de los planteles individuales también se basó en la selección visual entre candidatos con altos índices de selección.

RESULTADOS

Función objetivo

La cantidad de expresiones de cada carácter se basó en parámetros biológicos promedio de las majadas generales de los tres establecimientos. El primer servicio, tanto de machos como de hembras, ocurrió a la edad de dos dientes con primera parición a los 2 años. Las ovejas se sirvieron 5 años y los carneros se usaron por 3 años en promedio. El porcentaje de señalada típico fue del 70%, mortandad a la primera esquila del 10% y mortandad de adultos del 4%, 5 categorías de ovejas y 3 de carneros. Entonces, por cada oveja de cría la cantidad de ovejas viejas vendidas fue 0,82, la cantidad de borregos/as vendidos fue de 0,20, la cantidad de corderos vendidos fue de 1,79, la cantidad de vellones adultos producidos fue de 4,43 y la cantidad de vellones de borrego/a producida fue de 1,2. Los pesos de vellón promedio de primera esquila y adultos resultaron de 2,6 y 3,6 kg, respectivamente.

La última actualización de los valores económicos (w_i) se realizó el 17/11/2018. En esa fecha el precio del cordero o borrego era de 45 pesos/kg y el precio de la oveja vieja era de 27 pesos/kg. El precio promedio de la lana de vellón era de 255,5

pesos/kg con un premio por lanas un micrón más finas del 8%. Los valores económicos obtenidos resultaron:

$$w_{PCD} = 1,79 \times (45 - 45 \times (1 - 0,267)) = 58,90 \text{ pesos/kg,}$$

$$w_{PCE1} = 0,20 \times (45 - 45 \times (1 - 0,267)) = 6,48 \text{ pesos/kg,}$$

$$w_{PVS1} = 1,20 \times (255,5 = 305,68 \text{ pesos/kg,}$$

$$w_{PDF1} = 1,20 \times (255,5 \times (-0,08)) \times 2,6 = -66,58 \text{ pesos/}\mu\text{m,}$$

$$w_{PCE2} = 0,82 \times (27 - 27 \times (1 - 0,647)) = 7,77 \text{ pesos/kg,}$$

$$w_{PVS2} = 4,43 \times (255,5) = 1132,13 \text{ pesos/kg,}$$

$$w_{PDF2} = 4,43 \times (255,5 \times (-0,08)) \times 3,6 = -362,05 \text{ pesos/}\mu\text{m.}$$

La función objetivo utilizada como índice de selección fue la sumatoria de los valores de cría estimados de las siete características, cada uno ponderado con su valor económico. Los valores de cría se estimaron mediante un análisis multicarácter que incluyó las siete características.

Parámetros

La estimación de los parámetros genéticos de la población Ideal de Cabañas Integradas se basó en información de 95 padres y 1170 madres con un total de 2897 hijos con registros de producción a la primera esquila y 791 a la segunda esquila. Los parámetros obtenidos se presentan en términos de relaciones de varianzas y covarianzas en la tabla 1. A grandes rasgos estos parámetros estimados no se diferencian mucho de los parámetros promedio de la raza Merino (Safari *et al.*, 2005) con las siguientes excepciones. Las heredabilidades de PCD y PDF1 resultaron algo mayores y algunas correlaciones genéticas para caracteres de segunda esquila resultaron menores a las conocidas de la literatura para Merino. Por ejemplo, la correlación genética entre PDF2 y PVS2 resultó -0,02 cuando se esperaba un valor de 0,2 a 0,3, no muy distinto a la correlación entre PDF1 y PVS1. Los errores de muestreo de las heredabilidades de PCD y de caracteres de primera esquila resultaron en el orden de 0,05 y los de segunda esquila en el

orden de 0,10. Los errores de muestreo de las correlaciones genéticas resultaron aproximadamente el doble (0,10 y 0,20, respectivamente).

Diferencias esperadas en la progenie

Los resultados de la evaluación genética, DEPs, tendencias genéticas y estadísticas fenotípicas se presentaron anualmente en informes y, a partir del año 2014, en forma de catálogos de padres, todos ellos disponibles en internet (Provino, 2020). En los catálogos solo se publicaron padres relevantes para el mejoramiento genético y con determinada garantía de calidad. Se utilizó el criterio de publicar aquellos con índice mayor a 100, que hayan tenido al menos 5 hijos y que con al menos 70% de exactitud. Los registros fenotípicos y genéticos también acompañaron los remates anuales de carneros excedentes de Cabañas Integradas. Para el remate del año 2020 los carneros nacidos en el año 2018 se presentaron en videos con su evaluación genética (YouTube, 2020).

Tendencias genéticas y fenotípicas

Las tendencias genéticas resultaron similares para los tres pesos corporales (PCD, PCE1 y PCE2) con tasas anuales de 0,12 a 0,14 kg por año. Las ganancias genéticas acumuladas en los 15 años llegaron a los 2,5 kg. No se logró mejora genética en los pesos de vellón (PVS1 y PVS2), pero se logró afinar la lana (PDF1 y PDF2) cerca de un micrón (figura 1). Las tendencias genéticas en los siete caracteres se resumen en el incremento de unos 15 puntos del índice (figura 2) lo cual implica un incremento anual del ingreso económico de aproximadamente 1%.

Las tendencias fenotípicas resultaron con bajo coeficiente de determinación ($R^2=0,18-0,30$), pero en las direcciones deseadas. Tomando el promedio de los primeros y últimos tres años del programa, en el caso de borregos/as el peso corporal a la primera esquila aumentó unos 3,1 kg y el diámetro medio de fibras se redujo 1,5 μm (figura 3).

Variable	PCD	PVS1	PDF1	PCE1	PVS2	PDF2	PCE2
Peso corporal al destete (PCD)	0,35±0,05	0,39±0,02	0,06±0,02	0,58±0,02	0,17±0,04	-0,01±0,03	0,47±0,03
Peso de vellón sucio a primera esquila (PVS1)	0,49±0,11	0,24±0,05	0,28±0,02	0,37±0,02	0,51±0,03	0,15±0,03	0,24±0,03
Diámetro medio de fibras a primera esquila (PDF1)	0,07±0,10	0,27±0,11	0,61±0,05	0,19±0,02	0,17±0,04	0,76±0,02	0,15±0,03
Peso corporal a primera esquila (PCE1)	0,88±0,04	0,28±0,12	0,33±0,09	0,38±0,05	0,19±0,03	0,10±0,03	0,61±0,02
Peso de vellón sucio a segunda esquila (PVS2)	0,07±0,18	0,62±0,14	0,00±0,16	-0,16±0,17	0,32±0,10	0,23±0,04	0,22±0,04
Diámetro medio de fibras a segunda esquila (PDF2)	-0,09±0,14	0,22±0,15	0,98±0,03	0,22±0,13	-0,02±0,20	0,38±0,07	0,14±0,04
Peso corporal a segunda esquila (PCE2)	0,81±0,10	0,32±0,16	0,30±0,13	0,89±0,08	-0,20±0,22	0,20±0,17	0,36±0,09

Tabla 1. Parámetros genéticos y fenotípicos estimados para la raza ovina Ideal. Correlaciones fenotípicas sobre la diagonal, heredabilidades en la diagonal y correlaciones genéticas debajo de la diagonal.

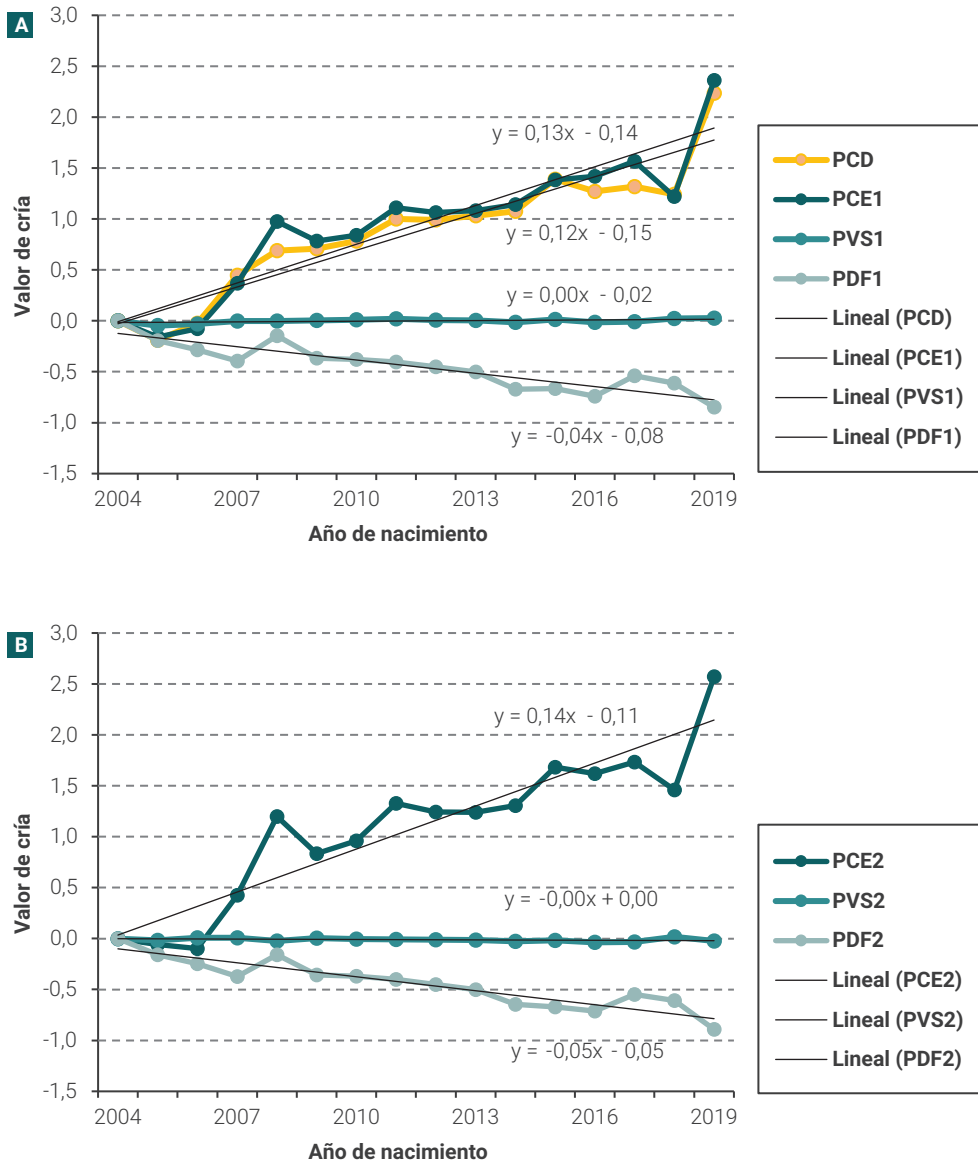


Figura 1. Valores de cría y tendencia genética para peso corporal al destete (PCD, kg), peso corporal (PCE, kg), peso de vellón (PVS, kg) y diámetro medio de fibra (PDF, μm) a primera esquila (A) y a segunda esquila (B).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El programa se había propuesto afinar las lanas, mantener o aumentar los pesos de vellón y aumentar los pesos corporales de los ovinos Ideal en los planteles y majadas de los tres socios de Cabañas Integradas. Los resultados obtenidos a nivel de la población conformada por el núcleo y los planteles individuales indican que ese objetivo se logró en cuanto al afinamiento de las lanas y en cuanto al aumento de los pesos corporales al destete y a la esquila. No se lograron mejoras en los pesos de vellón, algo que estaba previsto de ocurrir considerando el énfasis puesto en finura y la correlación genética desfavorable con el peso de vellón. El progreso genético se comparó con el nivel genético de animales nacidos en el año 2004, aunque estos ya incorporaron mejora genética respecto a la población original ya que eran producto de carneros fundadores importados, muy probablemente superiores al promedio de los carneros habituales de la época.

En términos económicos el progreso fue de aproximadamente 1% anual acumulando 15% en los 15 años. El beneficio económico del progreso logrado en Cabañas Integradas se diseminó en las majadas generales de los participantes y en las majadas generales de los productores que compraron carneros del núcleo. En este trabajo no se estimó ese beneficio, pero un cálculo realizado a los 10 años del programa indicó que el beneficio a nivel de las majadas generales, descontado a una tasa del 5% anual y considerando la cantidad de carneros diseminados por Cabañas Integradas alcanzó los 120.000 USD acumulados sobre 20 años (Mueller *et al.*, 2016).

En el año 2020 el programa de Cabañas Integradas sigue vigente con la actualización rutinaria de los valores económicos, parámetros genéticos y biológicos. Para las próximas rondas de selección se considera, por un lado, revisar los caracteres objetivo. Por ejemplo, se considera conveniente aumentar el

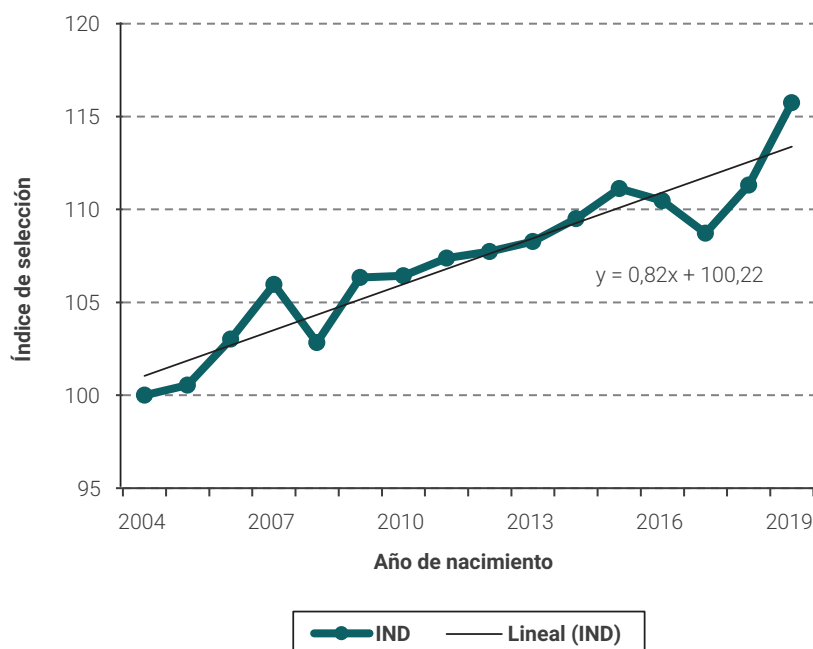


Figura 2. Tendencia genética del índice de selección (IND, pesos) que incluye pesos corporales, pesos de vellón y finura ponderados por su importancia económica. El índice se presenta estandarizado con promedio de 100 pesos para animales nacidos en el año 2004 y desvío estándar 10 pesos.

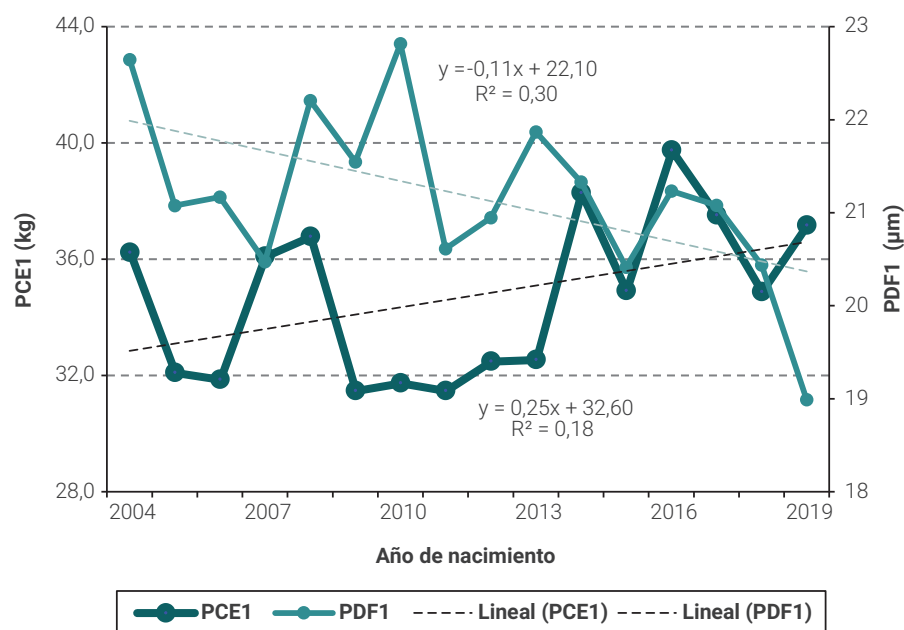


Figura 3. Tendencias fenotípicas en peso corporal a primera esquila (PCE1) y diámetro medio de fibras a primera esquila (PDF1).

énfasis en el peso de vellón ya que la lana está alcanzando el nivel de finura óptimo para las condiciones ambientales de la región. Sin embargo, se ha observado que algunas ovejas presentan saltos importantes en su finura de año a año, un defecto conocido como "micron blowout" (Hill *et al.*, 1999) que podría ser abordado genéticamente. Por otro lado, se pretende estudiar la inclusión de caracteres como la prolificidad de ovejas y sobrevivencia de corderos en la función objetivo, aunque estos caracteres tienen un fuerte componente ambiental

por abigeato y depredación, que limitan su registro efectivo. En todo caso será necesario incluir efectos genéticos y ambientales maternos a los modelos estadísticos para analizar estos caracteres.

Para la estimación de los valores de cría se utilizaron parámetros genéticos y fenotípicos derivados de la propia población de Cabañas Integradas. Con base en los errores estándar obtenidos para esos parámetros, las correlaciones genéticas de caracteres de segunda esquila deben tomarse con precau-

ción. Mediciones de segundas esquilas se obtuvieron solamente de carneros y son necesarios más años de registros para lograr parámetros más confiables. Es intención de Cabañas Integradas de implementar un esquema de tres esquilas en dos años lo cual exigirá cambios en el protocolo de registros de datos y posibles modificaciones en los modelos de su ajuste estadístico.

Es de destacar que el esfuerzo de mejoramiento genético de esta raza a nivel local es necesario considerando las escasas fuentes de reproductores en el país, en Australia su país de origen, Uruguay o Brasil. En ese sentido Cabañas Integradas, único programa de la raza utilizando Provino Avanzado, hizo una contribución importante a través de los años con la oferta de carneros con mérito genético conocido. En el año 2010 otro grupo de productores reunidos en un Consorcio Regional de Experimentación Agrícola (CREA) comenzó un proyecto de mejoramiento de la raza Ideal con el INTA Mercedes (López Valiente *et al.*, 2011), pero el proyecto no pudo sostenerse en el tiempo. Mantener un protocolo de registros de datos y un esquema de selección y apareamientos exige compromiso del productor y apoyo técnico continuo, cuyos frutos solo se observan en el largo plazo. Sería deseable que más criadores Ideal comiencen sus propios programas de mejoramiento basados en evaluaciones Provino Avanzado, eventualmente vinculándose a Cabañas Integradas para su evaluación genética conjunta y así aprovechar mejor la variabilidad genética existente en la raza.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este trabajo a la memoria de Martin Arriaga y Arturo Freyche, cofundadores de Cabañas Integradas. Agradecemos a Juan Manuel Pueyo, Luis Rivero, Néstor Franz, Sebastián López Valiente y Lisandro Homse, todos ellos profesionales de INTA Mercedes que en distintas etapas y de diferentes maneras apoyaron este programa. Apoyo financiero se obtuvo por parte de instrumentos de la Ley 25.422, Régimen para la Recuperación de la Ganadería Ovina.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, J.M.; MUELLER, J.P.; VOZZI, P.A.; MILICEVIC, F. 2014. Objetivos de mejoramiento e índices de selección para la raza Corriedale en Argentina. XV Congreso Mundial Corriedale, Buenos Aires, Argentina. Comunicación Técnica INTA Bariloche N.º PA 769, 11 p. (Disponible: http://provino.com.ar/images/PDF/2014%20769-%20Alvarez_JM_Objetivos_De_

[Mejoramiento_E_Indicadores_De_Seleccion_Para_La_Raza_Corriedale.pdf](#) verificado: 26 de noviembre de 2021).

ARANGUREN, E.M. 2014. La raza ovina Ideal en la Argentina. Primer Congreso Mundial de la raza Ideal, Uruguayana, Brasil, 3 p. (Disponible: <http://provino.com.ar/images/PDF/2014%20Aranguren%20Ideal%20Argentina.pdf> verificado: 7 de diciembre de 2020).

GROENEVELD, E.; KOVAC, M.; WANG, T. 1990. Pest, a general purpose blup package for multivariate prediction and estimation. Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Edimburgo 23-27. 488-491 pp.

HAZEL, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28, 476-490.

HENDERSON, C.R.; QUAAS, R.L. 1976. Multiple trait evaluation using relatives' records. *Journal of Animal Science* 43, 1188-1197.

HILL, J.A.; PONZONI, R.W.; JAMES, J.W. 1999. Micron blowout: heritability and genetic correlations with fibre diameter and secondary follicle diameter. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1375-1379.

LÓPEZ VALIENTE, S.; MAIZON, D.O.; MUELLER, J.P. 2011. Afinamiento de lanas en majadas Ideal en el centro sur de Corrientes: evaluación genética. xxxiv Congreso Argentino de Producción Animal, Mar del Plata, Buenos Aires, 4-7 de octubre. *Revista Argentina de Producción Animal* 31 (Supl. 1), 120.

MEYER, K. 2007. Wombat – A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by REML. *Journal of Zhejiang University Science B* 8, 815-821.

MUELLER, J.P.; RIVERO, L. 2003. Evaluación Genética de Carneros Ideal. Informe N.º 3. Resultados combinados Central de Prueba Aguay Rincón (nacimientos 1997 y 1998) y El Cerro (nacimientos 2000). Comunicación Técnica INTA Bariloche PA 422, 3 p. (Disponible: <http://provino.com.ar/images/PDF/2003%20Ct-422%20Evaluacion%20Genetica%20de%20Carneros%20Ideal.pdf> verificado: 01 de diciembre de 2020).

MUELLER, J.P.; VOZZI, P.A.; GIOVANNINI, N.; ALVAREZ, J.M. 2016. Beneficio del mejoramiento genético de ovinos en la Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42, 307-316.

MUELLER, J.P. 1995. Mejoramiento genético de la raza Ideal en la Argentina. Primer Congreso Sudamericano de la raza Ideal, Curuzú Cuatiá, Corrientes, Argentina Comunicación Técnica INTA Bariloche PA 267, 5 p. (Disponible: <http://provino.com.ar/mejoramiento-genetico-g/529-1995-mejoramiento-genetico-raza-ideal> verificado: 26 de noviembre de 2021).

PONZONI, R.W. 1979. Objectives and selection criteria for Australian Merino sheep. Proceedings of the Australian Association of Animal Breeding and Genetics 1, 320-336.

PROVINO. 2020. Servicio argentino de información y evaluación genética de ovinos, caprinos y camélidos. (Disponible: www.provino.com.ar/Ideal verificado: 01 de diciembre de 2020).

SAFARI, E.; FOGARTY, N.M.; GILMOUR, A.R. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science* 92, 271-289.

SAS. 2009. SAS/STAT User's Guide. Version 9.0. SAS Institute, Cary, NC.

YouTube. 2020. Remate Reggi y Cía - Establecimiento Aguay Rincón. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLbuTCqSAWntNbqzdnXUXauyK5ibOHxYB> (verificado 1/12/2020).

Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales

Publicado online 06 de abril de 2022

Rattin, J.¹; Echarte, M.^{1,2,3}; Barrera, L.¹ (*ex aequo*);
Tognetti, J.^{1,4}; Di Benedetto, A.^{1,5}

RESUMEN

La especie *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* comprende a las comúnmente llamadas remolachas, de las que existen tres tipos: hortícola, azucarera y forrajera. Aunque el principal órgano de interés es en todos los casos la raíz engrosada, las tres remolachas constituyen cultivos muy diferentes entre sí, tanto en cuanto a sus características agronómicas como a los productos que se obtienen de ellos, por lo que generalmente se han estudiado por separado. Sin embargo, la capacidad de esta especie de acumular en sus raíces altas concentraciones de compuestos bioactivos valiosos, junto con su probada adaptación a vastas áreas de clima templado han incentivado recientemente a escala global el interés por su cultivo, en concordancia con la creciente preocupación por la salud humana, la calidad de la alimentación y el cuidado del medioambiente. Este renovado interés plantea la necesidad de revisar el estado actual del conocimiento sobre la ecofisiología de los tres tipos de remolacha, de modo de contar con herramientas que permitan optimizar la productividad y la calidad de los productos obtenidos. En la presente revisión se realiza un análisis integrador de la información actualmente disponible sobre los distintos tipos de remolacha. Para ello, se reseñan las nuevas posibilidades de utilización, se analiza comparativamente la ecofisiología de los distintos tipos a lo largo del ciclo de cultivo, y se evalúan los aspectos críticos de la producción y calidad para cada uso. Muchos de los nuevos usos propuestos involucran a la remolacha hortícola, de la cual la información ecofisiológica disponible es relativamente escasa. Finalmente, se analiza en qué medida los conocimientos existentes acerca de un tipo de remolacha son extrapolables a los otros, y se discuten los estudios que podrán ser necesarios para en última instancia facilitar la difusión y adopción de los cultivos de remolacha con diferentes propósitos.

Palabras clave: *Beta vulgaris*, bioenergía, compuestos nutraceuticos, ecofisiología, forraje, rendimiento.

ABSTRACT

The species Beta vulgaris subsp. vulgaris includes the so-called beets, of which there are three types, red (vegetable) beet, sugar beet and forage beet. Although in every case the main organ of agronomic interest is the storage root, the three beet types constitute very different crops, both in terms of crop characteristics and products obtained. This may be the reason why they have generally been studied separately. The ability of this species to accumulate in its roots bioactive compounds at high concentration, together with its proven adaptation to vast areas of temperate climate, have prompted global interest in its cultivation. This is also supported by a growing concern for human health, food quality and care for the environment. This renewed interest raises the need to review the current state of knowledge about the ecophysiology of the three beet types, which in turn may provide tools that will allow optimizing

¹Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Facultad de Ciencias Agrarias, Ruta 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: rattinejo@gmail.com

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Ruta 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce provincia de Buenos Aires, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1425FQB), Buenos Aires, Argentina.

⁴Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, provincia Buenos Aires, Argentina.

⁵Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía, Av. San Martín 4453 (C1417DSE), CABA, Argentina.

crop productivity and quality. In the present review, an integrative analysis of the information currently available on the different types of beet is carried out, and new possibilities of beet utilization are outlined. The ecophysiology of the three beet types is comparatively analyzed throughout the growth cycle, and critical aspects of production and quality are analyzed for the different crop purposes. Many of the proposed new uses involve red beets, for which eco-physiological information available is relatively scarce. Finally, it is discussed up to what extent the existing knowledge about one type can be extrapolated to the others, and which studies may be needed to maximize crop achievements, and ultimately, facilitate adoption of beet crops for different purposes.

Keywords: *Beta vulgaris*, bioenergy, nutraceutical compounds, ecophysiology, forage, yield.

INTRODUCCIÓN

Las remolachas son plantas herbáceas bienales actualmente clasificadas dentro de la familia Amaranthaceae, subfamilia Betoideae y designadas como *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* (Lange *et al.*, 1999), que vienen siendo cultivadas desde la antigua Grecia (Winner, 1993). Derivan del ancestro silvestre *Beta vulgaris* subsp. *maritima*, una planta halófila de origen próximo al mar Mediterráneo (Biancardi *et al.*, 2012). Durante el primer año (fase vegetativa) desarrollan una roseta de hojas y almacenan las reservas de fotoasimilados, fundamentalmente sacarosa, en la raíz engrosada, principalmente de interés agronómico. Durante el segundo año las plantas son inducidas a florecer a través de un proceso de vernalización (Brar *et al.*, 2015). Este proceso deteriora la calidad agrícola de las raíces, por lo que solo tiene interés agronómico cuando el cultivo se realiza para la producción de semillas.

La clasificación de las remolachas ha sufrido frecuentes modificaciones. Existen tres tipos de remolacha, tradicionalmente considerados como variedades, y actualmente como grupos de cultivares (Nottingham, 2004): el grupo *conditiva* (la remolacha hortícola, en algunos países llamada betarraga o betabel); el grupo *altissima* (la remolacha azucarera) y el grupo *crassa* (la remolacha forrajera) (figura 1). A pesar de que los diferentes grupos de cultivares pertenecen a la misma subespecie botánica, y aunque el órgano de interés es el mismo, las remolachas conforman tres cultivos muy diferentes en cuanto a sus características agronómicas y a los productos que se obtienen de ellos.

La elevada adaptabilidad de las remolachas a condiciones ambientales subóptimas, en un contexto de cambio climático, sumada a las posibilidades de su utilización para diversos propósitos, las constituyen en cultivos potencialmente aptos para vastas regiones del planeta. El renovado interés que ha despertado a nivel global en las remolachas plantea la necesidad de revisar su ecofisiología, de modo de disponer de herra-

mientas que permitan optimizar la productividad y la calidad del producto obtenido para los distintos fines. Los distintos tipos de remolacha han sido tradicionalmente estudiados por separado, y los conocimientos disponibles son aún fragmentarios y desbalanceados. La remolacha azucarera ha recibido la mayor atención, pero solo una parte de la información acerca de ella es extrapolable a los otros tipos de remolacha. Por ejemplo, existen novedosas aplicaciones productivas de la remolacha hortícola para las cuales la información ecofisiológica disponible es muy escasa. Identificar los huecos (*gaps*) en el conocimiento, los aspectos comunes y extrapolables entre las distintas remolachas, y los aspectos diferenciales entre ellas permitiría definir líneas de investigación que aborden estos vacíos en el conocimiento.

En la presente revisión se analiza de un modo integrado la información actualmente disponible sobre los distintos tipos de remolacha. Se reseñan las nuevas posibilidades de utilización, se analiza su ecofisiología a lo largo del ciclo de cultivo, y se evalúan los aspectos críticos de la producción y calidad para cada uso, incluyendo los tradicionales y los de reciente desarrollo. Finalmente, se discuten los estudios que podrán ser necesarios para maximizar los logros, y en última instancia, facilitar la difusión y adopción de los cultivos para diferentes propósitos.

UN NUEVO ESCENARIO PARA LAS REMOLACHAS

Los usos de los tres tipos de remolacha han sido históricamente bien definidos. La remolacha hortícola es una hortaliza consumida masivamente, cruda o cocida, a nivel mundial, de particular importancia en toda Europa, China y Norteamérica (Tridge, 2020). La remolacha azucarera se ha destinado casi exclusivamente a la extracción de azúcar y es especialmente importante en Rusia, Francia, Estados Unidos y Alemania (Knoema, 2020), representando aproximadamente el 30% de la producción mundial de azúcar (Asgharipour *et al.*, 2012).



Figura 1. Remolacha hortícola (A-B), remolacha azucarera (C-D) y remolacha forrajera (E-F).

La remolacha forrajera es de especial importancia en Nueva Zelanda (Dairynz, 2020) y en el norte de Europa, utilizándose para pastoreo directo o como suplemento, en cuyo caso se cosechan las raíces que se ofrecen frescas o ensiladas. Sin embargo, las últimas décadas han presentado un escenario renovado para las remolachas. La creciente preocupación por la salud humana, la calidad de la alimentación y el cuidado del medioambiente han incentivado a escala global el interés por su cultivo.

En concordancia con este nuevo escenario, los estudios acerca de posibles usos no tradicionales, especialmente de las remolachas hortícola y azucarera, se han multiplicado. Se reseñan a continuación los principales:

- **Preparación de alimentos funcionales:** estos alimentos son aquellos que tienen un efecto positivo sobre la salud humana más allá de su contribución a la nutrición. Debido a que las remolachas acumulan diversos compuestos bioactivos, muchos de ellos de alto interés medicinal (Baião *et al.*, 2020; Hadipour *et al.*, 2020; Kumar y Su-Ling, 2018; Mirmiran *et al.*, 2020), varios productos de la industria alimentaria elaborados a partir de la remolacha hortícola, como sopas, encurtidos, jugos y sándwiches, pueden ser considerados como alimentos funcionales.
- **Obtención de compuestos nutraceuticos:** se definen así aquellos que poseen un rol preventivo de enfermedades y pueden ser consumidos en concentración relativamente alta (Valenzuela *et al.*, 2014). Entre estos se cuenta la betaina (trimetilglicina), obtenida a partir de melazas del procesamiento de la remolacha azucarera, y empleada como aditivo nutricional, contribuyendo al control de la presión arterial y prevención de enfermedades cardíacas (Craig, 2004). Asimismo, las betalaínas (pigmentos rojos y amarillos obtenidos de la remolacha hortícola) son una importante herramienta de la industria alimentaria y cosmética, reemplazando a los colorantes sintéticos con el beneficio de sus propiedades antioxidantes, hepatoprotectoras y anticancerígenas (Azeredo, 2009; Khan, 2016). El material fibroso remanente luego de la extracción de los pigmentos es asimismo efectivo en la reducción de lesiones hepáticas en animales que sugieren la presencia en la remolacha hortícola de otros compuestos anticancerígenos, que aún necesitan ser identificados (Lechner y Stoner, 2019).
- **Fabricación de bioenvases:** la industria alimentaria demanda el desarrollo de materiales de envasado bioactivos, con capacidad de disminuir la tasa de deterioro de los alimentos por efectos de la oxidación (Schieber *et al.*, 2001, Siracusa *et al.*, 2008, Wu *et al.*, 2013). Para ello se han desarrollado películas de hidroxipropil metilcelulosa con agregado de polvo de remolacha hortícola, aprovechando la alta capacidad antioxidante de las betalaínas, y cuyo color rojo sirve además para controlar la fotooxidación de ácidos grasos poliinsaturados (Akhtar *et al.*, 2012).
- **Obtención de bioplásticos:** se han desarrollado como coproductos de la industria de la remolacha azucarera biopolímeros de propiedades semejantes a los derivados del petróleo, pero biodegradables (Page, 1989, 1992; Wang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2005).
- **Producción de bioenergía:** como consecuencia del procesamiento de la raíz de remolacha azucarera se obtiene un jugo concentrado que puede ser utilizado tanto para la producción de bioetanol mediante fermentación, destilación y deshidratación (Duraisamy *et al.*, 2017). La utilización de los coproductos de la producción de azúcar o etanol tam-

bién ha sido sugerida como fuente de energía a través de su transformación en biogás o biohidrógeno (Tomaszewska *et al.*, 2018). También es posible la utilización de remolacha forrajera para estos fines, aunque suele ser menos ventajosa debido a la menor concentración de sacarosa (Cruz y Dierig, 2014).

Cabe mencionarse que, si bien el principal órgano de interés agronómico de las remolachas es la raíz engrosada, también las hojas poseen un importante potencial productivo para diferentes propósitos. Este tema ha sido revisado recientemente por Nutter *et al.* (2020) y no será abordado en la presente revisión.

Tanto la cantidad del producto obtenido como la calidad al momento de su cosecha se definen durante el ciclo de vida de la planta a través de los procesos ecofisiológicos que tienen lugar en el cultivo. El conocimiento adecuado de estos procesos es esencial para la implementación exitosa de los cultivos de remolacha con diferentes propósitos.

ECOFISIOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN

Germinación e implantación de los cultivos

La germinación sincronizada de las semillas resulta crítica para la obtención de stands de plantas homogéneas que permitan alcanzar altos rendimientos comerciales. Esto es válido especialmente para la remolacha hortícola y la azucarera. Las particularidades botánicas de las semillas de remolacha han representado tradicionalmente una dificultad para sortear para lograr un stand de plantas homogéneo. Las remolachas producen naturalmente racimos de frutos secos que pueden constar de una sola o varias (2 a 4) semillas. Las llamadas vulgarmente semillas corresponden en realidad a los frutos, que pueden ser monogermen, es decir, que contienen una única semilla (aquenios que derivan de las flores solitarias ubicadas en la parte apical de la espiga), o multigermen (utrículos que derivan de flores en glomérulos, ubicados en las partes media y basal de la espiga). El tamaño de las semillas es menor en frutos multigermen que en los monogermen, y esto determina diferencias en el tamaño inicial de las plántulas. El hecho de que los frutos sembrados como semilla produzcan una única planta o un grupo de plantas que compiten entre sí, constituye una fuente adicional de heterogeneidad en el inicio del cultivo y por lo tanto, en el canopeo obtenido. Este problema pudo ser en buena medida resuelto en la década de 1940 a partir del hallazgo, por parte del genetista ruso V. F. Savitsky, de plantas de remolacha azucarera que tenían fijado el carácter monogermen, a partir de las cuales y tras sucesivos retro-cruzamientos se han obtenido la mayor parte de los cultivares comerciales actuales (Harveson, 2015). El mejoramiento de la remolacha hortícola, aunque más reciente, también ha logrado la obtención de genotipos monogermen (Jagosz, 2018). Si bien el mejoramiento ha permitido lograr cultivos extensivos con un canopeo homogéneo, el carácter monogermen hace necesario un muy alto poder germinativo y vigor de las semillas para minimizar la pérdida de plantas, requerimiento que hasta el momento ha resultado difícil alcanzar (Orzeszko-Rywka y Podlaski, 2003; Farzaneha *et al.*, 2016).

Parte de las dificultades en la germinación homogénea de genotipos monogermen es atribuible al hecho de que los pericarpios de los aquenios representan una barrera al ingreso de agua y oxígeno (Heydecker *et al.*, 1971; Coumans *et al.*, 1976). La semilla de remolacha requiere condiciones hídricas bastante restrictivas para su germinación. Heydecker *et al.*

(1971) demostraron que los mucílago presentes en los pericarpis dificultan el acceso de oxígeno al embrión. Existe un único poro en la pared esclerificada del fruto, ubicado en el punto de fijación a la planta madre, que constituye la ruta para la absorción de oxígeno y el agua a la semilla. Perry y Harrison (1974) sugirieron, a través de cálculos teóricos de flujo, que el suministro de oxígeno sería insuficiente para sostener la germinación cuando el poro se llena de agua. El sellado del poro, redujo la tasa de respiración y consecuentemente, la germinación, mientras que la abrasión de las cubiertas la favoreció (Vital dos Santos y Pereira, 1989). El mencionado mucílago contiene inhibidores de la germinación que pueden ser removidos por lavado de los frutos (Heydecker *et al.*, 1971; Taylor *et al.*, 2003). La práctica común de pelletizado de los frutos destinada a facilitar la siembra mecanizada de precisión y la aplicación de agroquímicos suele desfavorecer la germinación debido a que los pellets causan una menor difusión del oxígeno, un menor lavado de los inhibidores, y aumentan la fuerza requerida para la emergencia de la radícula (Duan y Burris, 1997; Podlaski *et al.*, 2019). La homogeneidad en la germinación también depende de un adecuado contacto entre el suelo y la semilla que favorezca su hidratación, para lo cual influyen propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, porosidad) (Blunk *et al.*, 2017; 2018).

Los requerimientos térmicos para la germinación y emergencia han sido estudiados tanto en la remolacha azucarera como en la hortícola. Según Campbell y Enz (1991), la temperatura óptima de germinación de la remolacha azucarera se encuentra entre 20° y 25 °C; bajo estas condiciones se logra una germinación rápida y se maximiza la uniformidad en la emergencia. Analizando el comportamiento de 14 híbridos de remolacha azucarera en una placa de termogradiante, estos autores encontraron un requerimiento medio de 136 °C día por sobre una temperatura base de 4,4 °C para lograr un 50% de emergencia. Por su parte, Hoffmann y Kluge-Severin (2011) en una serie de ensayos a campo empleando un único genotipo comercial de remolacha azucarera, sembrado en distintas fechas y localidades, calcularon requerimientos de entre 100 y 250 °C día por sobre una temperatura base de 3 °C para lograr

el 50% de emergencia. Con respecto a la remolacha hortícola, Mc Cormick *et al.* (2014) determinaron en un ensayo en condiciones controladas en el rango 5–40 °C las temperaturas cardinales: 4,2; 35,9 y 44,4 °C (base, óptima y máxima, respectivamente) para la germinación. Si bien la remolacha puede germinar con temperaturas de alrededor de 5 °C, propias de siembras tempranas, bajo estas condiciones las plantas acumulan horas de frío y pueden llegar a florecer anticipadamente debido a que la especie tiene un requerimiento de vernalización, con una temperatura crítica de 8 °C (Lasa Dolhagaray y López, 1977). No obstante, como se trata más abajo, en la última década ha habido importantes progresos en el desarrollo de cultivares resistentes a la vernalización.

Con el propósito de mejorar la rapidez y uniformidad de la germinación y emergencia se ha estudiado el efecto de diversos tratamientos presiembra sobre las semillas, tales como la hidratación (*priming*) (Orzeszko-Rywka y Podlaski, 2003; Chomontowski *et al.*, 2019; Capron *et al.*, 2000) en remolacha azucarera (Jagosz, 2018), en remolacha hortícola o tratamientos hormonales (Hermann *et al.*, 2007) que hasta el momento no han sido totalmente efectivos.

Las diez semanas posteriores a la germinación son críticas para lograr un stand de plantas homogéneo, debido a la elevada susceptibilidad de las plantas jóvenes de remolacha a situaciones de estrés abiótico por baja humedad y alta salinidad, y también por la competencia impuesta por malezas (Mc Grath *et al.*, 2008). El mejoramiento genético para lograr alto vigor inicial de las plántulas se ha dificultado por la baja heredabilidad tradicionalmente observada para este carácter. Sin embargo, se han identificado marcadores metabólicos que podrán ser empleados con ese propósito (De los Reyes *et al.*, 2003; Pestsova *et al.*, 2008; Peukert *et al.*, 2016).

Desarrollo del área foliar

El desarrollo inicial del área foliar en las remolachas suele ser lento. Sin embargo, una vez superado el período inicial del cultivo, este puede alcanzar altos valores de intercepción de radiación merced a la posición de las hojas y a la estructura general del canopeo (Tei *et al.*, 1996). El tamaño final de las hojas depende de su posición en el tallo. A medida que la planta se desarrolla, el área final de cada hoja se incrementa sucesivamente hasta alrededor de la décima hoja, para luego disminuir en forma paulatina, tanto en remolacha azucarera (Milford *et al.*, 1985) como en la remolacha hortícola (Barrera, 2017). Si bien los patrones son similares, los valores de tamaño foliar son sustancialmente menores en la remolacha hortícola que en la azucarera (figura 2).

El desarrollo foliar de las remolachas depende fuertemente de los factores ambientales. En ausencia de otras limitaciones ambientales, la tasa de expansión del área foliar de remolacha azucarera depende fuertemente de la temperatura; la temperatura base para este proceso es de 3 °C (Milford *et al.*, 1985). Milford y Riley (1980) observaron que los incrementos de temperatura entre 7 y 20 °C aumentaron la tasa de iniciación foliar y los tamaños foliares como consecuencia de un mayor efecto sobre la tasa de expansión (aumento) que sobre el desarrollo (acortamiento de la fase). Abayomi y Wright (2002) observaron que el déficit hídrico temprano no afecta la tasa de aparición ni el número final de hojas por planta, pero sí la expansión y el tamaño foliar final en remolacha azucarera. Entre los nutrientes, el nitrógeno mostró un efecto promotor tanto sobre el

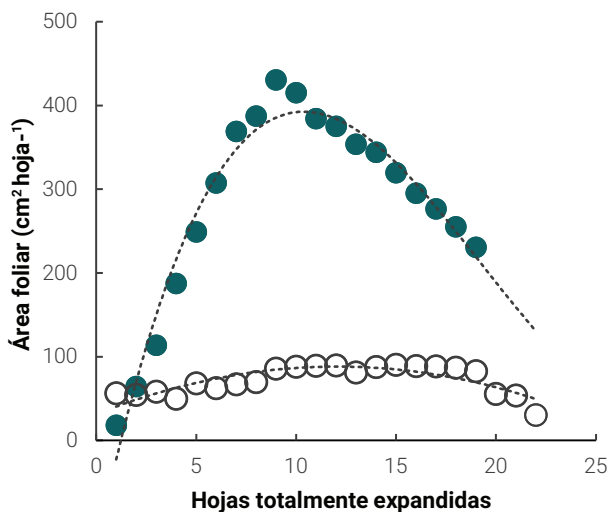


Figura 2. Tamaño final de hojas en cultivos de remolacha azucarera (●) (adaptado de Milford *et al.*, 1985) y hortícola (○) (adaptado de Barrera, 2017).

tamaño (Milford *et al.*, 1985) como sobre la tasa de aparición de hojas (Starke y Hoffmann, 2014a).

El índice de área foliar crítico (IAFc) que permite captar el 95% de la radiación fotosintéticamente activa varió entre 3 (Malnou *et al.*, 2008) y 3,5 (Hoffmann y Kluge-Severin, 2010, 2011) para la remolacha azucarera. Malnou *et al.* (2006) encontraron que para alcanzar estos valores de IAFc los cultivos requieren acumular aproximadamente 900 °C día desde la emergencia. Es por esto que el IAFc se suele alcanzar más rápidamente en los cultivos iniciados en otoño que en aquellos iniciados en primavera (que son los más frecuentes), y la razón es que, en siembras primaverales, la expansión de hojas es lenta debido a las bajas temperaturas. Por esto se ha especulado que las siembras tempranas otoñales permitirían aprovechar las temperaturas aún altas del año para favorecer el desarrollo foliar (Jaggard *et al.*, 2009). Similarmente, en ensayos con remolacha hortícola realizados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), Barrera (2017) encontró que tanto el tamaño final como la tasa relativa de expansión foliar eran menores en un cultivo primaveral que en uno de verano-otoño. Sin embargo, en estos ensayos, el índice de área foliar no alcanzó el IAFc; los valores máximos logrados de IAF fueron 1,3 y 2,4 para las siembras primaveral y estival, respectivamente.

La densidad de siembra de la remolacha azucarera actualmente oscila alrededor de las 100.000 plantas ha⁻¹ (Çakmakçi *et al.*, 1998; Jaggard *et al.*, 2011; Ramazan, 2002; Bhullar *et al.*, 2010; Brar *et al.*, 2015). La densidad de siembra de la remolacha hortícola suele ser superior (180.000 plantas ha⁻¹) debido a su menor tamaño por planta. El hecho de no alcanzar el IAFc a estas densidades mostrado por Barrera (2017) sugiere que sería posible incrementar la densidad de siembra de la remolacha hortícola por encima de los valores actuales.

Formación de la raíz de reserva

La raíz de reserva deriva de un tejido de cambium secundario y consiste en anillos concéntricos periféricos al periciclo de la raíz primaria. Estos anillos son estructuras esenciales para el almacenamiento de azúcares y consisten en zonas vasculares

inmersas en zonas de células parenquimáticas, cuya separación, en general, disminuye desde el centro de la raíz hacia la región distal (Hoffmann y Kluge-Severin, 2011). Su proceso de formación ha sido estudiado con detenimiento en la remolacha azucarera donde, según Milford (1973), el cambium secundario se forma en rápida sucesión, por lo que en unos pocos milímetros de diámetro se pueden tener todas las zonas de crecimiento anular que se han desarrollado simultáneamente (Milford, 1973; Milford *et al.*, 1988). La mayoría de los anillos del cambium se forman entre 1.000 y 1.500 °C día desde la siembra, independientemente del sitio y época del año en que se establezca el cultivo (Hoffmann y Kluge-Severin, 2011). De acuerdo con estos autores, el número de anillos de cambium no depende de las condiciones ambientales imperantes durante el cultivo (Hoffmann y Kluge-Severin, 2011). La tasa de acumulación de sacarosa en la remolacha azucarera alcanza un máximo entre 16 y 20 semanas después de la siembra (Hoffmann, 2010a). Los resultados de Schnepel y Hoffmann (2015) muestran que la concentración de azúcar alcanza su máximo valor entre 3.400 y 5.000 °C día y luego disminuye.

La acumulación de peso fresco de las raíces es posterior a la acumulación del área foliar (figura 3). Se ha propuesto que el crecimiento de las raíces presenta dos fases:

Temprana: la tasa de acumulación de biomasa es baja y la partición de materia seca a las raíces de almacenamiento, pequeña y constante.

Tardía: la tasa de crecimiento absoluto de la planta es alta y constante y la proporción de materia seca particionada hacia las raíces aumenta con el tiempo (Green *et al.*, 1986).

De acuerdo con Green *et al.* (1986) en remolacha azucarera la transición entre ambas fases sería rápida y se produciría más tempranamente para la acumulación de materia seca total que para la acumulación de sacarosa. Esto implica que las estructuras que han de acumular azúcares se desarrollan antes de que se produzca dicha acumulación (Milford *et al.*, 1988). El desarrollo del cambium secundario determinaría una abundancia inicial de células pequeñas y un incremento en la concentración de sacarosa. La expansión de estas cé-

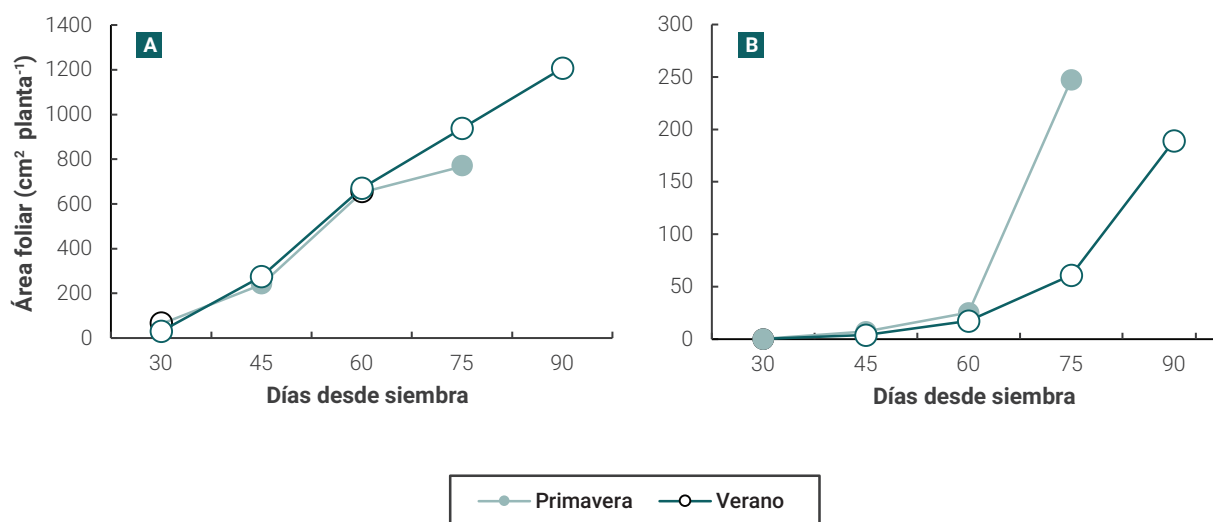


Figura 3. Cambios en el área foliar (A) y el peso fresco de raíces (B) durante el ciclo de producción en cultivos de remolacha hortícola iniciados en primavera (●) o en verano (○). Adaptado de Barrera (2017).

lulas sería seguida por la producción de más células pequeñas, manteniendo un rápido crecimiento e incrementando la acumulación de sacarosa. Sin embargo, esta hipótesis ha sido cuestionada por Milford *et al.* (1988), quienes no encontraron diferencias entre el momento en que se incrementaba la materia seca de la raíz y en el que aumentaba la tasa de acumulación de sacarosa. Estos autores proponen que el cambio en la partición de materia seca hacia la raíz es progresivo a medida que la planta incrementa su tamaño, sin una rápida transición en un punto específico en el desarrollo de la raíz. En cualquier caso, independientemente del tipo de remolacha, es claro que el cultivo desarrolla preferentemente follaje hasta que, probablemente al alcanzar cierto nivel de disponibilidad de sacarosa, aumenta la partición de los fotoasimilados hacia la raíz. El cambio en la partición de biomasa en la fase de engrosamiento de la raíz está acompañado de una disminución en la proporción de los recursos destinados al desarrollo foliar, motivo por el cual se incrementa el tiempo térmico requerido para la aparición de cada hoja (Lemaire *et al.*, 2009). Este cambio ha sido representado como el aumento de la relación alométrica entre el peso de la raíz y el de la parte aérea, tanto en remolacha azucarera (Lemaire *et al.*, 2009) como hortícola (Infante Posada, 2010) (figura 4).

El estímulo para la formación de la raíz de reserva está relacionado con el balance de sacarosa y reguladores hormonales en la parte aérea (Das Gupta, 1972). Este autor observó que si se reemplazaba el ápice de crecimiento con cápsulas que contenían auxinas, giberelinas o citocininas, se estimulaba el crecimiento de la raíz de reserva. El doble control nutricional y hormonal del desarrollo de órganos subterráneos de almacenamiento es un mecanismo frecuente en distintas especies vegetales (Tognetti *et al.*, 2013; Martínez Noel y Tognetti, 2018). El análisis transcriptómico realizado por Zhang *et al.*

(2017) mostró que hay cuatro grupos hormonales involucrados en el inicio del engrosamiento y posterior crecimiento de la raíz de reserva de la remolacha: auxinas, citocininas, brassinosteroides y giberelinas. En cambio, el ácido jasmónico, una hormona frecuentemente implicada en el desarrollo de órganos de reserva (Pelacho y Mingo-Castel, 1991; Ravnikar *et al.*, 1993), no tendría un rol significativo en las remolachas ya que la aplicación de jasmonatos a plantas de esta especie cultivadas *in vitro* no promovió el desarrollo de la raíz de reserva (Koda *et al.*, 2001).

El ácido indolacético en concentraciones entre 100 y 2000 ppm incrementó en alrededor del 10% el peso de la raíz de remolacha azucarera sin modificar su concentración de azúcares, posiblemente a través de cambios en la partición de asimilados (Abd El-Kader, 2011). En cambio, la aplicación del ácido giberélico (en el rango 10-200 ppm) promovió el crecimiento de la raíz a expensas de la concentración de azúcares, un efecto indeseable en los cultivos de remolacha azucarera (Schreiber y Ferguson, 1966; Poostch y Schmeck, 1971). En cuanto a las citocininas, en ensayos realizados con remolacha hortícola, se observó que aplicaciones tempranas de 6-bencilaminopurina (5-100 ppm) promovieron el desarrollo del follaje y la fijación de carbono, aumentando la disponibilidad de fotoasimilados y el crecimiento de la raíz de reserva, sin producir efectos sobre la partición (Barrera, 2017). Es posible que los efectos de las citocininas estén mediados por un aumento en la partición del nitrógeno hacia las hojas (Ookawa *et al.*, 2004).

Rendimiento

Análisis integrado

El rendimiento de las remolachas puede estudiarse empleando el denominado análisis integrado (Hardwick, 1984; Di Bene-

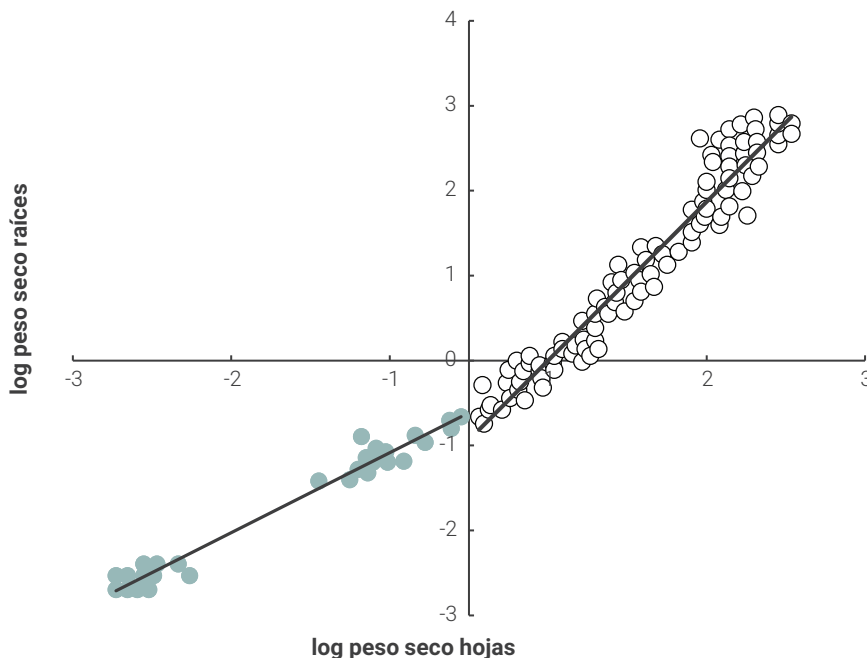


Figura 4. Análisis alométrico entre los pesos secos de raíces y hojas en la remolacha hortícola en las etapas previa (●) y posterior (○) al engrosamiento de la raíz. Las pendientes de las ecuaciones de regresión son: log peso seco raíz Etapa previa = 0,94 log peso seco hojas -0,62 ($r^2 = 0,973$); log peso seco raíz Etapa posterior = 1,87 log peso seco hojas -0,93 ($r^2 = 0,942$). Adaptado de Infante Posadas (2010).

detto y Tognetti, 2016). De acuerdo a este análisis, la cantidad de materia seca (MS) acumulada en el órgano de interés agrícola es proporcional a: la radiación interceptada durante el ciclo de producción; a la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca (RUE, por sus iniciales en inglés); y a la eficiencia de partición de la materia seca hacia el órgano de interés, en este caso la raíz de reserva (índice de cosecha).

A diferencia de lo que ocurre en otros cultivos, el rendimiento de la remolacha hortícola para consumo fresco se mide en peso fresco, por lo que, a igual materia seca cosechada, menores porcentajes de materia seca en la raíz corresponderán a mayores rendimientos. En el caso de la remolacha azucarera el carácter de interés es el rendimiento en azúcar (Biancardi *et al.*, 2010), por lo cual la proporción de sacarosa en la materia seca es un factor importante para tener en cuenta. En el de la remolacha forrajera, el índice de cosecha no es un factor muy importante si el forraje se consume *in situ*, ya que la planta entera suele ser ingerida por el ganado.

Cualquier factor que reduzca la expansión foliar afecta la intercepción de radiación y puede incidir negativamente en la acumulación de materia seca de toda la planta y en última instancia en su rendimiento (Lemaire *et al.*, 2009). Así, por ejemplo, Chakwizira *et al.* (2018) reportaron que el efecto promotor del rendimiento del riego y de la fertilización nitrogenada en cultivos de remolacha forrajera era atribuible fundamentalmente al incremento en la radiación interceptada, siendo menor la contribución del aumento de RUE y mínimos los cambios en la partición hacia la raíz. No obstante, dado que la remolacha posee la capacidad de continuar desarrollando hojas casi indefinidamente, las plantas poseen cierta capacidad de recuperación del área foliar cuando esta es afectada por un estrés temprano. En condiciones normales de cultivo, un equilibrio entre la senescencia y la producción de nuevas hojas mantiene el área foliar relativamente constante durante las etapas avanzadas del cultivo, mientras que la raíz aumenta progresivamente su tamaño (Vandendriessche *et al.*, 1990). Esta renovación constante de la fuente fotosintética permite acumular grandes cantidades de materia seca en la raíz de reserva, que presenta un crecimiento virtualmente indefinido (Tei *et al.*, 1996; Jaggard *et al.*, 2009). Es por esto que frecuentemente se ha considerado que el rendimiento en peso y en azúcar suelen estar limitados por el tamaño de la fuente fotosintética.

Las defoliaciones intensas de la remolacha azucarera, especialmente si son realizadas desde una fecha temprana, suelen reducir el rendimiento (Stallknecht y Gilbertson, 2000) mientras que aumentos en la concentración del CO₂ ambiental incrementaron el rendimiento de manera significativa (Ford y Thorne, 1967; Thomas, 1999; Manderscheid *et al.*, 2009). Sin embargo, no siempre el crecimiento de las raíces se encuentra limitado por el tamaño de la fuente productora de fotoasimilados. Burkart *et al.* (2009) sugirieron que el crecimiento de la remolacha azucarera está influenciado por factores y procesos endógenos que cambian la actividad del destino (es decir, la raíz de reserva) durante la ontogenia de la planta, lo que a su vez influye en la tasa fotosintética. Esto ocurriría cuando el suministro de fotoasimilados generados por las hojas excede la capacidad de acumulación de las raíces, con la consiguiente acumulación de fotoasimilados en otras partes de la planta, incluidas las hojas (Geiger *et al.*, 1969; Manderscheid *et al.*, 2010). A su vez, el aumento en la concentración de azúcar en las hojas controlaría la actividad de la fuente mediante una

retroalimentación negativa sobre la capacidad fotosintética (Paul y Foyer, 2001).

Las remolachas hortícola y azucarera presentan una fuerte respuesta de escape al sombreado. Aun en ausencia de una competencia directa por recursos, la simple presencia de plantas vecinas a través de la luz reflejada determina una fuerte reducción del crecimiento de las raíces, pero el desarrollo foliar es el menos afectado (Schambow *et al.*, 2019). La marcada disminución en el tamaño de las raíces ante incrementos en la densidad (Hills, 1973) tiene fuertes implicancias sobre el rendimiento del cultivo.

La eficiencia de uso de la radiación en términos de radiación fotosintéticamente activa (PAR) está vinculada directamente a la fijación de carbono por el follaje. Las hojas individuales de remolacha azucarera saturan su fotosíntesis con irradiancias de aproximadamente 1.000 μmol fotones PAR $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Vandendriessche *et al.*, 1990), pero se han reportado valores algo superiores (1.300 μmol fotones PAR $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para canopeos cerrados (Shi *et al.*, 2010). Condiciones ambientales que disminuyen la tasa fotosintética (por ejemplo, deficiencias de nitrógeno) causan generalmente una disminución de los valores de RUE (Malnou *et al.*, 2008). Existen pocos estudios acerca de la RUE en remolacha hortícola y en remolacha forrajera, mientras que son numerosos en remolacha azucarera. En el caso de la remolacha hortícola, Tei *et al.* (1996) reportaron un valor de 1,66 g MJ^{-1} PAR interceptado (equivalente a 0,8 g MJ^{-1} de radiación global interceptada, RGI). Para la remolacha forrajera, Chakwizira *et al.* (2018) reportaron valores mayores (de entre 2,2 y 3,6 g MJ^{-1} PAR interceptado, correspondientes a 1,06-1,73 g MJ^{-1} RGI, para cultivos en secano y bajo riego, respectivamente). Estos valores son similares a los usualmente reportados para remolacha azucarera, los que a su vez se consideran altos en comparación con los de otros cultivos C₃ como soja y girasol, aunque algo inferiores a los de plantas C₄ como maíz (Katerji *et al.*, 2008). De acuerdo con Jaggard *et al.* (2009) no solo no ha habido progreso en los valores de RUE en los cultivares desarrollados desde la década de 1980, sino que además se ha registrado una disminución neta de este valor. En los cultivos realizados en esa década, bajo condiciones potenciales, se observaban valores de RUE superiores a 1,75 g MJ^{-1} RGI, mientras que en un ensayo llevado a cabo en 2006 los valores fueron de 1,22 y 1,37 g MJ^{-1} RGI para cultivos de secano y bajo riego, respectivamente (Jaggard *et al.*, 2009). No obstante, en el estudio de Lemaire *et al.* (2009), se reportaron valores de 3,36 g MJ^{-1} PAR interceptado (equivalentes a aproximadamente 1,61 g MJ^{-1} RGI). Rinaldi y Vonella (2006) encontraron valores de RUE algo mayores en los cultivos iniciados en primavera que en los de otoño (1,14 y 1,00 g MJ^{-1} RGI respectivamente), y este resultado fue atribuido a que si bien la producción total de materia seca era similar entre fechas de cultivo, el ciclo fue más corto en la siembra primaveral. En cambio, Hoffmann y Kluge-Severin (2010, 2011) no encontraron diferencias entre cultivos de otoño o primavera, promediando 1,2 g MJ^{-1} de RGI.

Los valores de índice de cosecha (IC) reportados tanto para la remolacha hortícola (Infante Posada, 2010) como forrajera y azucarera (Chakwizira *et al.*, 2018; Laufer *et al.*, 2016) son superiores a los de la mayoría de los cultivos ya que alrededor del 80% de la MS se encuentra en las raíces de reserva al fin del ciclo del cultivo. La remolacha forrajera, por tener en general un menor IAF, puede presentar valores de IC ligeramente superiores a la remolacha azucarera (Laufer *et al.*, 2016). El IC

puede disminuir como consecuencia de niveles excesivos de nitrógeno, que promueven el desarrollo foliar sin un efecto positivo sobre el crecimiento radical (Starke y Hoffmann, 2014a). Por el contrario, el estrés hídrico, que reduce la expansión foliar e incrementa la partición de fotoasimilados hacia órganos subterráneos, tiende a aumentar el IC (Werker *et al.*, 1999).

En ensayos en que se comparó la producción total de materia seca (MS) de la planta, o el rendimiento en términos de MS de la raíz de reserva, la remolacha azucarera presentó valores algo superiores a la remolacha forrajera (Starke y Hoffmann, 2014a; Laufer *et al.*, 2016). Esto ha sido atribuido a diferencias en los avances del mejoramiento de ambos cultivos (Laufer *et al.*, 2016). No existen, en nuestro conocimiento, ensayos comparativos de rendimiento de estos tipos de remolacha con la remolacha hortícola. Es importante tener en cuenta que, en la práctica, solo en la remolacha forrajera el rendimiento se evalúa en términos de MS acumulada en la raíz de reserva, en cambio el rendimiento en peso fresco y en azúcar son las variables de interés en la remolacha hortícola y azucarera, respectivamente. En general, los contenidos de MS de las raíces de la remolacha hortícola son los menores de entre los tres tipos, si bien son bastante variables. El porcentaje de MS varió entre 6 y 15,6% (Raczko *et al.*, 2015; Ugrinović *et al.*, 2012;

Szopińska y Gawęda, 2013; Straus *et al.*, 2012). Petek *et al.* (2012) observaron una variación interanual de más del 100% en el contenido de MS del mismo cultivar relacionada con las precipitaciones caídas durante el ciclo de cultivo. Para la remolacha forrajera se han reportado valores medios de entre 11,5 y 18,6% (Turk, 2010; Starke y Hoffmann, 2014a). Aunque existe alta variabilidad entre raíces individuales, la mayoría de los datos se presentaba en el rango de 15 a 20%. Por una parte, Judson *et al.* (2016) encontraron que la MS tiende a disminuir cuanto mayor es el tamaño de las raíces. Por otra parte, los mayores valores medios de contenido de MS suelen encontrarse en la remolacha azucarera, en un rango que va de 17,1 a 25,6% (Starke y Hoffman, 2014a, b).

El tamaño individual de las raíces disminuye con el aumento en la densidad de siembra. Raíces más chicas tienden a presentar mayores concentraciones de MS y de sacarosa (Hills, 1973; Judson *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017). Como consecuencia de estos efectos, el rendimiento en azúcar es estable en un amplio rango de densidades de siembra, mientras que la producción de biomasa fresca por unidad de superficie alcanza un máximo valor a densidades relativamente bajas (figura 5), lo que tiene implicancias agronómicas para la producción de los distintos tipos de remolacha.

El ordenamiento de los tipos de remolacha en cuanto a contenido de MS de las raíces se corresponde con el de la concentración de azúcar en estas. La proporción de azúcar en la MS de las raíces es menor en la remolacha hortícola, en la que suele representar alrededor del 50% (Szopińska y Gawęda, 2013). En cambio, Starke y Hoffmann (2014a) reportaron concentraciones de sacarosa que representaban 72,6% y 77,3% de la MS de las raíces de las remolachas forrajera y azucarera, respectivamente. La mayor concentración de azúcar en la remolacha azucarera sumada a una mayor producción de MS resulta en un mayor rendimiento en azúcar que la transforma en el tipo de remolacha más apropiado para diversos usos industriales (Laufer *et al.*, 2016).

Limitantes ambientales del rendimiento

La respuesta del rendimiento en relación con la disponibilidad de agua y nutrientes, especialmente nitrógeno, así como la tolerancia a la salinidad y a temperaturas extremas, entre otras limitantes ambientales, son aspectos importantes para analizar, sobre todo teniendo en cuenta que las remolachas suelen ser destinadas a ambientes subóptimos.

- **Disponibilidad hídrica:** la remolacha hortícola se produce generalmente bajo riego (Farnia y Hashemi, 2015; Kiyamaz y Ertek, 2015). Las remolachas azucarera y forrajera se cultivan mayoritariamente en secano; estas últimas recibieron mayor atención en cuanto a sus requerimientos hídricos. Se ha estimado que la remolacha azucarera consume 500-800 mm de agua durante la estación de crecimiento (Rinaldi y Horemans, 2012). Varios estudios han calculado la eficiencia de uso del agua de la remolacha azucarera. Jakli *et al.* (2018) obtuvieron valores entre 6,9 y 7,8 kg m⁻³ en cultivos bajo diferente nivel de fertilización potásica. Asimismo, Katerji y Mastroilli (2009) en un estudio comparativo de diferentes cultivos reportaron valores de EUA entre 6,1 y 7,9 kg m⁻³. Chakwizira *et al.* (2014a) encontraron que la EUA para la remolacha forrajera fue de entre 4,6 y 8,0 kg m⁻³ y que estaba negativamente correlacionada con la disponibilidad de agua en el suelo. Existe por otra parte un vacío

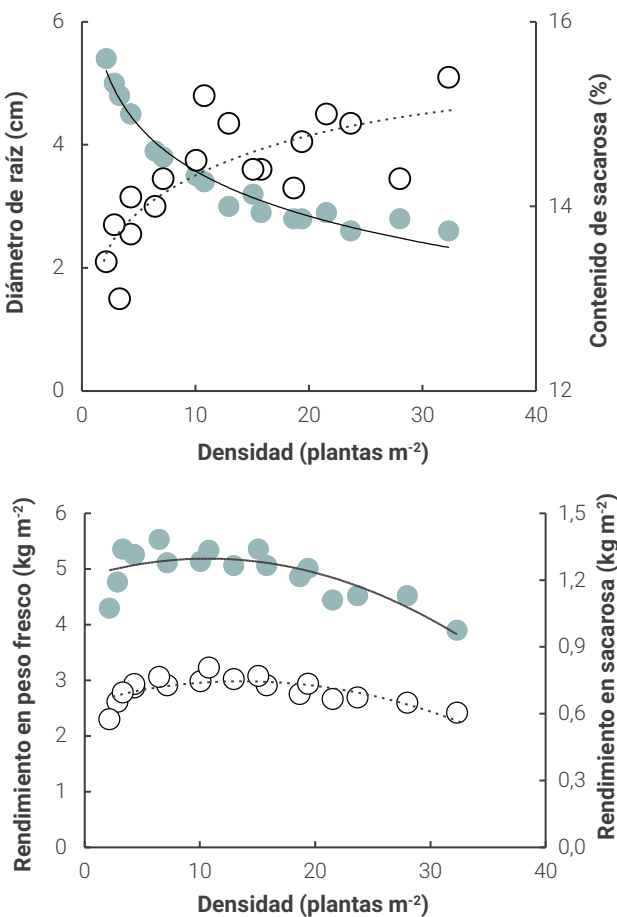


Figura 5. Relación entre la densidad de plantas, el diámetro de la raíz (●) y la concentración de sacarosa (○) (A) y relación entre la densidad de plantas y el rendimiento en peso fresco (●) y en sacarosa (○) (B) en remolacha azucarera. Reelaborado a partir de Hills (1973).

en la información acerca de EUA en remolacha hortícola, cuyas hojas de menor tamaño podrían mostrar diferencias en la eficiencia transpiratoria, y por lo tanto merecen ser explorados y no interpolados a partir de los conocimientos acerca de los otros tipos de remolacha. Cuando la restricción hídrica es moderada, la partición de fotoasimilados en la planta se modifica priorizando el crecimiento de las raíces a expensas del crecimiento foliar, compensando en cierto grado la menor fijación de carbono (Werker *et al.*, 1999). El crecimiento foliar puede recuperarse cuando la provisión de agua mejora (Choluj *et al.*, 2004). Si bien las remolachas muestran una alta plasticidad adaptativa a la baja disponibilidad de agua (Stagnari *et al.*, 2014), el estrés hídrico es el principal factor que afecta el rendimiento de los cultivos en seco (Pidgeon *et al.*, 2001, 2006; Shrestha *et al.*, 2010; Hassanli *et al.*, 2010). El efecto del estrés hídrico sobre la producción depende del nivel de estrés, del estado fenológico del cultivo y de la estación de crecimiento (Choluj *et al.*, 2004; Monti *et al.*, 2006). Tanto el rendimiento de MS como la acumulación de azúcares en la raíz se hallan estrechamente correlacionados con la evapotranspiración del cultivo (Uçan y Gencoulan, 2004). Por esto, un prerrequisito para obtener rendimientos elevados es la combinación de suelos profundos, con buena capacidad de almacenamiento de agua, y un adecuado suministro hídrico (Kenter *et al.*, 2006).

- **Disponibilidad de nitrógeno:** la escasez de nitrógeno retarda el crecimiento foliar (Milford *et al.*, 1985), acelera la senescencia de las hojas (Nouri *et al.*, 2009) y reduce así la cantidad de radiación solar interceptada y el rendimiento (Werker *et al.*, 1999). El nitrógeno en exceso suele causar una excesiva producción de hojas (Milford *et al.*, 1988) que no aumenta significativamente la intercepción de radiación (Scott *et al.*, 1994) y disminuye la proporción de asimilados almacenados como sacarosa en la raíz (Milford y Watson, 1971; Milford, 1973; Stevens *et al.*, 2007; Abdel-Motagally y Attia, 2009). Starke y Hoffmann (2014a) encontraron que el rendimiento de MS de raíz de remolacha forrajera bajo la máxima dosis aplicada (300 kg ha⁻¹) no difirió del logrado con 100 o 200 kg ha⁻¹, mientras que en dos cultivares de remolacha azucarera la máxima dosis de N disminuyó el rendimiento de MS con respecto a las otras dosis. Con respecto a la eficiencia en el uso del nitrógeno, Laufer *et al.* (2016) reportaron valores de 75-130 y de 60-125 kg de peso seco de raíz/kg de N en toda la planta para remolacha forrajera y azucarera, respectivamente. Mele (2019) encontró una fuerte disminución de la EUN con el aumento en el nivel de fertilización nitrogenada en remolacha azucarera.
- **Sales:** si bien el ancestro de las remolachas cultivadas, la *Beta vulgaris* subsp. *maritima* era resistente a la salinidad (Stevanato *et al.*, 2001), esta característica se perdió parcialmente durante el proceso de mejoramiento orientado a incrementar el rendimiento en azúcar (Rozema *et al.*, 2015). Así, se ha observado cierta sensibilidad a la salinidad durante las primeras etapas de crecimiento de las plántulas de remolacha azucarera (Ghoulam y Fares, 2001) para tornarse más tolerantes en estadios posteriores (Katerji *et al.*, 1997; Romano *et al.*, 2013). La tolerancia a la salinidad de los cultivos suele caracterizarse a través de dos parámetros:
 - el umbral de salinidad, valor medido en unidades de conductividad eléctrica (dS m⁻¹) a partir del cual disminuye el rendimiento en MS;

- la pendiente de la respuesta porcentual del rendimiento a la salinidad.
- Basados en datos históricos, Tanji y Kielen (2002) clasifican a la remolacha azucarera como “tolerante” (valores de 9,0 dS m⁻¹ y 5,9% dS⁻¹ m para umbral y pendiente, respectivamente) y a la remolacha hortícola como “moderadamente tolerante” (4,0 dS m⁻¹ y 7,0 dS⁻¹ m para umbral y pendiente, respectivamente). La remolacha forrajera no se encuentra incluida en este documento, pero la información disponible indica que es un cultivo cuya tolerancia es solo ligeramente inferior a la de su ancestro halófito. Niazi (2007) observó que la tasa de crecimiento relativo (RGR) de la remolacha forrajera era superior a la de la planta ancestral independientemente del nivel de salinidad. Asimismo, Rozema *et al.* (2015) observaron que al aumentar la salinidad de 0,4 a 5 dS m⁻¹ en un cultivo hidropónico de remolacha azucarera la tasa de crecimiento relativo se incrementaba aproximadamente un 20% sin alterar la partición de asimilados a la raíz, mientras que en condiciones de campo, Goh y Magat (1989) encontraron que, la aplicación de 295 kg ha⁻¹ fue suficiente para aumentar un 30% la producción de materia seca y azúcar de la raíz. Estos resultados sugieren que niveles moderados de NaCl en el suelo podrían actuar como fertilizantes en el cultivo de remolachas.
- **Temperatura:** tradicionalmente, el riesgo de vernalización con la consecuente pérdida de calidad por inducción floral representó una dificultad para el cultivo de remolachas en condiciones de bajas temperaturas, en tanto el daño por heladas era un problema importante solo en las siembras primaverales tempranas de la remolacha azucarera (Lasa Dolhagaray y López, 1977; Campbell y Enz, 1991). Con el desarrollo de cultivares resistentes a la vernalización, que permiten realizar siembras otoñales, la probabilidad de que las raíces estén expuestas a las heladas ha aumentado, promoviendo el interés por estudiar los factores que condicionan la resistencia al frío en esta especie (Kirchhoff *et al.*, 2012; Loel y Hoffmann, 2014, 2015). Se ha observado que la tolerancia a las heladas depende en gran medida del tamaño de la planta en términos del diámetro de la raíz. Por un lado, Reinsdorf *et al.* (2013) reportaron que las tasas de supervivencia más altas se hallaban en raíces de 1-2,5 cm de diámetro, en las que las plantas toleraron eventos de congelación del tejido de la raíz hasta aproximadamente -4,5 °C, con temperaturas del aire de aproximadamente -15 °C, mientras que las raíces más grandes se dañaron a alrededor de -1,5 °C. Esta mayor tolerancia de las raíces más pequeñas se asoció a una mayor osmolalidad del tejido dada por altas concentraciones de iones K⁺ y Na⁺ y aminoácidos. La respuesta de las remolachas a temperaturas elevadas, por otro lado, ha sido menos explorada. La tasa máxima de acumulación de azúcares de la remolacha azucarera se produce a temperaturas entre 20 y 22 °C, y disminuye fuertemente a temperaturas superiores a 30 °C (Petkeviciene, 2009). La temperatura máxima para la acumulación de sacarosa se encuentra en alrededor de 35 °C, por encima de la cual la acumulación se detiene (Mahmoud y Hill, 1981; Gobin, 2012).

ECOFISIOLOGÍA DE LA CALIDAD

Considerando la calidad de un producto como su aptitud para un uso determinado, los parámetros que definen la calidad de

los distintos tipos de remolachas difieren de acuerdo al propósito de su cultivo y serán por esto abordados por separado.

Remolacha hortícola

La calidad comercial de la remolacha hortícola se ha relacionado tradicionalmente con sus características externas, incluyendo el tamaño, forma, sanidad y ausencia de defectos. Así, se ha evaluado la influencia de distintas variables o prácticas agronómicas sobre estos atributos (Benjamin *et al.*, 1987; Benjamin, 1997; Rantao, 2013; Kaack, 2016). Para las diferentes presentaciones y productos industrializados derivados de la remolacha hortícola que agregan valor a su producción (preparaciones congeladas, enlatadas, encurtidas, pasteurizadas) estos aspectos de calidad son particularmente rigurosos (Featherstone, 2015). La creciente información sobre los efectos benéficos del consumo de la remolacha hortícola sobre la salud humana (Misan *et al.*, 2016; Vasconcellos *et al.*, 2016; Bach *et al.*, 2015; Niziol-Lukaszewska, 2015) ha incrementado la atención en aspectos de la calidad en términos de la composición química de la raíz.

La calidad de la remolacha hortícola orientada a la preparación de alimentos funcionales para la obtención de compuestos nutraceuticos o para el desarrollo de bioenvases depende en gran medida de la concentración de pigmentos. El tipo y la concentración de estos pigmentos también definen sus propiedades antioxidantes (Czapski *et al.*, 2009; Watari *et al.*, 2017). Las betalaínas, principales pigmentos de las remolachas, pueden clasificarse en dos tipos: betacianinas, que confieren a las raíces el color rojo violáceo, y betaxantinas, de color amarillo. La principal betacianina es la betanina ($C_{24}H_{27}N_2O_{13}$), pigmento rojo soluble en agua registrado como aditivo alimentario en el código E162 (Singh y Bharati, 2014), que comprende 75%-95% del total de los pigmentos rojos (Von Elbe *et al.*, 1972). El color rojo de las raíces en la mayoría de los cultivares se debe a que la concentración de betacianinas

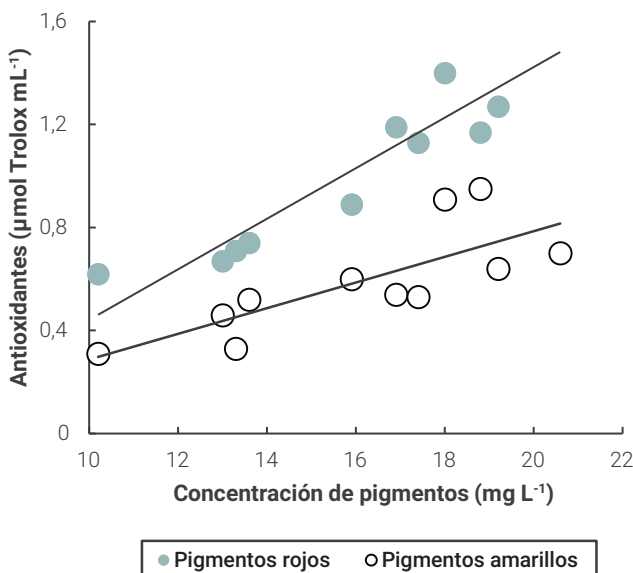


Figura 6. Relación entre la capacidad antioxidante y la concentración de pigmentos rojos y amarillos en once cultivares de remolacha hortícola. La línea cortada representa el ajuste de la siguiente ecuación a los datos experimentales: Contenido de pigmentos rojos = $0,098-0,54$ ($r^2 = 0,879$). Contenido de pigmentos amarillos = $0,050-0,21$ ($r^2 = 0,601$). Adaptado de Czapski *et al.* (2009).

es mayor que la de betaxantinas. En la figura 6 se muestra la correlación entre la concentración de las betalaínas y la capacidad antioxidante de extractos de la raíz de un grupo de 11 cultivares europeos de remolacha analizados por Czapski *et al.* (2009).

La concentración de betalaínas es mucho menor (del orden del 1%) que la de azúcar en la raíz, el cual es un constituyente no deseado en los extractos de colorante. La concentración de pigmentos y la de azúcar se encuentran genéticamente poco correlacionadas. Programas de mejoramiento destinados a la producción de pigmentos han sido exitosos en la obtención de cultivares con mayor concentración de pigmentos, pero no ha sido posible lograr cultivares con baja concentración de azúcares (Goldman y Navazio, 2010). La concentración de pigmentos, que se encuentra por otra parte inversamente correlacionada con el tamaño de la raíz (Wolyn y Gabelman, 1990), es afectada por los factores ambientales durante el crecimiento de la planta, especialmente la luz y la temperatura. En cultivos tardíos (expuestos a mayor radiación y temperatura) se logran mayores concentraciones de pigmentos (Wolyn y Gabelman, 1986). También se encontró que las remolachas cultivadas en el campo presentaban una concentración de betalaína 25% mayor que las cultivadas en invernáculo (Lee *et al.*, 2014), lo que podría atribuirse a diferencias en la radiación incidente en ambas condiciones. Temperaturas altas provocan la formación de anillos concéntricos de color blanco, que disminuyen la calidad de la raíz (Thompson y Kelly, 1959), posiblemente por un desbalance entre el crecimiento y la síntesis de pigmentos. Existe un déficit de información acerca de los efectos del ambiente sobre la concentración de pigmentos.

Las remolachas tienen un aroma y sabor terroso, características dadas por el sesquiterpenoide geosmina. Si bien la concentración de geosmina en la remolacha es baja ($9,7-26,7 \mu\text{g kg}^{-1}$), su bajo umbral para la percepción del olor ($0,01-0,02 \mu\text{g L}^{-1}$) hace que este compuesto tenga un alto impacto en la percepción del aroma y sabor de las raíces (Lu *et al.*, 2003). Dado que la geosmina es sintetizada por microorganismos del suelo, se ha debatido si la presencia del compuesto en las raíces de remolacha, especialmente en los tejidos superficiales, se debe a una absorción desde el suelo, o si la propia raíz es capaz de sintetizarla. Esta última posibilidad fue demostrada por Lu *et al.* (2003) en cultivos realizados en condiciones asépticas. Adicionalmente, la geosmina es un compuesto muy atractivo para el mosquito *Aedes aegypti*, por lo que se ha propuesto elaborar trampas a partir del producto del pelado de las raíces (Melo *et al.*, 2020).

Las remolachas hortícolas contienen cantidades importantes de nitratos (dos Santos Baião *et al.*, 2016) El contenido de nitratos puede ser un atributo de calidad positivo o negativo de acuerdo con el destino del producto. Se encontró que los nitratos de remolacha eran responsables en la reducción de la hipertensión en adultos; sin embargo, las altas dosis de nitratos no son aconsejables en las dietas de los niños (Merreddy *et al.*, 2017). El contenido de nitratos depende de las condiciones ambientales durante el cultivo. Las altas intensidades lumínicas y los días largos tienden a disminuirlos, mientras que los efectos de la temperatura son complejos y dependientes de su interacción con la luz, la humedad del suelo y la disponibilidad de N (Maynard *et al.*, 1976).

Remolacha azucarera

El principal parámetro de calidad de la remolacha azucarera es la concentración de sacarosa en la raíz (Biancardi *et al.*,

2010) junto con una baja concentración de solutos que afectan negativamente la cristalización de sacarosa, entre ellos iones Na^+ , K^+ y aminoácidos (Loel *et al.*, 2014). Existe una fuerte correlación negativa entre el contenido de sacarosa y la suma de solutos no azucarados (Hoffmann, 2010a, b). Aproximadamente el 75% de la MS de las raíces son azúcares, el 20% son componentes insolubles de las paredes celulares, y el 5% restante, componentes solubles (Hoffmann *et al.*, 2005). La sacarosa es el principal azúcar de la remolacha, acompañada de pequeñas cantidades de glucosa y fructosa (Bavec *et al.*, 2010). La sacarosa es almacenada en las vacuolas de las células del parénquima, ubicado entre los anillos de cambium formados tempranamente (Hoffmann, 2010a). Se ha identificado un transportador ubicado en el tonoplasto que intercambia sacarosa con protones (Jung *et al.*, 2015). La acumulación de sacarosa en las células del parénquima es, en parte, regulada por la presión de turgencia celular, que a su vez depende de la rigidez de las paredes de estas células (Wyse *et al.*, 1986; Winzer *et al.*, 1996). El incremento en la concentración de sacarosa logrado por mejoramiento se debe, en parte, a una disminución de la concentración de los componentes de la pared celular asociado a una disminución de su espesor (Hoffmann *et al.*, 2005; Kenter y Hoffmann, 2009). Esta transformación de los carbohidratos estructurales a carbohidratos de almacenamiento puede afectar la estabilidad de la pared celular si se incrementa la acumulación de azúcares y la presión osmótica resultante, por lo que existe un límite fisiológico al incremento en la concentración de azúcares (Hoffmann, 2010b). Los avances logrados tanto en la genética como en las condiciones culturales llevan a plantearse actualmente cuáles son los márgenes remanentes para futuros incrementos en el rendimiento de azúcar de este cultivo (Curcic *et al.*, 2018; Hoffmann y Kenter, 2018). No obstante, parece quedar aún margen para el mejoramiento en este sentido. Gumienna *et al.* (2016) encontraron una importante variación en la concentración de azúcar en el análisis comparativo de 49 híbridos de remolacha. Además de estos avances se han destinado esfuerzos a mejorar la forma de las raíces, transformándolas de cónicas a redondas con el objetivo de facilitar la cosecha y evitar la extracción de suelo durante este proceso (Mesken y Dieleman, 1988; Tsalts y Maslaris, 2010).

El contenido de nitrógeno constituye una particular preocupación en la producción de azúcar. Los principales compuestos nitrogenados en las raíces de remolacha son la betaína y los aminoácidos, comprendiendo cada uno de ellos, aproximadamente un 30% del nitrógeno soluble total (NST) de la raíz (Martínez Arias *et al.*, 2017). En un estudio con 57 genotipos cultivados en 22 ambientes, Hoffmann y Märlander (2005) observaron que la composición del NST, particularmente la glutamina, es más afectada por el ambiente, especialmente por la disponibilidad de nitrógeno, que por el genotipo. Estos resultados concuerdan con los reportados por Pocock *et al.* (1990). La betaína (N, N, N-trimetilglicina) es un compuesto que se acumula en condiciones de salinidad (Hanson y Wyse, 1982) y déficit hídrico (Shaw y Thomas, 2002) produciendo el ajuste osmótico que confiere a las remolachas tolerancia a estos tipos de estrés. Las betaínas han sido consideradas un compuesto indeseable en la remolacha azucarera por afectar negativamente la cristalización de azúcar (Hoffmann y Märlander, 2005). Sin embargo, es actualmente valorizada por sus propiedades nutracéuticas y se han realizado esfuerzos destinados a mejorar su extracción a partir de distintas partes de la planta (Rivoira *et al.*, 2017). Las betaínas están presentes

tanto en los tallos como en las raíces y, a pesar de que la mayor parte de los estudios se refieren a la remolacha azucarera, se encuentra presente en similar o mayor concentración en la remolacha hortícola (Rivoira *et al.*, 2017).

La geosmina en combinación con ácidos grasos volátiles producidos por contaminación con microorganismos del suelo o por la propia planta contribuyen a un aroma terroso del azúcar obtenido a partir de remolacha (Marsili *et al.*, 1994). Este aroma es percibido como un defecto de calidad por paneles de degustación (Urbanus *et al.*, 2014).

La floración puede afectar negativamente la calidad de la remolacha azucarera debido a una disminución en la concentración de azúcares y un aumento en la proporción de MS estructural en las raíces. Más allá de los recientes avances en la comprensión de los mecanismos involucrados en el control de la floración en esta especie (Höft *et al.*, 2018a, b), la sensibilidad a la inducción floral por acumulación de horas de frío limita severamente la posibilidad de siembras otoñales en regiones templado-cálidas.

Remolacha forrajera

La calidad de la remolacha forrajera se asocia fundamentalmente con la concentración de MS en las raíces, la que resulta de muy alta digestibilidad en comparación con otros forrajes (Salama y Zaid, 2017). Existe una correlación inversa entre el contenido de MS de las raíces y su tamaño (Judson *et al.*, 2016). La partición del N de la planta hacia la raíz suele ser mayor que en la remolacha azucarera, ya que al no constituir los compuestos nitrogenados un atributo desfavorable en este caso, no se ha procurado disminuir su concentración en la raíz dentro de los programas de mejoramiento (Laufer *et al.*, 2016).

En cuanto a la morfología, se prefieren aquellas plantas cuyas raíces quedan expuestas en mayor medida por sobre la superficie del suelo de modo de facilitar su consumo por el ganado. Este atributo ha sido abordado en los programas de mejoramiento genético con buenos resultados. Además, la calidad también se encuentra asociada con bajos niveles de ácido oxálico en las hojas, ya que este compuesto le da propiedades descalcificantes y laxantes, para los casos en que la planta es consumida por el ganado *in situ* (Yarza García, 1970).

PERSPECTIVAS FUTURAS Y CONSIDERACIONES FINALES

Es esperable que las remolachas ocupen en un futuro no lejano un lugar relevante en la producción agrícola mundial, incluida América del Sur. Tal como se expone en esta revisión, la especie se adapta favorablemente a vastas zonas de clima templado siendo relativamente poco exigente en requerimientos agroclimáticos y edáficos, con alta productividad basada en su muy alto índice de cosecha, pero también en una elevada eficiencia de uso de la radiación (Katerji *et al.*, 2008) y cuyos usos, en sus diferentes tipos, son múltiples y crecientes debido a que cubren variadas demandas de la población en cuanto a calidad de vida y cuidado del medioambiente. No obstante, para hacer posible la implementación a gran escala de estos cultivos será necesario abordar algunos vacíos en el conocimiento, especialmente en aquellas regiones donde no es un cultivo tradicional.

Muchos de los nuevos usos y aplicaciones corresponden a la remolacha hortícola. Como destacan Babarykin *et al.*

(2019), en la última década hubo un crecimiento explosivo del interés en la remolacha hortícola vinculado a sus propiedades beneficiosas para la salud humana. Sin embargo, la remolacha es aún subproducida y subconsumida a nivel mundial (Meredy et al., 2017). La información ecofisiológica acerca de este tipo de remolacha es muy inferior a la disponible acerca de la remolacha azucarera; los alcances y las limitaciones de la extrapolación de la información disponible entre tipos de remolacha deberán ser cuidadosamente analizados. Asimismo, existe un déficit de información acerca de los efectos ambientales y de prácticas de manejo sobre la concentración de compuestos que constituyen atributos de calidad.

Durante los últimos años se ha puesto el foco sobre la sostenibilidad e impacto ambiental de los cultivos en general. Entre las remolachas, solo la azucarera ha sido objeto de análisis de sostenibilidad de su producción y uso. Se ha concluido que este cultivo es altamente sustentable, habiéndose llegado a este nivel por avances graduales, tanto en el mejoramiento genético como en el manejo agronómico (Stevanato et al., 2019). No obstante, estos autores señalan que queda un importante margen para mejorar la estabilidad del rendimiento, la resistencia a estreses bióticos y abióticos y la adaptabilidad a condiciones subóptimas de manejo. Analizando distintas rotaciones de cultivos, Gotze et al. (2017) reportaron que la inclusión de alfalfa en las rotaciones mejoraba la producción de materia seca y de azúcar, mientras que el monocultivo las reducía. Jaggard et al. (2004) concluyeron que este cultivo consume relativamente baja cantidad de agroquímicos. En un ranking comparativo, la ecotoxicidad por pesticidas de la remolacha azucarera fue de alrededor de un orden de magnitud menor que la de los cultivos de papa, y también menor que las de trigo, cebada, arvejas y colza. Estos autores también calcularon que su contribución al calentamiento global es relativamente baja, ya que su consumo de energía es escaso y se encuentra mayormente relacionado con la necesidad de transporte de los grandes volúmenes de raíces cosechadas a las plantas de procesamiento. Acerca de los efectos sobre el suelo, Gotze et al. (2016a) reportaron que en un ensayo de 41 años de duración donde se evaluaron distintas rotaciones de remolacha azucarera con trigo y maíz no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a materia orgánica total o microbiana, aunque el contenido de humus tendió a reducirse con el monocultivo. Tampoco se observaron impactos negativos sobre distintos parámetros relacionados con la estructura del suelo, excepto para la compactación ejercida por el proceso de cosecha, que pudo ser resuelta disminuyendo la carga de las tolvas y reduciendo la presión de los neumáticos (Gotze et al., 2016b). Claramente, existe una necesidad de evaluar la sustentabilidad del cultivo de los otros tipos de remolacha, especialmente de remolacha hortícola cultivada de modo extensivo con fines industriales.

Con el fin de conocer el posible impacto del cambio climático sobre la producción de remolacha, por un lado, se evaluó el efecto de aumentos de la concentración de CO₂ y temperatura sobre el rendimiento de remolacha azucarera, con resultados neutros. Así, en un conjunto de tres años de ensayos, Demmers-Derks et al. (1998) reportaron que mientras la elevación de los niveles de CO₂ a 600 o 700 ppm incrementaba la producción total de materia seca, el incremento en la temperatura (+3 °C respecto de la temperatura ambiente) tendía a disminuirla, siendo estos efectos independientes. Por otra parte, observaron que no hubo cambios significativos en la concentración de azúcar dentro de la materia seca. Jones et

al. (2003) concluyeron que el cambio climático podría promover pequeños incrementos del rendimiento en azúcar en el norte de Europa, pero disminuciones de similar magnitud en regiones centrales, en última instancia resultando en una estabilidad del rendimiento a nivel global.

En este contexto favorable, el cultivo de las remolachas ha ido ganando progresivamente espacio en Sudamérica. En el caso particular de la Argentina, durante el último lustro se han conducido experimentos promisorios con remolacha azucarera (Rivas, 2017) y forrajera (Marinissen, 2017), aunque estos cultivos no se han difundido aún en el país. En cuanto a la remolacha hortícola, solo se cultiva para uso tradicional en los cinturones hortícolas de las grandes ciudades, y prácticamente no se la industrializa, por lo que los pigmentos (betalaínas) empleados en la industria alimentaria deben ser importados (Lecker Argentina S.A., comunicación personal). Para concretar la expansión de estos cultivos en la región es necesario disponer de los conocimientos básicos que permitan evaluar la factibilidad regional para, a partir de ello, generar información local que permita maximizar la producción y la calidad de los productos logrados. El desarrollo de las tecnologías de producción, uso y transformación de las remolachas podrán posicionar a estos cultivos como una alternativa valiosa para el desarrollo de las economías regionales del Cono Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- ABAYOMI, Y.A.; WRIGHT, D. 2002. Sugarbeet leaf growth and yield response to soil water deficit. *African Crop Science Journal* 10 (1), 51-66.
- ABDEL-KADER, E.M.A. 2011. Effect of nitrogen fertilizer rates and some growth regulators treatments on sugar beet. *Mansoura Journal of Plant Production* 2, 1693-1702.
- ABDEL-MOTAGALLY, F.M.; ATTIA, K.K. 2009. Response of sugar beet plants to nitrogen and potassium fertilization in sandy calcareous soil. *International Journal of Agriculture and Biology* 11 (6), 695-700.
- AKHTAR, M.J.; JACQUOT, M.; JASNIEWSKI, J.; JACQUOT, C.; IMRAN, M.; JAMSHIDIAN, M.; PARIS C.; DESOBRY, S. 2012. Antioxidant capacity and light-aging study of HPMC films functionalized with natural plant extract. *Carbohydrate Polymers* 89(4), 1150-1158.
- ALONSO, J.M. 1964. Remolacha azucarera. Antecedentes para la República Argentina. Buenos Aires. Argentina. 182 p.
- ASGHARPOUR, M.R.; MONDANI, F.; RIAHINIA, S. 2012. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. *Energy* 44 (1), 1078-1084.
- AZEREDO, H.M.C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 2009 (44), 2365-2376.
- BABARYKIN, D.; SMIRNOVA, G.; PUNDINSH, I.; VASILJEVA, S.; KRUMINA, G.; AGEJCHENKO, V. 2019. Red Beet (*Beta vulgaris*) impact on human health. *Journal of Biosciences and Medicines* 7 (3), 61-79.
- BACH, V.; MIKKELSEN, L.; KIDMOSE, U.; EDELENBOS, M. 2015. Culinary preparation of beetroot (*Beta vulgaris* L.): the impact on sensory quality and appropriateness. *Journal of Science of Food and Agriculture* 95 (9), 1852-1859.
- BAIÃO, D.D.S.; DA SILVA, D.V.T.; PASCHOALIN, V.M.F. 2020. Beetroot, a remarkable vegetable: its nitrate and phytochemical contents can be adjusted in novel formulations to benefit health and support cardiovascular disease therapies. *Antioxidants* 9 (10), 960.
- BARRERA, H.L. 2017. Mecanismos de control hormonal sobre la acumulación de reservas en remolacha (*Beta vulgaris* var. *esculenta*). Tesis Maestría en Producción Vegetal, FCA, UNMP, 64 p.
- BAVEC, M.; TURINEK, M.; GROBELNIK-MLAKAR, S.; SLATNAR, A.; BAVEC, F. 2010. Influence of industrial and alternative farming systems on contents of sugars, organic acids, total phenolic content, and the antioxidant activity of red beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* Rote Kugel). *Journal of Agricultural Food Chemistry* 58 (22), 11825-11831.
- BENJAMIN, L.R. 1987. The relative importance of cluster size, sowing depth, time of seedling emergence and between-plant spacing on variation

- in plant size in red beet (*Beta vulgaris* L.) crops. *The Journal of Agricultural Science* 108 (1), 221-230.
- BENJAMIN, L.R.; MC GARRY, A.; GRAY D. 1997. The root vegetables: Beet, Carrot, Parsnip and Turnip. En: WIEN, H.C. (Ed.). *The physiology of vegetable crops*. Cab International, 553-580.
- BHULLAR, M.S.; UPPAL S.K.; KAPUR, M.L. 2010. Influence of planting density and nitrogen dose on root and sugar yield of beet (*Beta vulgaris* L.) under sub-tropical semi-arid conditions of Punjab. *Journal of Research Punjab Agricultural University* 47 (1/2), 14-17.
- BIANCARDI, E.; MCGRATH, J.M.; PANELLA, L.W.; LEWELLEN, R.T.; STEVANATO, P. 2010. Sugar beet. En: BRADSHAW, J.E. (Ed.) *Root and Tuber Crops*. Springer, Nueva York. 173-219 pp.
- BIANCARDI, E.; PANELLA, L.W.; LEWELLEN, R.T. 2012. *Beta maritima*. The origin of beets. Springer. 294 p.
- BLUNK, S.; DE HEER, M.I.; STURROCK, C.J.; MOONEY, S.J. 2018. Soil seedbed engineering and its impact on germination and establishment in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by seed-soil contact. *Seed Science Research Volume 28, Special Issue 3 (Seeds as Systems)*, 236-244.
- BLUNK, S.; MALIK, A.H.; DE HEER, M.I.; EKBLAD, T.; BUSSELL, J.; SPARKES, D.; FREDLUND, K.; STURROCK, C.J.; MOONEY, S.J. 2017. Quantification of seed-soil contact of sugar beet (*Beta vulgaris*) using X-ray computed tomography. *Plant Methods Volume 13* (1, 1-14).
- BRAR, N.S.; DHILLON, B.S.; SAINI, K.S.; SHARMA, P.K. 2015. Agronomy of sugarbeet cultivation-A review. *Agricultural Reviews*, 36 (3), 184-197.
- BURKART, S.; MANDERSCHIED, R.; WEIGEL, H.J. 2009. Canopy CO₂ exchange of sugar beet under different CO₂ concentrations and nitrogen supply: results from a free-air CO₂ enrichment study. *Plant Biology* 11 (1), 109-123.
- ÇAKMAKÇI, R.; ORAL, E.; KANTAR, F. 1998. Root Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Relation to Plant Population. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 180, 45-52.
- CAMPBELL, L.G.; ENZ, J.W. 1991. Temperature effects on sugarbeet seedling emergence. *Journal of Sugar Beet Research* 28 (3), 129-140.
- CAPRON, I.; CORBINEAU, F.; DACHER, F.; JOB, C. 2000. Sugarbeet seed priming: Effects of priming conditions on germination, solubilization of 11-S globulin and accumulation of LEA proteins. *Seed Science Research* 10 (3), 243-254.
- CHAKWIZIRA, E.; DE RUITER, J.M.; MALEY, S. 2014. Growth, nitrogen partitioning and nutritive value of fodder beet crops grown under different application rates of nitrogen fertiliser. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 57 (2), 75-89.
- CHAKWIZIRA, E.; DE RUITER, J.M.; MALEY, S.; DELLOW, S.J.; GEORGE, M.J.; MICHEL, A.J. 2014. Water use efficiency of fodder beet crops. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 76, 125-134.
- CHAKWIZIRA, E.; TEIXEIRA, E.; MEENKEN, E.; MICHEL, A.J.; MALEY, S. 2018. Radiation use efficiency and biomass partitioning to storage roots in fodder beet crops. *European Journal of Agronomy* 92, 63-71.
- CHOLUJ, D.; KARWOWSKA, R.; JASINSKA, M.; HABER, G. 2004. Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought. *Plant Soil and Environment* 50 (6), 265-272.
- CHOMONTOWSKI, C.; WZOREK, H.; PODLASKI, S.J. 2019. Impact of sugar beet seed priming on seed quality and performance under diversified environmental conditions of germination, emergence and growth. *Journal of Plant Growth Regulation* 39, 183-189.
- COUMANS, M.; COME, D.; GASPAR, T. 1976. Stabilized Dormancy in Sugarbeet Fruits. I. Seed Coats as a Physicochemical Barrier to Oxygen. *Botanical Gazette*. 137 (3), 274-278.
- CRAIG, S. A.S. 2004. Betaine in human nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (3), 539-549.
- CRUZ, V.M.V.; DIERIG, D.A. 2014. *Industrial Crops: Breeding for BioEnergy and Bioproducts*. Springer.
- CURCIC, Z.; CIRIC, M.; NAGL, N.; TASKI-AJDUKOVIC, K. 2018. Effect of sugar beet genotype, planting and harvesting dates and their interaction on sugar yield. *Frontiers in Plant Science* 9, 1041.
- CZAPSKI, J.; MIKOŁAJCZYK, K.; KACZMAREK, M. 2009. Relationship between antioxidant capacity of red beet juice and contents of its betalain pigments. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 59 (2), 119-122.
- DAIRYNZ. 2020. Fodder beet considerations. (Disponibile: <https://www.dairynz.co.nz/feed/crops/fodder-beet/fodder-beet-considerations-verificado>: marzo de 2021).
- DAS GUPTA, D.K. 1972. Developmental physiology of sugar beet. Effects of growth substances and differential root and shoot on subsequent growth of sugar beet. *Journal of Experimental Botany* 23 (1), 103-113.
- DE LOS REYES, B.G.; MYERS, S.J.; MCGRATH, J.M. 2003. Differential induction of glyoxylate cycle enzymes by stress as a marker for seedling vigor in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Molecular Genetics and Genomics* 269, 692-698.
- DEMMERS-DERKS, H.; MITCHELL, R.A.C.; MITCHELL, V.J.; LAWLOR, D.W. 1998. Response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and biochemical composition to elevated CO₂ and temperature at two nitrogen applications. *Plant Cell Environ* 21 (8), 829-836.
- DI BENEDETTO, A.; TOGNETTI, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias INTA* 42 (3), 258-282.
- DOS SANTOS BAIÃO, D.; CONTE-JUNIOR, C.A.; FLOSI PASCHOALIN, V.M.; SILVEIRA ALVARES, T. 2016. Quantitative and Comparative Contents of Nitrate and Nitrite in *Beta vulgaris* L. by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography-Fluorescence. *Food Analytical Methods* (9), 1002-1008.
- DUAN, X.; BURRIS FILM, J.S. 1997. Coating Impairs Leaching of Germination Inhibitors in Sugar Beet Seed. *Crop Science* 37 (2), 515-520.
- DURAISAMY, R.; SALELGN, K.; BEREKETE, A.K. 2017. Production of Beet Sugar and Bio-ethanol from Sugar beet and it Bagasse: A Review. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 43 (4), 222-233.
- FAO. 2012. Irrigation and drainage paper 66. Food and agriculture organization of the united nations, Roma.
- FARNIA, A.; HASHEMI, G. 2015. Correlation between yield and other traits in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under application of different biofertilizers and irrigation. *International Journal of Biosciences* 6 (3), 146-152.
- FARZANEHA, S.; KAMKARB, B.; GHADERI-FARB, F.; CHEGINI, V. 2016. Effects of pollinator line characteristics on quantity and quality of monogerm hybrid seed production in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Plant Production* 10 (1), 13-28.
- FEATHERSTONE, S. 2015. *A Complete Course in Canning and Related Processes*. Fourteenth Ed. Volume 3. Woodhead Publishing Series in Food Science Technology and Nutrition 282. Elsevier Cambridge, Reino Unido.
- FORD, M.A.; THORNE, G.N. 1967. Effect of CO₂ concentration on growth of sugar beet, barley, kale, and maize. *Annals of Botany* 31 (4), 629-644.
- GEIGER, D.R.; SAUNDERS, M.A.; CATALDO, D.A. 1969. Translocation and accumulation of translocate in the sugar beet petiole. *Plant Physiology* 44 (12), 1657-1665.
- GHOULAM, C.; FARES, K. 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 29 (2), 357-364.
- GOBIN, A. 2012. Impact of heat and drought stress on arable crop production in Belgium. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12 (6), 1911-192.
- GOH, K.M.; MAGAT, S.S. 1989. Sodium chloride increases the yield of fodder beet (*Beta vulgaris* L.) in two New Zealand soils. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 32: 133-137.
- GOLDMAN, I.L.; NAVAZIO, J.P. 2010. History and breeding of table beet in the United States. *Plant Breeding Reviews* 22, 357-388.
- GÖTZE, P.; RÜCKNAGEL, J.; JACOBS, A.; MÄRLÄNDER, B.; KOCH, H.J.; HOLZWEIßIG, B.; STEINZ, M.; CHRISTEN, O. 2016a. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in Central Germany. *European Journal of Agronomy* 76, 198-207.
- GÖTZE, P.; RÜCKNAGEL, J.; JACOBS, A.; MÄRLÄNDER, B.; KOCH, H.-J.; CHRISTEN, O. 2016b. Environmental impacts of different crop rotations in terms of soil compaction. *Journal of Environmental Management* 181: 54-63.
- GÖTZE, P.; RÜCKNAGEL, J.; WENSCH-DORENDORF, M.; MÄRLÄNDER, B.; CHRISTEN, O. 2017. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years. *European Journal of Agronomy* 82: 50-59.
- GREEN, C.F.; VAIDYANATHAN, L.V.; IVINS, J.D. 1986. Growth of sugar beet crops including the influence of synthetic plant growth regulators. *The Journal of Agricultural Science* 107 (2), 285-297.
- GUMIENNA, M.; SZWENGIEL, A.; SZCZEPAŃSKA-ALVAREZ, A.; SZAMBEŁAN, K.; LASIK-KURDYŚ, M.; CZARNECKI, Z.; SITARSKI, A. 2016. The impact of sugar beet varieties and cultivation conditions on ethanol productivity. *Biomass and Bioenergy* 85, 228-234.
- HADIPOUR, E.; TALEGHANI, A.; TAYARANI-NAJARAN, N.; TAYARANI-NAJARAN, Z. 2020. Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy Research* 34, 1847-1867.
- HANSON, A.D.; WYSE, R. 1982. Biosynthesis, Translocation, and Accumulation of Betaine in Sugar Beet and Its Progenitors in Relation to Salinity. *Plant Physiology* 70, 1191-1198.

- HARDWICK, R. C. 1984. Some Recent Developments in Growth Analysis - A Review, *Annals of Botany* 54 (6), 807-812.
- HARRIS, P.M. 1972. The effect of plant population and irrigation on sugar beet. *The Journal of Agricultural Science* 78 (2), 289-302.
- HARVESON, R.M. 2015. The story of monogerm sugar beet seed. (Disponible: https://www.starherald.com/farm_ranch/the-story-of-monogerm-sugar-beet-seed/article_80061002-06c1-5420-989b-54434222321a.html verificado: marzo de 2021).
- HASSANLI, A.M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. 2010. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 97 (2), 357-362.
- HERMANN, K.; MEINHARD, J.; DOBREV, P.; LINKIES, A.; PESEK, B.; HESS, B.; MACHÁCKOVÁ, I.; FISCHER, U.; LEUBNER-METZGER, G. 2007. 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylic acid and abscisic acid during the germination of sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparative study of fruits and seeds. *Journal of Experimental Botany* 58 (11), 3047-60.
- HEYDECKER, W.; CHETRAM, R.S.; HEYDECKER, J.C. 1971. Water relations of beetroot seed germination II: Effects of the ovary cap and of the endogenous inhibitors *Annals of Botany* 35 (139), 31-42.
- HILLS, E.J. 1973. Effects of spacing on sugar beets in 30 inch and 14-26 inch rows. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists* 17 (4), 300-308.
- HOFFMANN, C.M. 2010a. Sucrose accumulation in sugar beet under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196 (4), 243-252.
- HOFFMANN, C.M. 2010b. Root quality of sugar beet. *Sugar Technology* 12 (3-4), 276-287.
- HOFFMANN, C.M.; KENTER, C. 2018. Yield potential of sugar beet - Have we hit the ceiling? *Frontiers in Plant Science* 9, 289.
- HOFFMANN, C.M.; KENTER, C.; BLOCH, D. 2005. Marc concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relation to sucrose storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (3), 459-465.
- HOFFMANN, C.M.; KLUGE-SEVERIN, S. 2010. Light absorption and radiation use efficiency of autumn and spring sown sugar beets. *Field Crops Research* 119 (2-3), 238-244.
- HOFFMANN, C.M.; KLUGE-SEVERIN, S. 2011. Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy* 34 (1), 1-9.
- HOFFMANN, C.M.; MÄRLÄNDER, B. 2005. Composition of harmful nitrogen in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) -amino acids, betaine, nitrate- as affected by genotype and environment. *European Journal of Agronomy* 22 (3), 255-265.
- HÖFT, N.; DALLY, N.; HASLER, M.; JUNG, C. 2018. Haplotype variation of flowering time genes of sugar beet and its wild relatives and the impact on life cycle regimes. *Frontiers in Plant Science* 8, 2211.
- HÖFT, N.; DALLY, N.; JUNG, C. 2018a. Sequence variation in the bolting time regulator *BTC1* changes the life cycle regime in sugar beet. *Plant Breeding* 137 (3), 412-422.
- INFANTE POSADA, P.A. 2010. Determinación y efecto del tiempo térmico sobre el comportamiento fisiológico de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*) en la región del alto chicamocha. (Disertación Doctoral, Universidad Nacional de Colombia). 140 p.
- JAGGARD, K.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D.; LEWIS, K. 2004. Beet and the environment. *British Sugar Beet Review* 72 (2), 32-35.
- JAGGARD, K.W.; QI, A.; MILFORD, G.F.J.; CLARK, C.J.A.; OBER, E.S.; WALTERS, C.; BURKS, E. 2011. Determining the optimal population density of sugarbeet crops. *England International Sugar Journal* 113, 12-17.
- JAGGARD, K.W.; QI, A.; OBER, E.S. 2009. Capture and use of solar radiation, water, and nitrogen by sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 60 (7), 1919-1925.
- JAGOSZ, B. 2018. Priming improves germination of monogerm red beet (*Beta vulgaris* L.) clusters. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 28 (3), 770-777.
- JAKLI, B.; HAUER-JAKLI, M.; BÖTTCHER, F.; MEYER ZUR MÜDEHORST, J.; SENBAYRAM, M.; DITTERT, K. 2018. Leaf, canopy and agronomic water-use efficiency of field-grown sugar beet in response to potassium fertilization. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204 (1), 99-110.
- JONES, P.D.; LISTER, D.H.; JAGGARD, K.W.; PIDGEON, J.D. 2003. Future Climate Impact on the Productivity of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change* 58: 93-108.
- JUDSON, H.G.; MCKENZIE, S.; ROBINSON, S.; NICHOLLS, A.; MOORHEAD, A.J.E. 2016. Measurement techniques and yield estimates of fodder beet in Canterbury and Southland. *Journal of New Zealand Grasslands* 78, 177-180.
- JUNG, B.; LUDEWIG, F.; SCHULZ, A.; MEINER, G.; WÖSTEFELD, N.; FLÜGGE, U.I.; POMMERENIG, B.; WIRSCHING, P.; SAUER, N.; KOCH, W.; SOMMER, F.; MÜHLHAUS, T.; SCHRODA, M.; CUIN, T.A.; GRAUS, D.; MARTEN, I.; HEDRICH, R.; NEUHAUS, E. 2015. Identification of the transporter responsible for sucrose accumulation in sugar beet taproots. *Nature Plants* 1 (1), 14001-14006.
- KAACK, K. 2016. Raw Materials for Processing of Sour-Sweet Slices of Red Beetroot. *International Journal of Forestry and Horticulture* 2 (3), 19-30.
- KATERJI, N.; MASTRORILLI, V. 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy* 30, 95-100.
- KATERJI, N.; VAN HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M.; MOUKARZEL, E. 1997. Osmotic adjustment to sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricultural Water Management* 34 (1), 57-69.
- KATERJI, N.; VAN HOORN, J.W.; MASTRORILLI, M.; HAMDY, A. 2008. Effect of soil texture on water relationship and radiation use efficiency of six cultivated species. En: SORENSEN, M. (Ed.). *Agricultural Water Management Research Trends*. Chapter 8. Nova Science Publishers Inc. 273-289 pp.
- KENTER, C.; HOFFMANN, C.M. 2006. Seasonal patterns of sucrose concentration in relation to other quality parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (1), 62-70.
- KENTER, C.; HOFFMANN, C.M. 2009. Changes in the quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage under controlled conditions. *International Journal of Food Science and Technology* 44 (5), 910-917.
- KENTER, C.; HOFFMANN, C.M.; MÄRLÄNDER, B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 24 (1), 62-69.
- KHAN, M.I. 2016. Plant Betalains: Safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15, 316-330.
- KIRCHHOFF, M.; SVIRSHCHEVSKAYA, A.; HOFFMANN, C.; SCHECHERT, A.; JUNG, C.; KOPISCH OBUCH, F.J. 2012. High degree of genetic variation of winter hardiness in a panel of *Beta vulgaris* L. *Crop Science* 52 (1), 179-188.
- KIYMAZ, S.; ERTEK, A. 2015. Water use and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drip irrigation at different water regimes. *Agricultural Water Management* 158, 225-234.
- KNOEMA. 2020. Cantidad (toneladas) de remolacha azucarera. (Disponible: <https://knoema.es/atlas/topics/Agricultura/Produccion%20de%20Cultivos-Cantidad-toneladas/Remolacha-Azucarera> verificado: marzo de 2021).
- KODA, Y.; OHKAWA-TAKAHASHI, K.; KIKUTA, Y. 2001. Stimulation of root thickening and inhibition of bolting by jasmonic acid in beet plants. *Plant Production Science* 4 (2), 131-135.
- KUMAR, S.; BROOKS SU-LING, M. 2018. Use of Red Beet (*Beta vulgaris* L.) for Antimicrobial Applications—a Critical Review. *Food and Bioprocess Technology* 11 (2), 17-42.
- LANGÉ, W.; BRANDENBURG, W.A.; DE BOCK, T.S. 1999. Taxonomy and cytology of beet (*Beta vulgaris* L.). *Botanical Journal of the Linnean Society* 130 (1), 81-96.
- LASA DOLHAGARAY, J.M.; LÓPEZ, A.S. 1977. Factores que influyen en el espigado de la remolacha azucarera *Beta vulgaris* L. *Fundación Juan March, Serie Universitaria* 38. Madrid, España.
- LAUFER, D.; NIELSEN, O.; WILTING, P.; KOCH, H.J.; MÄRLÄNDER, B. 2016. Yield and nitrogen use efficiency of fodder and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in contrasting environments of northwestern Europe. *European Journal of Agronomy* 73, 124-132.
- LECHNER, J.F.; STONER, G.D. 2019. Red Beetroot and Betalains as Cancer Chemopreventive Agents. *Molecules* 24 (8), 1602.
- LEE, E.J.; AN, D.; NGUYEN, C.T.T.; PATIL, B.S.; KIM, J.; YOO, K.S. 2014. Betalain and betaine composition of greenhouse- or field-produced beet root (*Beta vulgaris* L.) and inhibition of HepG2 cell proliferation. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 62 (6), 1324-1331.
- LEMAIRE, S.; MAUPAS, F.; COURNEDE, P.H.; DE REFFYE, P. 2009. A morphogenetic crop model for sugar beet (*Beta vulgaris* L.). En: CAO, W.; WHITE, J.W.; WANG, E. (Eds.). *Crop Modeling and Decision Support*. Springer, Berlin, Heidelberg, 116-129.
- LIU, L.-S.; FISHMAN, M.L.; HICKS, K.B.; LIU, C.-K. 2005. Biodegradable Composites from Sugar Beet Pulp and Poly (lactic acid) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (23):9017-22.
- LOEL, J.; HOFFMANN, C.M. 2014. Importance of growth stage and weather conditions for the winter hardiness of autumn sown sugar beet. *Field Crops Research* 162, 70-76.

- LOEL, J.; HOFFMANN, C.M. 2015. Relevance of osmotic and frost protecting compounds for the winter hardiness of autumn sown sugar beet. *Journal of Agronomy and Crop Science* 201 (4), 301-311.
- LOEL, J.; KENTER, C.; MÄRLÄNDER, B.; HOFFMANN, C.M. 2014. Assessment of breeding progress in sugar beet by testing old and new varieties under greenhouse and field conditions. *European Journal of Agronomy* 52, 146-156.
- LU, G.; EDWARDS, C.G.; FELLMAN, J.K.; MATTINSON, D.S.; NAVAIZO, J. 2003. Biosynthetic Origin of Geosmin in Red Beets (*Beta vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 51 (4), 1026-1029.
- MAHMOUD, E.A.; HILL, M.J. 1981. Salt tolerance of sugar beet at various temperatures. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24 (1), 67-71.
- MALNOU, C.S.; JAGGARD, K.W.; SPARKES, D.L. 2006. A canopy approach to nitrogen fertilizer recommendations for the sugar beet crop. *European Journal of Agronomy* 25 (3), 254-263.
- MALNOU, C.S.; JAGGARD, K.W.; SPARKES, D.L. 2008. Nitrogen fertilizer and the efficiency of sugar beet crop in late summer. *European Journal of Agronomy* 28 (1), 47-56.
- MANDERSCHIED, R.; PACHOLSKI, A.; FRÜHAUF, C.; WEIGEL, H.J. 2009. Effects of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth and yield of winter barley cultivated in a crop rotation. *Field Crops Research* 110 (3), 185-196.
- MANDERSCHIED, R.; PACHOLSKI, A.; WEIGEL, H.J. 2010. Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO₂. *European Journal of Agronomy* 32 (3), 228-239.
- MARINISSEN, J. 2017. Remolacha forrajera en el valle bonaerense del Río Colorado. (Disponible: <https://inta.gov.ar/noticias/remolacha-forrajera-en-el-valle-bonaerense-del-rio-colorado> verificado: marzo de 2021).
- MARSILI, R.T.; MILLER, N.; KILMER, G.J.; SIMMONS, R.E. 1994. Identification and quantitation of the primary chemicals responsible for the characteristic malodor of beet sugar by purge and trap GC-MS-OD techniques. *Journal of Chromatographic Science* 32: 165-171.
- MARTÍNEZ-ARIAS, R.; MÜLLER, B.U.; SCHECHERT, A. 2017. Near-Infrared Determination of Total Soluble Nitrogen and Betaine. *Sugar Beet. Sugar Technology* 19, 526-531.
- MARTÍNEZ-NOËL, G.; TOGNETTI, J. 2018. Sugar signaling under abiotic stress in plants. En: PARVAIZ, A.; AHANGER, M.A.; SINGH, V.P.; TRIPATHI, D.K.; ALAM, P.J.; ALYEMENI M.N. (Eds.). *Plant Metabolites and Regulation under Environmental Stress*. Elsevier, Academic Press, 397-406.
- MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. 1976. Nitrate Accumulation in Vegetables. En: BRADY, N.C. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press 28, 71-118.
- MCCORMICK, J.I.; GOODGER, R.A.; CHYNOWETH, R.J. 2014. Cardinal temperatures and vernalization requirements for a selection of vegetables for seed production. *Agronomy New Zealand*, 44, 71-83.
- MCGRATH, J.M.; ELAWADY, A.; EL-KHISHIN, D.; NAEGELE, R.P.; CARR, K.M.; DE LOS REYES, B. 2008. Sugar beet germination: Phenotypic selection and molecular profiling to identify genes involved in abiotic stress response. *Acta Horticulturae* 782, 35-49.
- MELE, A. 2019. Water use efficiency and nitrogen use efficiency in drip and deficit drip irrigated sugar beets (*Beta vulgaris*). Master of Science in Plant Science thesis. Jordan College of Agricultural Sciences and Technology California State University, Fresno, EUA.
- MELO, N.; WOLFF, G.H.; COSTA DA-SILVA, A.L.; ARRIBAS, R.; FERNANDEZ TRIANA, M.; GUGGER, M.; RIFFELL, J.A.; DEGENNARO, M.; STENSMYR, M.C. 2020. Geosmin attracts *Aedes aegypti* mosquitoes to oviposition sites. *Current Biology* 30 (1), 127-134.
- MEREDDY, R.; CHAN, A.; FANNING, K.; NIRMAL, N.; SULTANBAWA, Y. 2017. Betalain rich functional extract with reduced salts and nitrate content from red beetroot (*Beta vulgaris* L.) using membrane separation technology. *Food Chemistry* 215, 311-317.
- MESKEN, M.; DIELEMAN, J. 1988. Breeding sugar beets with globe-shaped roots: selection and agronomical performance. *Euphytica* 39, 37-44.
- MILFORD, G.F.; WATSON, D.J. 1971. The effect of nitrogen on the growth and sugar content of sugar beet. *Annals of Botany* 35 (2), 287-300.
- MILFORD, G.F.J. 1973. Growth and development of the storage organ of sugar beet. *Annals of Applied Biology* 75 (3), 427-38.
- MILFORD, G.F.J.; POCOCK, T.O.; JAGGARD, K.W.; BISCOE, P.V.; ARMSTRONG, M.J.; LAST, P.J.; GOODMAN, P.J. 1985. An analysis of leaf growth in sugar beet. iv. The expansion of leaf canopy in relation to temperature and nitrogen. *Annals of Applied Biology* 107 (2), 335-347.
- MILFORD, G.F.J.; POCOCK, T.O.; RILEY, J. 1985. An analysis of leaf growth in sugar beet. *Annals of Applied Biology* 106, 163-172.
- MILFORD, G.F.J.; RILEY, J. 1980. The effects of temperature on leaf growth of sugar-beet varieties. *Annals of Applied Biology* 94 (3), 431-443.
- MILFORD, G.F.J.; TRAVIS, K.Z.; POCOCK, T.O.; JAGGARD, K.W.; DAY, W. 1988. Growth and dry-matter partitioning in sugar beet. *Journal of Agricultural Science* 110 (2), 301-8.
- MIRMIRAN, P.; HOUSHALSADAT, Z.; GAEINI, Z.; BAHADORAN, Z.; AZIZI, F. 2020. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition & Metabolism* 17 (1), 1-15.
- MISAN, A.; SAKAČ, M.; MEDIĆ, D.; TADIĆ, V.; MARKOVIĆ, G.; GYURA, J.; PAGANO, E.; IZZO, A.A.; BORRELLI, F.; ŠARIĆ, B.; VAN MILOVANOVIĆ, I.; MILIĆ, N. 2016. Antioxidant and physicochemical properties of hydrogen peroxide-treated sugar beet dietary fibre. *Phytotherapy Research* 30 (5), 855-860.
- MONTI, A.; BRUGNOLI, E.; SCARTAZZA, A.; AMADUCCI, M.T. 2006. The effect of transient and continuous drought on yield, photosynthesis and carbon isotope discrimination in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 57 (6), 1253-1262.
- NAIAZI, B.H., 2007. The response of fodderbeet to salinity. Introduction of a nonconventional fodder crop to salt affected fields in Pakistan. PhD Thesis. Vrije Universiteit. 199 p.
- NOTTINGHAM, S. 2004. Beetroot e-book. (Disponible: <http://stephennottingham.co.uk> verificado: marzo de 2021).
- NOURI, H.; AMIN, MSM; RAZAVI, S.J.; ANUAR, A.R. 2009. Precision agriculture concept: distribution pattern of selected soil and crop characteristics influenced by fertigation. *European Journal of Scientific Research* 32 (2), 231-240.
- NUTTER, J.; FERNÁNDEZ, M.V.; JAGUS, R.J.; AGÜERO, M.V. 2020. Revisión bibliográfica sobre alternativas para la revalorización de hojas de remolacha (*Beta vulgaris* L.). *Horticultura Argentina* 39 (100), 249-271.
- OOKAWA, T.; NARUOKA, Y.; SAYAMA, A.; HIRASAWA, T. 2004. Cytokinin effects on Ribulose-1, 5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase and nitrogen partitioning in rice during ripening. *Crop Science* 44: 2107-2115.
- ORZESZKO-RYWKA, A.; PODLASKI, S. 2003. The effect of sugar beet seed treatments on their vigor. *Plant Soil and Environment* 49 (6), 249-254.
- PAGE, W.J. 1989. Production of poly-p-hydroxybutyrate by *Azotobacter vinelandii* strain UWD during growth on molasses and other complex carbon sources. *Applied Microbiology and Biotechnology* 31, 329-333.
- PAGE, W.J. 1992. Production of polyhydroxyalkanoates by *Azotobacter vinelandii* UWD in beet molasses culture. *FEMS Microbiology Reviews* 103, 149-158.
- PAUL, M.J.; FOYER, C.H. 2001. Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 52 (360), 1383-1400.
- PELACHO, A.M.; MINGO-CASTEL, A.M. 1991. Jasmonic acid induces tuberization of potato stolons cultured in vitro. *Plant Physiology* 97 (3), 1253-1255.
- PERRY, D.A.; HARRISON, J.G. 1974. Studies on the sensitivity of monogerm sugar beet germination to water. *Annals of Applied Biology* 77: 51-60.
- PESTSOVA, E.; MEINHARD, J.; MENZE, A.; FISCHER, U.; WINDHÖVEL, A.; WESTHOFF, P. 2008. Transcript profiles uncover temporal and stress-induced changes of metabolic pathways in germinating sugar beet seeds. *BMC Plant Biology* 8 (1), 1-21.
- PETEK, M.; ČUSTIĆ, M.H.A.; TOH, N.; SLUNJSKI, S.; ČOGA, L.; PAVLOVIĆ, I.; AR AŽIJA, T.K.; LAZAR EVIĆ, B.; CVETKOVIĆ, S. 2012. Nitrogen and Crude Proteins in Beetroot (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) under Different Fertilization Treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 40 (2), 215-219.
- PETKEVICIENE, B. 2009. The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. *Agronomy Research* 7, 436-43.
- PEUKERT, M.; DITTBRENNER, A.; MEINHARD, J.; FISCHER, U.; MOCK, H.P. 2016. Metabolic variability of seed material from diverse sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes and of different germination capacities. *Seed Science Research* 26, 57-66.
- PIDGEON, J.D.; OBER, E.S.; QI, A.; CLARK, C.J.; ROYAL, A.; JAGGARD, K.W. 2006. Using multi-environment sugar beet variety trials to screen for drought tolerance. *Field Crops Research* 95 (2-3), 268-279.
- PIDGEON, J.D.; WERKER, A.R.; JAGGARD, K.W.; RICHTER, G.M.; LISTER, D.H.; JONES, P.D. 2001. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961-1995. *Agricultural and Forest Meteorology* 109 (1), 27-37.

- POCOCK, T.; MILFORD, G.F.J.; ARMSTRONG, M. 1990. Storage root quality in sugar beet in relation to nitrogen uptake. *Journal of Agricultural Science* 115 (3), 355-362.
- PODLASKI, S.Z.; WZOREK, H.; CHOMONTOWSKI, C.M. 2019. Effects of the physicochemical properties of pellets on the germination of pelleted sugar beet seeds. *International Agrophysics* 33 (2), 175-183.
- POOSTCHI, I.; SCHMEHL, W.R. 1971. Effect of gibberellic acid, several growth retardants and nitrogen levels on yield and quality of sugarbeets. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technology* 16 (4), 323-331.
- RACZKÓ, V.; RUBÓCZKI, T.; BORBÉLYNÉ VARGA, M.; TAKÁCSNÉ HÁJOS, M. 2015. The change of the inner content parameters of table beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *esculenta* Gurke var. *rubra* L.) as a result of storage. *Acta Agraria* 63.113-119.
- RAMAZAN, C. 2002. Root yield and quality of sugar beet in relation to sowing date, plant population and harvesting date interactions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 26 (3), 133-139.
- RANTAO, G. 2013. Growth, yield and quality response of beet (*Beta vulgaris* L.) to nitrogen. Doctoral dissertation, University of the Free State. 117 p.
- RAVNIKAR, M.; ŽEL, J.; PLAPER, I.; ŠPACAPAN, A. 1993. Jasmonic acid stimulates shoot and bulb formation of garlic in vitro. *Journal of Plant Growth Regulation* 12 (2), 73-77.
- REINOSO, L.; MARTÍNEZ, R.S.; MARGIOTTA, F.A.; MARTÍNEZ, R.M. 2008. Estudios de adaptación de cultivos comerciales de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharata*) al valle inferior del Río Negro. Memoria técnica 2013-2015. EEA Valle Inferior. Convenio Provincia de Río Negro - INTA. 165 p.
- REINSDORF, H.E.; KOCH, J.; MÄRLÄNDER, B. 2013. Phenotype related differences in frost tolerance of winter sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Field Crops Research* 151, 27-34.
- RINALDI, M.; HOREMANS, S. 2012. Sugar beet. En: STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, R. (eds.). *Crop yield response to water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- RINALDI, M.; VONELLA, A.V. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Research* 95 (2-3), 103-114.
- RIVAS, J.C. 2017. Comportamiento de la remolacha azucarera *Beta vulgaris* L. en el sur de la provincia de Buenos Aires. Informe Técnico N.º 55. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 10 p.
- RIVOIRA, L.; STUDZIŃSKA, S.; SZULTKA-MŁYŃSKA, M.; BRUZZONITI, M.C.; BUSZEWSKI, B. 2017. New approaches for extraction and determination of betaine from *Beta vulgaris* samples by hydrophilic interaction liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 409 (21), 5133-5141.
- ROMANO, A.; SORGONÀ, A.; LUPINI, A.; ARANITI, F.; STEVANATO, P.; CACCIO, G.; ABENAVOLI, M.R. 2013. Morpho-physiological responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes to drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 35 (3), 853-865.
- ROZEMA, J.; CORNELISSE, D.; ZHANG, Y.; LI, H.; BRUNING, B.; KATSCHNIG, D.; BROEKMAN, R.; JI, B.; VAN BODEGOM, P. 2015. Comparing salt tolerance of beet cultivars and their halophytic ancestor: consequences of domestication and breeding programmes. *AoB Plants* 7, plu083.
- SALAMA, H.S.A.; ZEID, M.M. 2017. Fodder Beet (*Beta Vulgaris* L.) yield and quality attributes as affected by sowing date, age at harvest and boron application. *Alexandria Science Exchange Journal* 38, 2-12.
- SCHAMBOW, T.J.; ADJESIWOR, A.T.; LORENT, L.; KNISS, A.R. 2019. Shade avoidance cues reduce *Beta vulgaris* growth. *Weed Science* 67 (3), 311-317.
- SCHIEBER, A.; STINTZING, F.C.; CARLE, R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds - recent developments. *Trends in Food Science & Technology* 12 (11), 401-413.
- SCHNEPEL, K.; HOFFMANN, C.M. 2015. Effect of extending the growing period on yield formation of sugar beet. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202 (6), 530-541.
- SCHREIBER, K.; FERGUSON A.C. 1966. Effect of growth regulators on yield and quality of sugar beets. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists* 14 (1), 67-74.
- SCOTT, R.K.; JAGGARD, K.W.; SYLVESTER-BRADLEY, R. 1994. Resource capture by arable crops. En: MONTEITH, J.L.; SCOTT, R.K.; UNSWORTH, M.H. (Eds.). *Resource capture by crops*. Nottingham University Press. Nottingham, Reino Unido. 279-302.
- SHAW, B.T.H.; THOMAS D.T. 2002. Cooke Responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to drought and nutrient deficiency stress. *Plant Growth Regulation* 37 (1), 77-83.
- SHI, Y.; LOU, K.; LI, C. 2010. Growth and photosynthetic efficiency promotion of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) by endophytic bacteria. *Photosynthesis Research* 105 (1), 5-13.
- SHRESTHA, N.; GEERTS, S.; RAES, D.; HOREMANS, S.; SOENTJENS, S.; MAUPAS, F.; CLOUET, P. 2010. Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agricultural Water Management* 97 (2), 346-350.
- SINGH, H.B.; BHARATI, K.A. 2014. *Handbook of natural dyes and pigments*, Woodhead Publishing India Pvt. Ltd. Nueva Delhi, India.
- SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology* 19, 634-643.
- STAGNARI, F.; GALIENI, A.; SPECA, S.; PISANTE, M. 2014. Water stress effects on growth, yield and quality traits of red beet. *Scientia Horticulturae* 165, 13-22.
- STALLKNECHT, G.F.; GILBERTSON, K.M. 2000. Defoliation of sugarbeet: Effect on root yield and quality. *Journal of Sugar Beet Research* 37 (2), 1-9.
- STARKE, P.; HOFFMANN, C.M. 2014a. Yield parameters of Beta beets as a basis to estimate the biogas yield. *Sugar Industries* 139 (3), 169-176.
- STARKE, P.; HOFFMANN, C. 2014b. Dry matter and sugar content as parameters to assess the quality of sugar beet varieties for anaerobic digestion. *Sugar Industry* 139 (4), 232-240.
- STEVANATO, P.; BIAGGI, M.D.; SKARACIS, G.N.; COLOMBO, M.; MANDOLINO, G.; BIANCARDI, E. 2001. The sea beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *maritima*) of the Adriatic coast as source of resistance for sugar beet. *Sugar Technology* 3 (3), 77-82.
- STEVANATO, P.; CHIODI, C.; BROCCANELLO, C.; CONCHERI, G.; BIANCARDI, E.; PAVLI, O.; SKARACIS, G. 2019. Sustainability of the sugar beet crop. *Sugar Technology* 21 (5), 703-716.
- STEVENS, W.B.; BLAYLOCK, A.D.; KRALL, J.M.; HOPKINS, B.G.; ELLSWORTH, J.W. 2007. Sugar beet yield and nitrogen use efficiency with preplant broadcast, banded, or point-injected nitrogen application. *Agronomy Journal* 99 (5), 1252-1259.
- STRAUS, S.; BAVEC, F.; TURINEK, M.; SLATNAR, A.; ROZMAN, C.; BAVEC, M. 2012. Nutritional value and economic feasibility of red beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* Rote Kugel) from different production systems. *African Journal of Agricultural Research* 7, 5653-5660.
- SZOPIŃSKA, A.A.; GAWĘDA, M. 2013. Comparison of yield and quality of red beet roots cultivated using conventional, integrated and organic method. *Journal of Horticultural Research* 21(1), 107-114.
- TANJI, K.K.; KIELEN, N.C. 2002. *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. FAO Irrigation and drainage paper 61, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- TAYLOR, A.G.; GOFFINET, M.C.; PIKUZ, S.A.; SHELKOVENKO, T.A.; DONOVAN MITCHELL, M.; CHANDLER, K.M.; HAMMER, D.A.; NICOLAS G.; BRADFORD, K.J.; CÔME, D.; PRITCHARD, H.W. 2003. Physico-chemical factors influence beet (*Beta vulgaris* L.) seed germination. The biology of seeds: recent research advances. *Proceedings of the Seventh International Workshop on Seeds, Salamanca, España*. 433-440 pp.
- TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D.P. 1996. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany* 78 (5), 633-643.
- THOMAS, T.H. 1999. Sugar beet. En: SMITH, D.L.; HAMEL, C. (Eds.), *Crop Yield. Physiology and Processes*. Springer Verlag, Berlín, Alemania, 311-332.
- THOMPSON, H.C.; KELLY, W.C. 1959. *Vegetable Crops*. Fifth Edition. McGraw-Hill Book Co. Nueva York, EUA.
- TOGNETTI, J.A.; PONTIS, H.G.; MARTÍNEZ-NOËL, G.M. 2013. Sucrose signaling in plants: a world yet to be explored. *Plant Signaling & Behavior* 8 (3), e23316.
- TOMASZEWSKA, J.; BIELIŃSKI, D.; BINCZARSKI, M.; BERLOWSKA, J.; DZIUGAN, P.; PIOTROWSKI, J.; STANISHEVSKY, A.; WITOŃSKA, I.A. 2018. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances* 8, 3161-3177.
- TRIDGE. 2020. Beetroot. Global (HS Code: 070690). Overview of Global Beetroot Market. (Disponible: <https://www.tridge.com/intelligences/beet/> production verificado: marzo de 2021).

- TSIALTAS, J.T.; MASLARIS, N. 2010. Sugar beet root shape and its relation with yield and quality. *Sugar Technology* 12, 47-52.
- TURK, M. 2010. Effects of fertilization on root yield and quality of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16 (2), 212-219.
- UÇAN, K.; GENCOGLAN, C. 2004. The effect of water deficit on yield and yield components of sugar beet. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 28 (3), 163-172.
- UGRINOVIĆ, K.; KMECL, V.; ĆUSTIĆ, M.H.; ŽNIDARČIČ, D. 2012. Contents of oxalic acid, nitrate and reduced nitrogen in different parts of beetroot (*Beta vulgaris* var. *conditiva* Alef.) at different rates of nitrogen fertilization. *African Journal of Agricultural Research* 7 (20), 3066-3072.
- URBANUS, B.L.; COX, G.O.; EKLUND, E.J.; ICKES, C.M.; SCHMIDT, S.J.; LEE, S.Y. 2014. Sensory differences between beet and cane sugar sources. *Journal of Food Science* 79 (9), S1763-S1768.
- VALENZUELA, B.A.; VALENZUELA, R.; SANHUEZA, J.; MORALES, I.G. 2014. Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? *Revista chilena de nutrición* 41, 198-204.
- VANDENDRIESSCHE, H.; CEULEMANS, R.; FEYEN, J.; IMPENS, I. 1990. Seasonal variations in photosynthetic capacity, growth, leaf development and productivity of sugar beet plants under optimal nitrogen supply. *Photosynthetica* 24 (3), 385-391.
- VASCONCELLOS, J.; CONTE-JUNIOR, C.; SILVA, D.; PIERUCCI, A.P.; PASCHOALIN, V.; ALVARES, T.S. 2016. Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology* 25 (1), 79-84.
- VITAL DOS SANTOS D., PEREIRA, M.F.A. 1989. Restrictions of the tegument to the germination of *Beta vulgaris* L. seeds. *Seed Science Technology* 17 (3), 601-611.
- VON ELBE, J.H.; SY, S.H.; MAING, I.Y.; GABELMAN, W.H. 1972. Quantitative analysis of betacyanins in red beets (*Beta vulgaris*). *Journal of Food Science* 37, 932-934.
- WANG, B.; SHARMA-SHIVAPPA, R.; OLSON, J.W.; ARMAN KHAN, S. 2013. Production of polyhydroxybutyrate (PHB) by *Alcaligenes latus* using sugar-beet juice. *Industrial Crops and Products* 43 (1), 802-811.
- WATARI, M.; IKEURA, H.; TSUGE, K.; MOTOKI, S. 2017. Betalain content of different varieties, growth stages, and parts of beet (*Beta vulgaris* L.). *Horticultural Research* 16 (3), 301-308.
- WERKER, A.R.; JAGGARD, K.W.; ALLISON, M.F. 1999. Modelling partitioning between structure and storage in sugar beet: Effects of drought and soil nitrogen. *Plant and Soil* 207 (1), 97-106.
- WINNER, C. 1993. History of the crop En: COOKE, D.A.; SCOTT, R.K. (Eds.). *The Sugar Beet Crop*, Chapman and Hall, Londres. 1-36 pp.
- WINZER, T.; LOHAUS, G.; HELDT, H.W. 1996. Influence of phloem transport, N-fertilization and ion accumulation on sucrose storage in the taproots of fodder beet and sugar beet. *Journal of Experimental Botany* 47 (7), 863-870.
- WOLYN, D.J.; GABELMAN, W.H. 1986. Effects of planting and harvest date on betalain pigment concentrations in three table beet genotypes. *HortScience* 21(6), 1339-1340.
- WOLYN, D.J.; GABELMAN, W.H. 1990. Selection for Betalain pigment concentrations and total dissolved solids in red table beets. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115 (1), 165-169.
- WU, J.; CHEN, S.; GE, S.; MIAO, J.; LI, J.; ZHANG, Q. 2013. Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloid* 32 (1), 42-51.
- WYSE, R.E.; ZAMSKI, E.; TOMOS, A.D. 1986. Turgor regulation of sucrose transport in sugar beet taproot tissue. *Plant Physiology* 81 (2), 478-481.
- YARZA GARCÍA, J.R. 1970. La remolacha forrajera en la alimentación del ganado., *Hojas Divulgadoras* 11 Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 70 p.
- ZHANG, Y.F.; LI, G.L.; WANG, X.F.; SUN, Y.Q.; ZHANG, S.Y. 2017. Transcriptomic profiling of taproot growth and sucrose accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different developmental stages. *PLoS One* 12 (4), e0175454.

Efecto del control estratégico de la garrapata común del bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* sobre la ganancia de peso en vaquillas Braford en el noreste de Argentina

Publicado online 06 de abril de 2022

Rosner, M.V.; Torrents, J.; Morel, N.; Prieto, P.N.; Lottero, F.; Mangold, A.J.; Nava, S.³

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar el impacto del control estratégico de *Rhipicephalus microplus* sobre la ganancia de peso de vaquillas Braford en el noreste de Argentina. Se realizaron dos experimentos con un diseño similar en localidades de Corrientes (Colonia Tabay) y Chaco (Colonia Benítez). Los distintos grupos de vaquillas fueron sujetos a esquemas de control estratégico que consistieron en la aplicación de tres o cuatro productos garrapaticidas entre agosto y diciembre, y se compararon el número de garrapatas y la ganancia diaria de peso (GDP) entre estos y un grupo testigo que no recibió garrapaticidas. En Colonia Tabay, en los dos grupos tratados con esquemas de control estratégico la GDP fue significativamente mayor que en el grupo testigo con mayor nivel de infestación con garrapatas. El grupo sujeto a control estratégico en Colonia Benítez también tuvo una GDP significativamente mayor que el grupo testigo. Las diferencias en las GDP entre los grupos de animales sujetos a control estratégico y aquellos mantenidos como grupos testigo fluctuó entre 0.09 y 0.149 kg/día. Para el período evaluado en este trabajo (nueve meses), la aplicación del control estratégico contra *R. microplus* implicó una ganancia diferencial con respecto a los grupos sin tratamientos de 29 y 42 kg en promedio en las vaquillas de Colonia Tabay y de 25 kg en aquellas de Colonia Benítez. De los resultados se desprende que la aplicación de esquemas de tratamientos estratégicos para controlar la infestación con *R. microplus* en el noreste de Argentina contribuye a disminuir significativamente la abundancia de garrapatas y posibilita obtener mejores ganancias de peso vivo en bovinos en crecimiento al prevenir altos niveles de parasitación en los animales.

Palabras clave: garrapatas, control, bovinos, ganancia de peso, Argentina.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the impact of the strategic control of Rhipicephalus microplus on body weight gain of Braford heifers in northeastern Argentina. Two experiments with a similar design were carried out in Corrientes (Colonia Tabay) and Chaco (Colonia Benítez) Provinces. Strategic control schemes were applied different groups of heifers with the application of three or four treatments with chemical acaricides between August and December, and the number of ticks and the daily weight gain (GDP) were compared between them and with a control group without treatments. In Colonia Tabay, the GDP in the two groups treated with strategic control schemes was significantly higher than in the control group, which had higher level of infestation with ticks. The group subjected to strategic control in Colonia Benítez also had a significantly higher GDP than the control group. Differences in GDP

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Colonia Benítez, Marcos Briolini 750 (3505), Colonia Benítez, Chaco, Argentina.

²Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Veterinarias, Kreder 2805, (3080) Esperanza, Santa Fe, Argentina.

³Instituto de Investigación de la Cadena Láctea (IDICAL) (INTA-CONICET), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rafaela, CC 22, (2300), Rafaela, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: nava.santiago@inta.gov.ar

⁴Fundación Correntina para la Sanidad Animal (Fucosa), Corrientes, Argentina.

between groups subjected to strategic control and control groups fluctuated between 0.09 and 0.149 kg/day. The application of strategic control against *R. microplus* implied a differential mean weight gain regarding the groups without treatments of 29 and 42 kg in Colonia Tabay heifers and 25 kg in Colonia Benítez. The results show that the application of strategic treatment schemes to control infestation with *R. microplus* in northeastern Argentina contributes to significantly reduce the abundance of ticks and enable obtain better body weight gains in growing cattle by preventing high levels of parasitism on animals.

Keywords: ticks, control, cattle, body weight gain, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La garrapata común del bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* es uno de los parásitos con mayor relevancia en el mundo para la producción ganadera (Jongejan y Uilenberg, 2004). En Argentina, en las zonas tropicales y subtropicales del noreste y noroeste ubicadas al norte de los paralelos 30°-31° S, *R. (B.) microplus* ocasiona fuertes limitaciones al desarrollo de la ganadería de carne y leche (Guglielmone y Nava, 2013). Esta garrapata produce pérdidas físicas directas como disminución en la ganancia de peso, daño de los cueros, mortalidad y menor producción láctea, a lo que se suman los costos relacionados con su control (productos garrapaticidas, mano de obra, inversiones en infraestructura) así como las pérdidas por causa de las enfermedades asociadas, debido a que *R. (B.) microplus* es vector de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* y también está involucrada en la transmisión *Anaplasma marginale* (Guglielmone, 1992; Späth et al., 1994). Un factor deletéreo adicional es la relación directa que existe entre altos niveles de infestación con garrapatas y el desarrollo de miasis (Reck et al., 2014).

El método de control más utilizado contra *R. (B.) microplus* es el empleo de acaricidas químicos sintéticos, lo cual puede conllevar aspectos negativos. Uno de ellos es la selección de genotipos de garrapatas resistentes por el uso sostenido de estas drogas. En este sentido, en Argentina ya se han detectado casos de resistencia en garrapatas a casi todos los compuestos químicos acaricidas disponibles comercialmente, como los organofosforados, piretroides, formamidinas, fenilpirazoles y lactonas macrocíclicas (Mangold et al., 2004; Guglielmone et al., 2006; Cutullé et al., 2013; Nava et al., 2018; Torrents et al., 2020a, b). Otro problema relevante asociado al empleo de acaricidas químicos sintéticos son las restricciones para el consumo de carne o leche que imponen los períodos de carencia de determinados principios activos. Estos inconvenientes pueden ser enfrentados a través de técnicas de control estratégico que minimicen la frecuencia de tratamientos anuales con garrapaticidas. Los esquemas de control estratégico consisten en concentrar un número mínimo de tratamientos entre el final del invierno y el final de la primavera, cuando se está desarrollando la primera generación de garrapatas, para disminuir la abundancia de garrapatas de esa generación, lo cual tendrá un impacto negativo en el tamaño poblacional de las generaciones posteriores (Barnett, 1961). Distintos esquemas de tratamientos estratégicos basados en un máximo de tres aplicaciones anuales con diferentes acaricidas químicos sintéticos han sido evaluados en distintas áreas de la Argentina, donde se demos-

tró su eficacia para disminuir significativamente la infestación con garrapata en bovinos (Nava et al., 2015; Morel et al., 2017; Nava et al., 2019, 2020).

Uno de los aspectos más importantes en la cría de vaquillas es el grado de crecimiento necesario para que alcancen la pubertad con un desarrollo adecuado y así obtener una eficiencia reproductiva apropiada en el primer servicio. En este sentido, la ganancia de peso de hembras en desarrollo es una parte fundamental del ciclo reproductivo (Patterson et al., 1992; Hall, 2013). Una baja tasa de crecimiento puede ocasionar que las vaquillas ingresen al primer servicio con bajo tamaño corporal o que deban esperar para hacerlo al año siguiente (Patterson et al., 1992; Rouvier y Yañez, 2017). Entre los factores que pueden afectar negativamente la ganancia de peso de bovinos en crecimiento se encuentra la infestación con garrapatas. Este fenómeno puede ser más ostensible en el noreste de Argentina, porque desde una perspectiva ecológica esta es la región del país más favorable para el desarrollo de *R. (B.) microplus* (Guglielmone, 1992). La disminución en la ganancia de peso en bovinos asociada al parasitismo con garrapatas del subgénero *Boophilus* fue evaluada y demostrada en estudios previos realizados en otros países, mayormente en Australia (Gee et al., 1971; Seebeck et al., 1971; Holroyd y Dunster, 1978; Johnston et al., 1981; O'Rourke 1982; Mellor et al., 1983; Sutherst et al., 1983; Scholtz et al., 1991; Jonsson, 2006), donde la especie que prevalece parasitando al ganado bovino es *Rhipicephalus (Boophilus) australis* (Estrada-Peña et al., 2012). Debido a la carencia de este tipo de información para sistemas de cría bovina en el noreste de Argentina, se realizó un estudio para analizar cómo impacta la disminución en la abundancia de la garrapata común del bovino *R. (B.) microplus* asociada a la aplicación de métodos de control estratégico sobre la ganancia de peso de vaquillas tipo Braford (*Bos taurus x Bos indicus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los dos experimentos realizados en este trabajo se llevaron a cabo en las localidades de Colonia Tabay (28° 18' S, 58° 17' O), provincia de Corrientes, y Colonia Benítez (27° 20' S, 58° 56' O), provincia de Chaco. En ambos casos se aplicaron diferentes esquemas de control estratégico contra *R. (B.) microplus* siguiendo los criterios que se describen en Nava et al. (2019, 2020).

En Colonia Tabay se dispusieron de tres grupos de 10 vaquillas Braford de 12 meses de edad. Las vaquillas fueron asignadas a cada uno de los grupos según peso vivo y carga de

garrapatas. Se mantuvieron en un potrero con una pastura implantada de *Brachiaria brizantha*, infestado naturalmente con garrapatas, el cual fue subdividido en tres parcelas contiguas de cinco a cada una. En la primera parcela se mantuvo un grupo de 10 vaquillas (G1T) que estuvo sujeto a tres aplicaciones de acaricidas: i) ivermectina 3.15% inyectable (Ivomec Gold®, Merial Argentina S.A.; 1 ml/50 kg) aplicada el 15 de agosto de 2018; ii) fluazurón pour on (ACATAK®, Novartis Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 20 de septiembre de 2018; iii) fipronil pour on (Ectoline®, Merial Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 6 de noviembre de 2018. Las 10 vaquillas ubicadas en la segunda parcela (G2T) fueron tratadas con el siguiente esquema de cuatro aplicaciones de acaricidas: i) ivermectina 3.15% inyectable (Ivomec Gold®, Merial Argentina S.A.; 1 ml/50 kg), aplicada el 15 de agosto de 2018; ii) fluazurón pour on (Acatak®, Novartis Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 20 de septiembre de 2018; iii) fipronil pour on (Ectoline®, Merial Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 6 de noviembre de 2018; iv) baño de inmersión con una combinación de cipermetrina y clorpirifós (Aspersin®, Biogénesis Bagó S.A, Argentina) aplicado el 27 de noviembre de 2018. Las 10 vaquillas dispuestas en la tercera parcela no recibieron tratamientos a fin de conformar el grupo testigo (G3T).

En Colonia Benítez se constituyeron dos grupos de 10 vaquillas Braford de 12 a 20 meses de edad asignadas a cada grupo según peso vivo y carga de garrapatas, que permanecieron en dos potreros similares de 3,5 ha cubiertos con una pastura de *Setaria geniculata* e infestados naturalmente con garrapatas. El primer grupo (G1CB) estuvo sujeto al siguiente esquema de control estratégico basado en tres aplicaciones de acaricidas: i) ivermectina 3.15% inyectable (Ivomec Gold®, Merial Argentina S.A.; 1 ml/50 kg), aplicada el 22 de agosto de 2018; ii) fluazurón pour on (Acatak®, Novartis Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 3 de octubre de 2018; iii) fipronil pour on (Ectoline®, Merial Argentina S.A., 1 ml/10 kg) aplicado el 20 de noviembre de 2018. El segundo grupo de 10 vaquillas permaneció sin tratamientos como grupo testigo (G2CB). En agosto, septiembre y octubre de 2018 se suplementaron ambos grupos con pellet de trigo al 1% del peso vivo.

El monitoreo de la infestación con garrapatas en los bovinos de cada grupo se realizó con frecuencia mensual entre agosto de 2018 y mayo de 2019 (se utilizaron las mismas fuentes de datos que en Nava *et al.*, 2020). La cuantificación de garrapatas se realizó utilizando la técnica universal de la estimación cuantitativa del número de hembras de *R. (B.) microplus* de 4.5-8.0 mm de largo presentes sobre uno de los lados de los bovinos, tal como se describe en Nava *et al.* (2015, 2020). El número obtenido fue duplicado para el análisis estadístico. La infestación con *R. (B.) microplus* sobre los bovinos se describió calculando la prevalencia, la abundancia media y la mediana con el primer y tercer cuartil tal como se define en Bush *et al.* (1997). La significancia de las diferencias en las distribuciones del número de garrapatas entre los distintos grupos de vaquillas fue testeada con las pruebas de Kruskal-Wallis seguida por el test de Dunn para comparaciones múltiples por pares (en Colonia Tabay) y de Mann-Whitney (en Colonia Benítez).

En ambas localidades el intervalo entre los tratamientos se estableció mediante la suma del poder residual absoluto del acaricida utilizado más un período que osciló entre 7 y 12 días, y nunca se realizaron tratamientos consecutivos con el mismo principio activo, siguiendo en ambos casos el criterio de Nava *et al.* (2015, 2020) y Morel *et al.* (2017). Las vaquillas de cada grupo fueron pesadas en coincidencia con los conteos mensuales de garrapatas. Para cada animal se estimó la ganancia diaria de peso vivo (GDP). La significancia estadística de las diferencias en la ganancia de peso entre los tres grupos de vaquillas de Colonia Tabay se compararon mediante el análisis de la varianza (ANOVA) empleándose para las comparaciones *a posteriori* la prueba de Tukey, mientras que las diferencias entre los dos grupos de Colonia Benítez se analizaron con la prueba t de Student (Zar, 1999). La normalidad de los datos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Zar, 1999). Finalmente se realizó un análisis de regresión lineal considerando la GDP como variable dependiente y el número acumulado de garrapatas como variable predictora. Para descartar un potencial efecto de enmascaramiento por otras parasitosis se monitoreó la infestación con la mosca de los cuernos *Haematobia irritans* y se tomaron muestras

	G1T			G2T			G3T		
	P (%)	Media	M (1Q-3Q)	P (%)	Media	M (1Q-3Q)	P (%)	Media	M (1Q-3Q)
Agosto	70.0	2.6 ^a	2 (0-4)	70.0	2.6 ^a	2 (0-4)	60.0	2.4 ^a	2 (0-4)
Septiembre	20.0	0.4 ^a	0 (0-0)	10.0	0.4 ^a	0 (0-0)	20.0	0.4 ^b	0 (0-0)
Octubre	0.0	0.0 ^a	0 (0-0)	10.0	0.4 ^a	0 (0-0)	100	50.8 ^b	44 (36-60)
Noviembre	10.0	2.0 ^a	0 (0-0)	20.0	1.0 ^a	0 (0-0)	100	22.6 ^b	20 (14-30)
Diciembre	0.0	0.0 ^a	0 (0-0)	0.0	0.0 ^a	0 (0-0)	100	24.6 ^b	24 (8-40)
Enero	40.0	1.9 ^a	0 (0-4)	30.0	0.8 ^a	0 (0-2)	100	44.6 ^b	42 (18-46)
Febrero	70.0	3.8 ^a	3 (0-8)	60.0	1.2 ^b	2 (0-2)	100	67.4 ^c	68 (56-84)
Marzo	100	41.6 ^a	35 (9-66)	100.0	22.3 ^b	21 (7-31)	100	162.3 ^c	125 (81-219)
Abril	90.0	9.0 ^a	7 (4-12)	30.0	0.8 ^b	0 (0-2)	100	36.0 ^c	33 (16-46)
Mayo	100	37.2 ^a	38 (16-42)	90.0	22.4 ^b	15 (8-32)	100	113.6 ^c	85 (56-182)

Tabla 1. Niveles de infestación con *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en los grupos sujetos a diferentes esquemas de control estratégico (G1T y G2T) (ver detalles en materiales y métodos) y en aquel mantenido como testigo (G3T) en Tabay, provincia de Corrientes, entre agosto de 2018 y mayo de 2019. P: Prevalencia; M: mediana con primer y tercer cuartil.

Test de Kruskal-Wallis test. Los valores que no comparten superíndices son significativamente diferentes (P<0.01).

	G1CB			G2CB		
	P (%)	Media	M (1Q-3Q)	P (%)	Media	M (1Q-3Q)
Agosto	70.0	11.8 ^a	15 (0-18)	70.0	10.8 ^a	12 (0-18)
Septiembre	0.0	0.0 ^a	0 (0-0)	90.0	4.0 ^b	4 (2-6)
Octubre	90.0	10.6 ^a	8 (4-10)	100	36.4 ^b	34 (18-54)
Noviembre	40.0	1.2 ^a	0 (0-2)	100	21.2 ^b	22 (14-26)
Diciembre	20.0	0.4 ^a	0 (0-0)	100	23.0 ^b	15 (6-40)
Enero	40.0	1.2 ^a	0 (0-2)	100	34.8 ^b	32 (10-48)
Febrero	0.0	0.0 ^a	0 (0-0)	100	23.0 ^b	24 (12-32)
Mazo	100	13.8 ^a	13 (10-18)	100	84.6 ^b	77 (40-108)
Abril	80.0	7.0 ^a	6 (2-12)	100	124.0 ^b	117 (84-132)
Mayo	100	15.6 ^a	12 (8-20)	100	81.8 ^b	55 (50-100)

Tabla 2. Niveles de infestación con *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el grupo sujeto a control estratégico (G1CB) y en aquel mantenido como testigo (G2CB) en Colonia Benítez, provincia de Chaco, entre agosto de 2018 y mayo de 2019. P: Prevalencia; M: mediana con primer y tercer cuartil.

Test de Kruskal–Wallis test. Los valores que no comparten superíndices son significativamente diferentes ($P < 0.01$).

CT	Septiembre	Noviembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
G1T	0.561 ± 0.09	0.518 ± 0.04	0.429 ± 0.03	0.427 ± 0.01	0.379 ± 0.01	0.337 ± 0.01	0.239 ± 0.02
G2T	0.891 ± 0.06	0.522 ± 0.04	0.423 ± 0.02	0.406 ± 0.02	0.406 ± 0.02	0.382 ± 0.03	0.285 ± 0.02
G3T	0.808 ± 0.1	0.468 ± 0.05	0.320 ± 0.04	0.301 ± 0.04	0.277 ± 0.03	0.220 ± 0.02	0.136 ± 0.02

CB	Octubre	Noviembre	Diciembre	Febrero	Mayo
G1CB	0.263 ± 0.04	0.528 ± 0.05	0.515 ± 0.03	0.555 ± 0.03	0.408 ± 0.03
G2CB	0.375 ± 0.05	0.558 ± 0.05	0.583 ± 0.04	0.499 ± 0.03	0.316 ± 0.02

Tabla 3. Evolución de la ganancia diaria de peso (media ± desvío estándar) en grupos de vaquillas Braford con distintos niveles de infestación con garrapatas. G1T y G2T: grupos sujetos a control estratégico en Colonia Tabay (CT), provincia de Corrientes; G3T: grupo testigo en CT, provincia de Corrientes; G1CB: grupo sujeto a control estratégico en Colonia Benítez (CB), provincia de Chaco; G2CB: grupo testigo en CB, provincia de Chaco. Los valores de infestación con garrapatas en cada grupo se muestran en la tabla 1 para Tabay y tabla 2 para Colonia Benítez.

de materia fecal para determinar el número de huevos de parásitos gastrointestinales por gramo de heces (hpg) empleando la técnica de McMaster (Roberts y O'Sullivan, 1949). En este sentido, todas las vaquillas incluidas en el ensayo de Colonia Tabay fueron tratadas con antiparasitarios internos a base de ricobendazol 10 g (Paraxane® Inyectable, Biogénesis Bagó S.A, Argentina) en agosto de 2018 y fenbendazol 10 g (Paraxane® 10%, Biogénesis Bagó S.A, Argentina) en noviembre de 2018, mientras que en Colonia Benítez todas las vaquillas fueron tratadas con fenbendazol 10 g (Paraxane® 10%, Biogénesis Bagó S.A, Argentina) en agosto de 2018 y en marzo de 2019. Todos los animales involucrados en los ensayos estuvieron expuestos desde su nacimiento a infestación natural con garrapatas, en un área endémica para los hemoparásitos *B. bovis*, *B. bigemina* y *A. marginale* (Guglielmo, 1995; Mangold y Mastropaolo, 2013), y no se observaron manifestaciones clínicas compatibles con babesiosis y anaplasmosis durante el período de estudio. Adicionalmente, los bovinos de Colonia Benítez estaban vacunados para los tres parásitos (*B. bovis*, *B. bigemina* y *A. marginale*) antes del comienzo del ensayo.

RESULTADOS

Las diferencias en los niveles de infestación con *R. (B.) microplus* entre los grupos de vaquillas sujetos al control estratégico y aquellos incluidos como testigos se muestran en la tabla 1 para el ensayo de Colonia Tabay y en la tabla 2 para aquel realizado en Colonia Benítez. Las diferencias entre los grupos tratados y testigos en relación con el número de garrapatas fueron significativas (tablas 1 y 2), y en el caso de Colonia Tabay, el G2T (sujeto a cuatro aplicaciones anuales de acaricidas) tuvo niveles de infestación con garrapatas menores a aquellos observados en el G1T (sujeto a tres aplicaciones anuales de acaricidas) (tablas 1 y 2; figuras 1 y 2).

La evolución de la GDP en cada uno de los tres grupos de vaquillas de Colonia Tabay se muestra en la tabla 3. La ganancia de peso vivo total en kilos de los grupos G1T, G2T y G3T fueron de 67, 80 y 38, respectivamente, y la GDP durante todo el período analizado fue de 0.239 kg/día para el G1T, 0.285 kg/día para el G2T y 0.136 kg/día para el G3T. En los dos grupos tratados con esquemas de control estratégico (G1T y G2T), la GDP fue significativamente mayor que en el G3T ($p < 0.01$), el cual (G3T) a su vez presentó niveles más altos de infestación con

R. (B.) microplus (tabla 3). Aunque en el G2T la GDP fue mayor que en el G1T, las diferencias en la GDP entre estos dos grupos no fueron estadísticamente significativas ($p = 0.264$) (tabla 3). Los resultados de GDP obtenidos en Colonia Benítez se muestran en la tabla 3. El grupo sujeto a control estratégico (G1CB) tuvo una GDP significativamente mayor que el G2CB ($p < 0.01$), en el cual se observaron niveles de infestación con garrapatas significativamente más altos que en el G1CB (tabla 3). La ganancia de peso vivo total en kilos del grupo G1CB fue de 112.6 y la del grupo G2CB de 87.3, mientras que la GDP teniendo en cuenta todo el período analizado en los grupos G1CB y G2CB fueron de 0.407 kg/día y 0.316 kg/día, respectivamente.

En las figuras 1 y 2 se muestran la evolución en el tiempo de la ganancia de peso y la abundancia media de garrapatas en los experimentos de Colonia Tabay y Colonia Benítez, respectivamente. El análisis de regresión mostró una relación

significativamente inversa entre el número de garrapatas y la GDP ($r^2 = 0.708$; $p < 0.01$) (fig. 3).

Todas las vaquillas incluidas en los ensayos no solo permanecieron en potreros similares con la misma disponibilidad de alimento, sino que tampoco se diferenciaron en cuanto al nivel de infestación con *H. irritans* y parásitos gastrointestinales. En relación con la infestación con parásitos gastrointestinales no hubo diferencias significativas entre los tres grupos de bovinos de Colonia Tabay (test de Kruskal Wallis, $p = 0.397$) y entre los dos grupos de Colonia Benítez (test de Mann-Whitney, $p = 0.905$). Los valores promedios máximos de hpg registrados en Colonia Tabay y Colonia Benítez fueron de 49 y 57 en el G2T y en el G1CB, respectivamente. Las diferencias en el nivel de infestación con *H. irritans* entre los grupos de bovinos tampoco fueron estadísticamente significativas (Colonia Tabay, test de Kruskal Wallis, $p = 0.790$; Colonia Benítez,

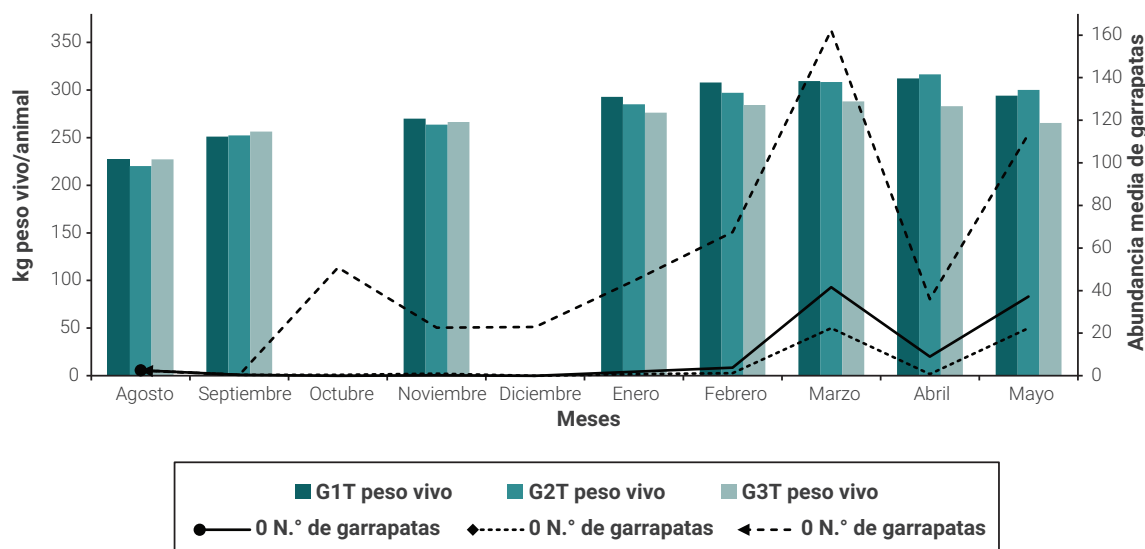


Figura 1. Evolución de la ganancia de peso (barras) y de la abundancia media de garrapatas (líneas) *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en vaquillas Braford en Colonia Tabay, provincia de Corrientes. G1T y G2T: grupos sujetos a diferentes esquemas de control estratégico (ver detalles en materiales y métodos); G3T: grupo testigo.

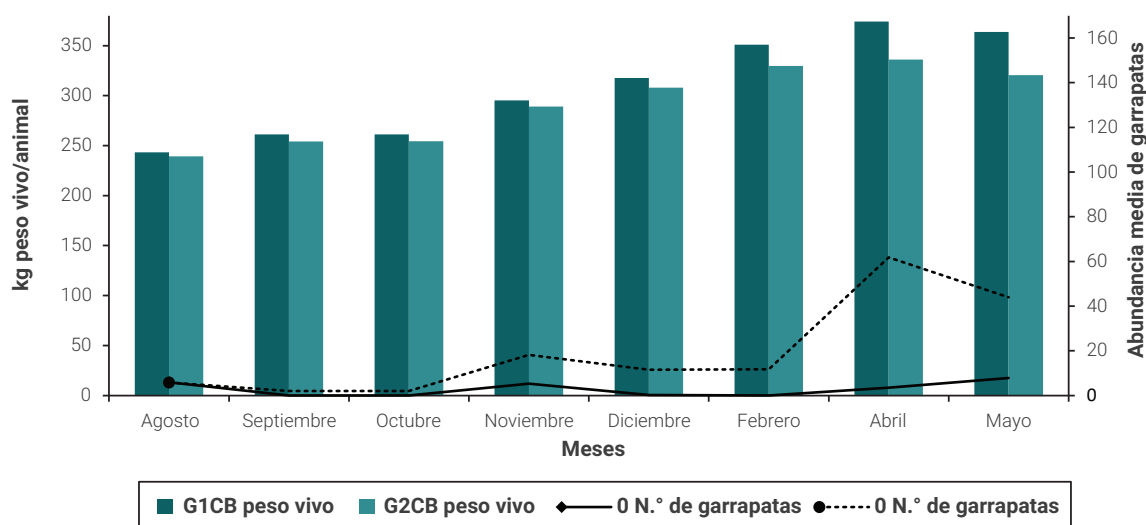


Figura 2. Evolución de la ganancia de peso (barras) y de la abundancia media de garrapatas (líneas) *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en vaquillas Braford en Colonia Benítez, provincia de Chaco. G1CB: grupo sujeto a un esquema de control estratégico (ver detalles en materiales y métodos); G2CB: grupo testigo.

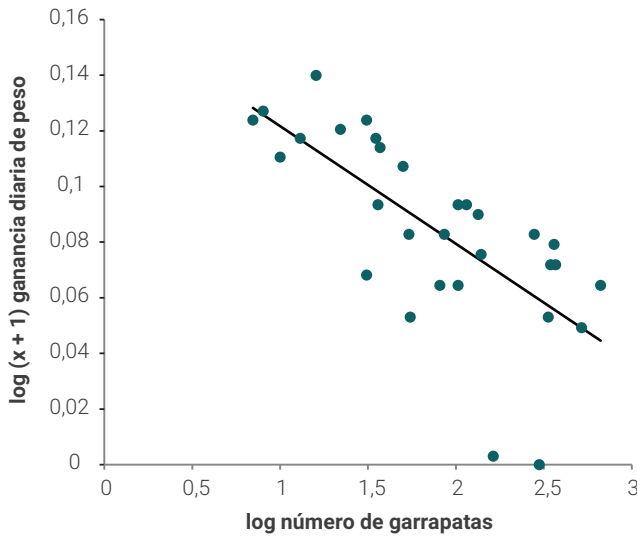


Figura 3. Relación entre el número de garrapatas y la ganancia diaria de peso (GDP) en vaquillas Braford.

test de Mann-Whitney, $p=0.891$), y nunca se registraron valores promedios superiores a 80 moscas en las dos localidades.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la disminución en el número de garrapatas alcanzada con la aplicación de esquemas de control estratégico se relaciona con un impacto significativo en la ganancia de peso vivo de bovinos en desarrollo. Las vaquillas con menores niveles de infestación con *R. (B.) microplus* tuvieron una ganancia de peso significativamente mayor que aquellas vaquillas infestadas con un número mayor de garrapatas. Las diferencias en las GDP entre los grupos de animales sujetos a control estratégico y aquellos mantenidos como grupos testigo fluctuó entre 0.09 y 0.149 kg/día. Para el período evaluado en este trabajo (nueve meses), la aplicación de diferentes esquemas de control estratégico contra *R. (B.) microplus* implicó una ganancia diferencial con respecto a los grupos testigos de 29 y 42 kg de peso vivo en promedio en las vaquillas de Colonia Tabay y de 25 kg en aquellas de Colonia Benítez. Estudios previos realizados en otros países sobre el efecto de las garrapatas en la ganancia de peso en bovinos han arrojado resultados contrastantes (Jonsson, 2006), debido a que este fenómeno quizás no siempre sea constante o demostrable, y a que puede depender de variables asociadas a los bovinos tales como alimentación, adaptación al ambiente, o la presencia de enfermedades asociadas. Los resultados obtenidos en este trabajo añaden evidencia empírica que sustenta la hipótesis sobre el efecto negativo que produce el parasitismo con garrapatas sobre la ganancia de peso en bovinos, en coincidencia con lo establecido en otros países como Australia o Sudáfrica donde especies del subgénero *Boophilus* también constituyen una limitante para la producción ganadera (Holroyd y Dunster, 1978; Mellor et al., 1983; Sutherst et al., 1983; Scholtz et al., 1991; Jonsson, 2006). Esta reducción en la ganancia de peso causada por *R. (B.) microplus* en bovinos en crecimiento puede ser explicada en gran parte por el efecto anorexígeno que ocasiona la parasitosis con garrapatas cuando las infestaciones son altas, aunque también influyen otros efectos específicos

provocados por estos ectoparásitos como la pérdida de sangre o aquellos que afectan procesos metabólicos del hospedador (O'Kelly et al., 1971; Seebeck et al., 1971; Springell et al., 1971).

Los datos analizados en este trabajo indican una asociación inversa entre el número de garrapatas y la GDP en vaquillas Braford, similarmente a lo descrito en estudios previos llevados a cabo en Australia (Holroyd y Dunster, 1978; Sutherst et al., 1983). Sin embargo, esta relación no necesariamente se manifiesta de manera ubicua, debido a la amplia variabilidad que puede existir en la respuesta individual de diferentes animales a un desafío con un número similar de garrapatas (Sutherst et al., 1983). Las principales diferencias en la ganancia de peso entre los animales tratados y los testigos se manifestaron entre enero y mayo, que corresponde al período en el cual la infestación con garrapatas en las vaquillas de los grupos testigos fue mayor (tablas 1 y 2; figuras 1 y 2). Considerando que el patrón de dinámica estacional de *R. (B.) microplus* en el noreste de Argentina se caracteriza por alcanzar los mayores niveles de abundancia en verano y otoño (Ivancovich et al., 1989; Nava et al., 2019, 2020), la aplicación de esquemas de control que prevengan el crecimiento poblacional de esta garrapata entre los meses de enero y mayo contribuirían positivamente en la ganancia de peso de bovinos en desarrollo.

El impacto deletéreo de *R. (B.) microplus* sobre la producción ganadera no solo se debe a su rol como vector de los agentes causales de babesiosis y anaplasmosis, sino también a las pérdidas físicas directas asociadas al parasitismo *per se*, entre las que se destaca la disminución en la ganancia de peso de bovinos. En el contexto del presente estudio, se evidencia particularmente el impacto negativo que las garrapatas pueden tener sobre la productividad en sistemas de cría y recría. Para mitigar los daños que conlleva la infestación con *R. (B.) microplus* es necesaria la aplicación de métodos de control que supriman las poblaciones de este parásito o disminuyan su abundancia a niveles productivamente tolerables. Las principales herramientas disponibles y utilizadas en la actualidad para el control de las garrapatas de los bovinos son los acaricidas químicos sintéticos. Sin embargo, la diseminación en Argentina de la resistencia en garrapatas a diferentes principios activos empleados como acaricidas (Mangold et al., 2004; Guglielmone et al., 2006; Cutullé et al., 2013; Nava et al., 2018; Torrents et al., 2020) constituye una fuerte limitante para alcanzar niveles adecuados de eficacia. De esto surge la necesidad de aplicar métodos de control que minimicen la frecuencia de aplicación de un grupo químico dado a fin de preservar su funcionalidad como acaricida.

CONCLUSIÓN

La aplicación de esquemas de tratamientos estratégicos con acaricidas químicos sintéticos para controlar el parasitismo de *R. (B.) microplus* en el noreste de Argentina puede contribuir a obtener mejores ganancias de peso vivo en bovinos en crecimiento, al prevenir altos niveles de infestación con esta garrapata.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ignacio Martínez Álvarez (Fucosa, Corrientes) por su indispensable apoyo para la realización del estudio en Colonia Tabay, en un predio de la Estancia Aré Porá. Este trabajo se realizó con el apoyo financiero de INTA (PE-E5-1109), Asociación Cooperadora INTA Rafaela, Asociación

Cooperadora INTA Colonia Benítez, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT-2015-550; PICT-2016-774), y Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (PIO140). Carlos Pawliski, Carlos Román, Oscar Warnke y Mario Wuattier colaboraron en los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- BARNETT, S.F. 1961. The control of ticks on livestock. Agriculture Studies N.º 54, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 115 p.
- BUSH, A.O.; LAFFERTY, K.D.; LOTZ, J.M.; SHOSTAK, A.W. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. Revisited. *J. Parasitol.* 83: 575-583.
- CUTULLÉ, C.; LOVIS, L.; D'AGOSTINO, B.I.; BALBIANI, G.G.; MORICI, G.; CITRONI, D.; REGGI, J.; CARACOSTANTOGOLO, J.L. 2013. *In vitro* diagnosis of the first case of amitraz resistance in *Rhipicephalus microplus* in Santo Tomé (Corrientes), Argentina. *Vet. Parasitol.* 192: 296-300.
- ESTRADA-PEÑA, A.; VENZAL, J.M.; NAVA, S.; MANGOLD, A.J.; GUGLIELMONE, A.A.; LABRUNA, M.B.; DE LA FUENTE, J. 2012. Reinstatement of *Rhipicephalus (Boophilus) australis* (Acari: Ixodidae) with redescription of the adult and larval stages. *J. Med. Entomol.* 49: 794-802.
- GEE, R.W.; BAINBRIDGE, M.H.; HASLAN, J.Y. 1971. The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on beef production in the Northern territory. *Aust. Vet. J.* 47: 257-261.
- GUGLIELMONE, A.A. 1992. The level of infestation with the vector of cattle babesiosis in Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 87: 133-137.
- GUGLIELMONE, A.A. 1995. Epidemiology of babesiosis and anaplasmosis in South and Central America. *Vet. Parasitol.* 57: 109-119.
- GUGLIELMONE, A.A.; NAVA, S. 2013. Epidemiología y control de las garrapatas de los bovinos en la Argentina. En: NARI, A.; FIEL, C. (eds.). Enfermedades parasitarias con importancia clínica y productiva en rumiantes: fundamentos epidemiológicos para su diagnóstico y control. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. 441-456 pp.
- GUGLIELMONE, A.A.; MANGOLD, A.J.; CASTELLI, M.; SUÁREZ, V.H.; AGUIRRE, D.H.; ALCARAZ, E.; CAFRUNE, M.M.; CETRÁ, B.; FADER, O.W.; LUCIANI, C.A.; MEDUS, P.D.; NAVA, S. 2006. Toxicidad *in vitro* de la cipermetrina para *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Can.) y del diazinón para *Haematobia irritans* (L.) en la Argentina. *Rev. Inv. Agropec.* 35: 31-41.
- HALL, J.B. 2013. Nutritional development and the target weight debate. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 29: 537-554.
- HOLROYD, R.G.; DUNSTER, P.J. 1978. The effect of the cattle tick on growth rates and reproductive rates of *Bos indicus* cross heifers in north Queensland. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 12, 227.
- IVANCOVICH, J.C. 1989. Infestación natural por garrapatas *Boophilus microplus* (Canestrini) en bovinos. *Bol. Cent. Reg. Chaco-Formosa Inst. Nac. Tecnol. Agropec.* 101: 6-21.
- JONGEJAN, F.; UILENBERG, G. 2004. The global importance of ticks. *Parasitology*. 129: 1-12.
- JONSSON, N.N. 2006. The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to *Bos indicus* cattle and their crosses. *Vet. Parasitol.* 137: 1-10.
- JOHNSTON, L.A.Y.; HAYDOCK, K.P.; LEATCH, G. 1981. The effect of two systems of cattle tick (*Boophilus microplus*) control on tick populations, transmission of *Babesia* spp. and *Anaplasma* spp. and production of Brahman crossbred cattle in the dry tropics. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 21: 256-267.
- MELLOR, W.; O'ROURKE, P.K.O.; WATERS, K.S. 1983. Tick infestations and their effect on growth of *Bos indicus* x *Bos Taurus* cattle in the wet tropics. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23, 348-353.
- MANGOLD, A.J.; MASTROPAOLO, M. 2013. Epidemiología y control de hemoparásitos (*Babesia* y *Anaplasma*) en Argentina. En: NARI, A.; FIEL, C. (eds.). Enfermedades parasitarias con importancia clínica y productiva en rumiantes: fundamentos epidemiológicos para su diagnóstico y control. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, 639-655 pp.
- MANGOLD, A.J.; CASTELLI, M.E.; NAVA, S.; AGUIRRE, D.H.; GUGLIELMONE, A.A. 2004. Poblaciones de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistentes a los piretroides en Córdoba y Salta, Argentina. *Revista FAVE (Ciencias Veterinarias)* 3, 55-59.
- MOREL, N.; SIGNORINI, M.L.; MANGOLD, A.J.; GUGLIELMONE, A.A.; NAVA, S. 2017. Strategic control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* infestation on beef cattle grazed in *Panicum maximum* grasses in a subtropical semi-arid region of Argentina. *Prev. Vet. Med.* 144: 179-183.
- NAVA, S.; MANGOLD, A.J.; CANEVARI, J.T.; GUGLIELMONE, A.A. 2015. Strategic applications of long-acting acaricides against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in northwestern Argentina, with an analysis of tick distribution among cattle. *Vet. Parasitol.* 208, 225-230.
- NAVA, S.; MOREL, N.; MANGOLD, A.J.; GUGLIELMONE, A.A. 2018. Un caso de resistencia de *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) al fipronil detectado en pruebas de campo en el este de Santiago del Estero, Argentina. *Revista FAVE (Ciencias Veterinarias)* 17: 1-5.
- NAVA, S.; TOFFALETTI, J.; MOREL, N.; GUGLIELMONE, A.A.; MANGOLD, A.J. 2019. Testing the efficacy of winter-spring strategic control against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* infestations on cattle in an area with highly favorable ecological conditions for the tick in northeastern Argentina. *Med. Vet. Entomol.* 33: 312-316.
- NAVA, S.; ROSSNER, M.V.; TORRENTS, J.; MOREL, N.; MARTÍNEZ, N.C.; MANGOLD, A.J.; GUGLIELMONE, A.A. 2020. Management strategies to minimize the use of synthetic chemical acaricides in the control of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888) in an area highly favourable for its development in Argentina. *Med. Vet. Entomol.* 34: 264-278.
- O'KELLY, J.C.; SEEBECK, R.M.; SPRINGELL, P.H. 1971. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*) II. Changes in blood composition. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 381-389.
- O'ROURKE, P.K. 1982. Repetability of tick counts and the relationship between tick count and liveweight change in growing *Bos indicus* x *Bos Taurus* cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 14: 305-308.
- PATTERSON, D.J.; OERRY, R.C.; KIRACOFE, G.H.; BELLOWES, R.A.; STAIGMILLER, R.B.; CORAH, L.R. 1992. Management considerations in heifer development and puberty. *J. Anim. Sci.* 70: 4018-4035.
- RECK, J.; MARKS, F.S.; RODRIGUES, R.O.; SOUZA, U.A.; WEBSTER, A.; LEITE, R.C.; GONZALEZ, J.C.; KLAFFKE, G.M.; MARTINS, J.R. 2014. Does *Rhipicephalus microplus* tick infestation increase the risk for myiasis caused by *Conchliomyia hominivorax* in cattle? *Prev. Vet. Med.* 113: 59-62.
- ROBERTS, F.; O'SULLIVAN, P. 1949. Methods for egg counts and larval culture for strongyles infesting gastrointestinal tract of cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 1: 99-102.
- ROUVIER, A.M.; YAÑEZ, E.A. 2017. Efecto de la ganancia de peso invernal sobre el desarrollo genital de vaquillas a los 18 meses. *Rev. Vet.* 28: 93-98.
- SCHOLTZ, M.M.; SPICKETT, A.M.; LOMBARD, P.E.; ENSLIN, C.B. 1991. The effect of tick infestation on the productivity of cows of three breeds of cattle. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 58: 71-74.
- SEEBECK, R.M.; SPRINGELL, P.H.; O'KELLY, J.C. 1971. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*) I. Food intake and body weight growth. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 373-380.
- SPRINGELL, P.H.; O'KELLY, J.C.; SEEBECK, R.M. 1971. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*) III. Metabolic implications of blood volume, body water, and carcass composition changes. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 1033-1045.
- SUTHERST, R.W.; MAYWALD, G.F.; KERR, J.D.; STEGEMAN, D.A. 1983. The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus* x *B. taurus* steers. *Aust. J. Agric. Res.* 34: 317-327.
- SPÄTH, E.J.A.; GUGLIELMONE, A.A.; SIGNORINI, A.R.; MANGOLD, A.J. 1994. Estimación de las pérdidas económicas directas producidas por la garrapata *Boophilus microplus* y las enfermedades asociadas en la Argentina (1.ª parte). *Therios* 23: 341-360.
- TORRENTS, J.; SARLI, M.; ROSSNER, M.V.; TOFFALETTI, J.R.; MOREL, N.; MARTINEZ, N.C.; WEBSTER, A.; MANGOLD, A.J.; GUGLIELMONE, A.A.; NAVA, S. 2020a. Resistance of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to ivermectin in Argentina. *Res. Vet. Sci.* 132: 332-337.
- TORRENTS, J.; MOREL, N.; ROSSNER, M.V.; MARTINEZ, N.C.; TOFFALETTI, J.R.; NAVA, S. 2020b. In vitro diagnosis of resistance of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to fipronil in Argentina. *Exp. Appl. Acarol.* 82: 397-403.
- ZAR, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4th ed., Prentice-Hall, Nueva Jersey, 663 p.

Recuperación de embriones en hembras de alpacas y llamas con ovulación única o múltiple

Publicado online 06 de abril de 2022

Huanca Mamani, T.¹

RESUMEN

La capacidad reproductiva de los camélidos sudamericanos es baja, con un periodo de gestación de 11,5 meses y sufren pérdidas embrionarias tempranas, por lo que la búsqueda de técnicas exitosas para lograr reproducción asistida, como inseminación artificial, superovulación, transferencia de embriones y fecundación *in vitro*, es una estrategia que está en constante desarrollo. El objetivo de este estudio fue evaluar la recuperación, la calidad y el tamaño de embriones obtenidos de alpacas y llamas donantes, de ovulación única y superestimuladas (ovulación múltiple), mediante la aplicación de 1000 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG), en la cría extensiva de la Estación Experimental Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, Puno, Perú). Por una parte, en ambas especies la estimulación ovárica aumentó significativamente el número de folículos, cuerpos lúteos, tasa de ovulación y número de embriones por hembra donante. Sin embargo, la tasa de recuperación fue menor en las llamas tratadas con eCG y entre el 60 y 76% de los embriones colectados fueron clasificados como transferibles (de calidad excelente y buena) de acuerdo a la escala de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS). Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en el tamaño de los embriones en función de su calidad u origen (ovulación única o de superovulación).

Palabras clave: camélidos, eCG, reproducción, superestimulación ovárica, embriones.

ABSTRACT

The reproductive capacity of South American camelids is low, with a gestation period of 11.5 months and suffer early embryonic losses, so the search for successful techniques to achieve assisted reproduction, such as artificial insemination, superovulation, embryo transfer and in vitro fertilization, are strategies that are in constant development. The objective of this study was to evaluate the recovery, quality and size of embryos obtained from single ovulated and super-stimulated (multiple ovulation) donor alpacas and llamas, through the application of 1000 IU of equine chorionic gonadotropin (eCG), in the extensive breeding of the Quimsachata Experimental Station of the National Institute for Agrarian Innovation (INIA, Puno, Peru). In both species, ovarian stimulation significantly increased the number of follicles, corpora lutea, ovulation rate and number of embryos per donor female. However, the recovery rate was lower in the eCG-treated llamas and between 60 and 76% of the embryos collected were classified as transferable (excellent and good quality) according to the International Embryo Transfer Society (IETS) scale. On the other hand, no significant differences were observed in the size of the embryos according to their quality or origin (single ovulation or superovulation).

Keywords: camelids, eCG, reproduction, ovarian superstimulation, embryos.

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Programa Nacional de Innovación en Camélidos, Puno, Perú.
Correo electrónico: teodosiohuancamamani@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los camélidos son animales estrictamente herbívoros con características reproductivas únicas, como el hecho de que presentan ovulación inducida por el apareamiento. Dentro de la familia de los camélidos se encuentra a los camellos (dromedario y bactriano), llamas, alpacas, vicuñas y guanacos. Los camellos son originarios del viejo mundo, mientras que los cuatro últimos son conocidos como los camélidos sudamericanos (Herrid *et al.*, 2017), de hábitat por encima de los 3000 m s. n. m., específicamente en zonas del altiplano en Perú, Bolivia, Argentina y Chile, característico por las bajas temperaturas y escasez de agua (Quispe *et al.*, 2009).

Para Sudamérica, desde la época de la cultura precolombina, los camélidos han significado para el hombre animales domésticos de mucha importancia, pues además de servir como fuentes de alimento, piel, cuero, y como animal de transporte de carga, son muy apreciados por su fina fibra, con la cual, hasta hoy en día, se ha alcanzado un puesto relevante en la industria textil del mundo (Quispe *et al.*, 2009; Frank 2017). Por lo tanto, su crianza doméstica es una de las actividades que más recientemente ha ejercido un impacto socioeconómico sobre todo para las poblaciones rurales de mayor pobreza y marginalización (Quispe, 2009).

En Perú, la cría extensiva de alpacas (*Vicugna pacos*) y llamas (*Lama glama*) ha ganado importancia con el procesamiento industrial y artesanal de la fibra y sus derivados. La fibra de alpaca cubre el 80% de la demanda de fibra a nivel mundial, con una producción de 3.530 toneladas generando ganancias alrededor de los 20 millones de dólares. De acuerdo al último censo, la población de alpacas está en el orden de los 3,7 millones y la de llamas en 1,2 millones de cabezas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

La capacidad reproductiva de los camélidos sudamericanos es baja debido a que su reproducción es estacional y con un periodo de gestación alrededor de los 340-345 días (Sumar, 1996). Dependiendo de la edad y del animal, tienen un inicio tardío de la pubertad y sufren pérdidas embrionarias tempranas (Fernández-Baca *et al.*, 1970), por lo que se realizan esfuerzos para lograr técnicas exitosas en la reproducción asistida, como la inseminación artificial, superovulación, transferencia de embriones y fecundación *in vitro*. Sin embargo, los desarrollos biotecnológicos son limitados, no solo por la poca disponibilidad de recursos financieros, sino por las regulaciones de protección y registro de la cría sobre estas especies (Herrid *et al.*, 2017; Forshey *et al.*, 2018).

En relación con la transferencia de embriones, se requiere cumplir con una serie de etapas en las que cada una presenta ciertas limitaciones para disponer de una técnica que genere resultados exitosos, ya que estos camélidos son ovuladores reflejos o inducidos, en los que, las señales neuronales de la cópula y proteínas seminales, como el factor de crecimiento β -neural (Adams *et al.*, 2005, 2013), son los principales factores que estimulan o inducen la secreción hipotalámica de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), la cual estimula la liberación preovulatoria de la hormona luteinizante (LH), por lo tanto, la ovulación no es un evento cíclico regular (Silva *et al.*, 2020). En este sentido, se presentan como desafíos obtener una superovulación exitosa para la producción de varios embriones, la recuperación óptima de los embriones, tanto en número como en calidad y lograr una buena sincronización en la actividad ovárica entre hembras donantes y receptoras, ya

que la transferencia se realiza inmediatamente después de la recuperación de los embriones (Vaughan *et al.*, 2013).

De acuerdo a los resultados de Vaughan *et al.* (2013), con los tratamientos de superestimulación la respuesta ovárica es muy variable, señalando que, en el 33% de los casos no se logra el desarrollo de múltiples folículos, o se desarrollan de modo deficiente y anormal, lo cual afecta la fertilización. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la recuperación y la calidad de los embriones obtenidos de alpacas y llamas donantes con ovulación única y superestimuladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en la provincia de Lampa del distrito Santa Lucía (departamento de Puno, Perú), en la Estación Experimental Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), situada a 4200 m s. n. m., donde se lleva a cabo la cría extensiva de alpacas y llamas.

Animales

Se trabajó con hembras donantes, 181 alpacas y 158 llamas, de tres a seis años de edad, en la temporada reproductiva entre febrero a mayo, a las cuales se les evaluaba la actividad ovárica por ultrasonografía transrectal y se seleccionaron las hembras con folículos en crecimiento cuando alcanzaron un diámetro >7 mm, que indica capacidad ovulatoria.

Seguidamente, las hembras de cada especie fueron asignadas al azar formándose dos grupos, control y con tratamiento en 87 alpacas como grupo control de ovulación simple (A-OS) y 94 para ovulación superestimulada (A-OSe); y 87 llamas grupo control de ovulación simple (LI-OS) y 71 para ovulación superestimulada (LI-OSe).

Tratamiento

A las hembras de los grupos control, una vez desarrollado el folículo dominante (>7 mm de diámetro) se les permitió el apareamiento con machos a los cuales se les confirmó previamente su fertilidad; mientras que, a las hembras del grupo para estimular se les inyectó (i.m.) 1000 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG- Folligon®, Intervet, Perú). Las hembras fueron chequeadas por ultrasonografía a partir del tercer día y fueron apareadas al día siguiente de que presentaran tres folículos >7 mm.

Recuperación de embriones

Siguiendo las recomendaciones de Huanca *et al.* (2009), siete días después del apareamiento, se realizó la colección de embriones por la técnica de lavado uterino, procedimiento que requiere tranquilizar al animal con aplicación de lidocaína al 2% (anestesia) a nivel epidural entre las vértebras sacra y coccígea.

El lavado uterino se realizó empleando un catéter Foley N.º 16 con una solución tampón de fosfato salino y antibiótico, creándose una corriente de arrastre por los cuernos uterinos, y el líquido de retorno se pasó por un filtro EmCon (Agtech) para recuperar los embriones.

Posteriormente, con una lupa estereoscópica (20x) y platina atemperada a 25 °C, se clasificaron los embriones de acuerdo

a la escala del manual de la IETS (International Embryo Transfer Society) en excelente, bueno, regular y pobre, dependiendo de las cualidades morfológicas externas (Stringfellow y Givens, 2011).

Procesamiento de datos

Las variables para evaluar la determinación de la efectividad de la recuperación de embriones en ambas especies de camélidos fueron número de folículos, cuerpos lúteos (CL) y embriones por hembra donante; tamaño de folículos, CL y embriones; tasas de ovulación (número de hembras con CL/número de hembras con folículo >7mm) y de embriones recuperados (número de embriones recuperados/número de CL observados por medio de ultrasonografía).

Para establecer la significancia estadística en la comparación de medias observadas, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan con los niveles de confianza del 95 y 99%, y para determinar la relación entre el tamaño de los embriones recuperados con la calidad y tipo de ovulación (si fue natural o estimulado) se empleó la prueba de Chi cuadrado de Pearson con 95% de confianza.

RESULTADOS

Por una parte, los números promedio de folículos y CL, en los grupos control (que representan la ovulación natural), en todos los casos fueron menores ($p < 0,01$) a los observados en los grupos tratados con eCG en ambas especies (tabla 1).

Por otra parte, no se observaron diferencias ($p > 0,05$) en el diámetro promedio de los folículos entre grupos de ambas especies; sin embargo, el diámetro promedio de los CL en las alpacas fue mayor ($p < 0,01$) en hembras superestimadas comparado con hembras de ovulación simple. Esta diferencia no fue observada en las llamas. La tasa de ovulación varió significativamente con el tratamiento de eCG en ambas especies, donde eCG provocó un aumento significativo alrededor del 10% comparado con la ovulación única.

Finalmente, si bien el número promedio de embriones recuperados por hembra donante fue mayor en las hembras estimuladas, las tasas de recuperación fueron significativamente menores ($p < 0,01$) solo en las llamas.

Al evaluar la calidad de los embriones recuperados de acuerdo a la clasificación de la IETS (figura 1), se observó mayoría con calidad excelente y buena en alpacas y en llamas, mayoría de embriones de calidad excelente y regular. Estadísticamente, no se observaron diferencias significativas entre los grupos ($p > 0,05$). Asimismo, no se observó relación entre el tamaño y la calidad del embrión, como tampoco entre el tamaño del embrión y tipo de ovulación, si fue natural o superestimación ($p > 0,05$; figura 2).

DISCUSIÓN

Los estudios de reproducción asistida en camélidos se han visto favorecidos con el seguimiento de los ciclos ováricos por ultrasonido y por los ensayos hormonales, como esfuerzos dirigidos a la estandarización de protocolos exitosos para la superovulación y transferencia de embriones, con la intención a futuro, de mejorar la genética y garantizar preñeces a término con el fin de contribuir en el mantenimiento de sus poblaciones (Pacheco *et al.*, 2016; Herrid *et al.*, 2017; Ascencio *et al.*, 2019; Skidmore *et al.*, 2019). Como razones que motivaron este estudio, en el que se comparó la respuesta ovárica y la calidad de embriones en alpacas y llamas, a las que se les hace el seguimiento en condiciones naturales, que se llamó ovulación simple y ovulación múltiple (superovulación) por estimulación hormonal.

Inicialmente, la estimulación realizada con eCG fue efectiva, aumentando significativamente el número de folículos, CL y el porcentaje de ovulación, tanto en alpacas como en llamas. Si bien aumentó el número de embriones por hembra donante, la tasa de recuperación fue menor en las hembras tratadas con la hormona, particularmente en las llamas. Resultados similares fueron reportados por Vaughan *et al.* (2013), quienes obtuvieron un 66% de recuperación de embriones en alpacas que ovularon naturalmente y un 41% en el grupo estimulado. Estos resultados concuerdan con lo observado por Huanca *et al.* (2009) en llamas, quienes obtuvieron tasas del 73% de recuperación en donantes simples y 48% en las donantes estimuladas con eCG. Ahora bien, en cuanto a la recuperación de embriones en donantes con única ovulación, varios son los autores que con la técnica de lavado con PBS reportaron por-

Características	Alpacas				Llamas			
	Natural		Superestimadas		Natural		Superestimadas	
	n	Promedio ± DE	n	Promedio ± DE	n	Promedio ± DE	n	Promedio ± DE
N.° de folículos/donante	87	1,0 ± 0,0 b	94	7,7 ± 4,8 a	87	1,0 ± 0,0 b	71	8,0 ± 4,4 a
Diámetro de folículos (mm)	87	9,2 ± 1,8 a	94	9,6 ± 2,1 a	87	10,1 ± 2,3 b	71	9,3 ± 1,6 a
N.° de cuerpos lúteos/donante	70	1,0 ± 0,0 b	88	5,5 ± 3,6 a	73	1,0 ± 0,0 b	69	6,8 ± 4,0 a
Diámetro de cuerpos lúteos (mm)	70	10,7 ± 1,7 b	88	12,9 ± 3,6 a	73	11,3 ± 1,9 a	69	12,1 ± 2,2 a
Ovulación (%)	70	80,5 a	88	93,6 b	73	83,9 a	69	97,2 b
Número de embriones/ donante	51	1,0 ± 0,0 b	63	2,5 ± 1,7 a	43	1,0 ± 0,0 b	30	4,0 ± 3,4 a
Recuperación embriones (%)		72,9 a		71,6 a		58,9 a		43,5 b

Tabla 1. Respuesta ovárica de alpacas y llamas de los grupos control y superestimadas.

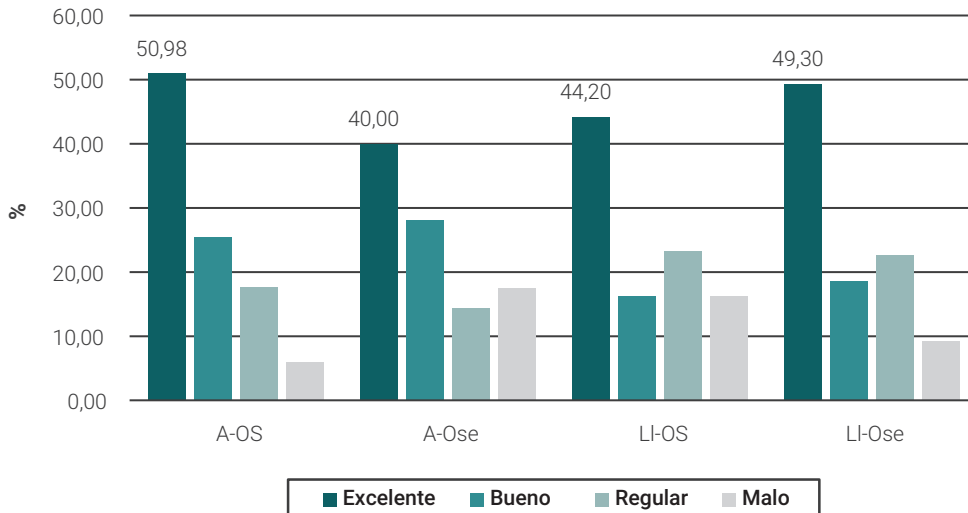


Figura 1. Calidad de embriones recuperados de alpacas y llamas donantes de los grupos, control y superestimuladas. *No se observaron diferencias significativas entre los grupos, $p>0,05$.

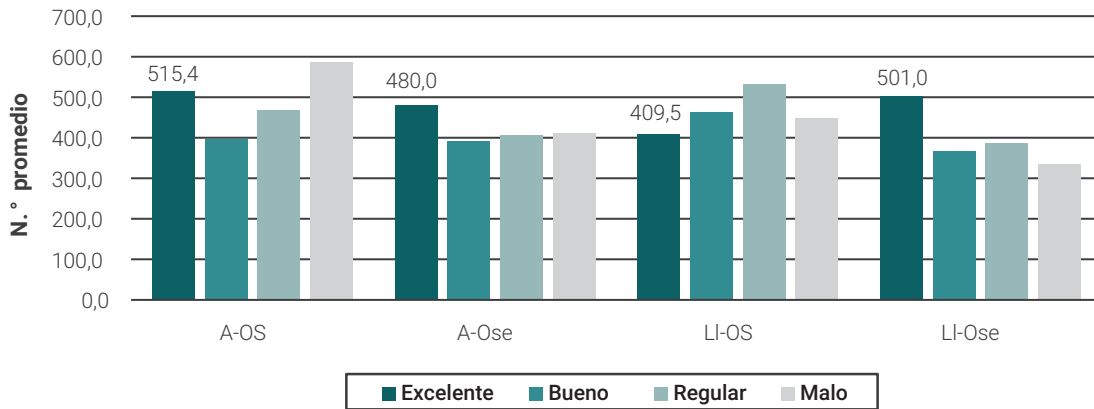


Figura 2. Tamaño (micras) y calidad de los embriones (escala IETS) en alpacas y llamas donantes de los grupos control y superestimuladas. *No se observaron diferencias significativas entre los grupos, $p>0,05$.

centajes de recuperación entre 60 y 78% (Huanca *et al.*, 2009; Vaughan *et al.*, 2013; Forshey *et al.*, 2018; Asensio *et al.*, 2019; Pacheco *et al.*, 2016), indicando efectivamente que es el máximo esperado con este procedimiento.

Por un lado, resultados contrarios refiere el estudio de revisión de Ratto *et al.* (2015), quienes señalaron que con el uso de eCG en combinación con LH, se pudo obtener hasta 5 embriones por donante. Sin embargo, el número promedio de CL fue 7, menos de lo obtenido en este estudio. Por otro lado, si bien varios autores han utilizado combinación de hormonas, en el caso de los camélidos, con hembras que ovulan cuando se aparean, se observan respuestas muy variables y alrededor de un 20% de las hembras tratadas no responde a la superestimulación ovárica (Skidmore *et al.*, 2019), tal como se observó en este estudio.

En cuanto a la calidad de los embriones, en el presente trabajo se obtuvo mayoría de embriones con calidad excelente y buena, demostrando que esta técnica de lavado uterino, no maltrata estas células, resultados que concuerdan con lo se-

ñalado por otros autores, en los que entre el 60 y 80% de los embriones colectados son transferibles, es decir, de calidad entre excelente y buena (Vaughan *et al.*, 2013; Pacheco *et al.*, 2016; Ascensio *et al.*, 2019).

La calidad de los embriones no estuvo relacionada con su tamaño ni con la administración de la hormona en el grupo de donantes estimuladas. Similares conclusiones fueron informadas por Vaughan *et al.* (2013), aunque en ese trabajo los autores obtuvieron embriones de mayor diámetro. Además, es importante establecer que ambas especies (alpacas y llamas) respondieron de forma similar a la estimulación ovárica tanto en calidad como en número de embriones colectados. Estudios relacionados que comparan diversos tópicos de los procesos reproductivos entre las alpacas y las llamas han coincidido en que comparten dichas características, no encontrándose diferencias entre estas especies (Mamani *et al.*, 2013; Skidmore *et al.*, 2019).

Aún hoy, es necesario que se sigan impulsando estudios en esta área, en la búsqueda del procedimiento más económico,

productivo y viable de aplicación, pues garantiza una mejora genética de las especies y contribuye al mantenimiento de sus poblaciones, las cuales han estado en peligro de extinción y, además, facilita su empleo sustentable para el fortalecimiento de la economía de los países que crían estas especies.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, G.P.; RATTO, M. 2013. Ovulation-inducing factor in seminal plasma: A review. *Animal Reproduction Science* 136, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.10.004>
- ADAMS, G.P.; RATTO, M.; HUANCA, W.; SINGH, J. 2005. Ovulation-inducing factor in the seminal plasma of alpacas and llamas. *Biology of Reproduction* 73, 452-457. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.105.040097>
- ASCENCIO, S.J.; HUANCA, L.W.; TURÍN, V.J.; MAMANI, M.C.; CORDERO, R.A.; HILARI, O.F. 2019. Efecto del estadio de desarrollo de la onda folicular sobre la respuesta ovárica y tasa de recuperación y calidad de embriones en alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30, 745-752. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16066>
- FERNANDEZ-BACA, S.; HANSEL, W.; NOVOA, C. 1970. Embryonic mortality in the alpaca. *Biology of Reproduction* 3, 243-251. <https://doi.org/10.1093/biolreprod/3.2.243>
- FORSHEY, B.S.; MORAES, C.R.; LAKRITZ, J.; PINTO, C.R.F.; COFFMAN, E.; SCHANBACHER, B.J.; PLACE, N.J.; COUTINHO DA SILVA, M.A. 2018. Embryo production by superovulation and dual siring in alpacas (*Vicugna pacos*). *Small Ruminant Research* 162, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.smaflrumres.2018.03.006>
- FRANK, E.N. 2017. Comercialización de fibras de camélidos sudamericanos. Serie Documentos Internos SUPPRAD N.º5, Red SUPPRAD, Universidad Católica de Córdoba, Argentina.
- HERRID, M.; VAJTAC, G.; SKIDMORE, J.A. 2017. Current status and future direction of cryopreservation of camelid embryos Author links open overlay panel. *Theriogenology* 89, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.10.005>
- HUANCA, W.; CORDERO, A.; HUANCA, T.; CARDENAS, O.; ADAMS, G.P.; RATTO, M.H. 2009. Ovarian response and embryo production in llamas treated with equine chorionic gonadotropin alone or with a progestin-releasing vaginal sponge at the time of follicular wave emergence. *Theriogenology* 72, 803-808. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.05.019>
- MAMANI, C.R.; HUANCA, M.T.; PACHECO, C.J.; ZAPANA, V.R.; CONDORI, R.N. 2013. Tasa de ovulación utilizando liberador de Gonadotropinas y plasma seminal en alpacas y llamas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 24, 194-198. <https://doi.org/10.15381/rivep.v24i2.2493>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. 2015. Situación de actividades de crianza y producción de camélidos sudamericanos. 1-36. (Disponible: <https://www.midagri.gob.pe/portal/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-produccion/298-camelidos-sudamericanos?start=6> verificado: 11 de marzo de 2019).
- PACHECO, J.; VÉLEZ, V.; PEZO, D. 2016. Evaluación de la Eficiencia de la Transferencia de Embriones Inter especie entre Alpacas y Llamas Obtenidos por Ovulación Simple. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27, 64-69. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11464>
- QUISPE, E.C.; RODRÍGUEZ, T.C.; IÑIGUEZ, L.R.; MUELLER, J.P. 2009. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information* 45, 1-14. <https://doi.org/10.1017/S1014233909990277>
- RATTO, M.H.; SILVA, M.; HUANCA, T.; CORDERO, A.; HUANCA, W. 2015. Inducción de superpoblación en camélidos. *Spermova* 5, 253-257. <http://dx.doi.org/10.18548/aspe/0002.45>
- SILVA, M.; PAIVA, L.; RATTO, M.H. 2020. Ovulation mechanism in South American Camelids: the active role of β -NGF as the chemical signal eliciting ovulation in llamas and alpacas, *Theriogenology* 150, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.078>
- SKIDMORE, J.A. 2019. The use of some assisted reproductive technologies in old world Camelids. *Animal Reproduction Science* 207, 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.06.001>
- STRINGFELLOW, D.; GIVENS, D. 2011. Manual de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones. 4.ª ed.: International Embryo Transfer Society. Illinois, EUA. 185 p.
- SUMAR, J.B. 1996. Reproduction in llamas and alpacas. *Animal Reproduction Science* 42, 405-415. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(96\)01538-2](https://doi.org/10.1016/0378-4320(96)01538-2)
- VAUGHAN, J.; MIHM, M.; WITTEK, T. 2013. Factors influencing embryo transfer success in alpacas. A retrospective study. *Animal Reproduction Science* 136, 194-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.10.010>

Situación de las virosis del cultivo de papa en el Sudeste Bonaerense

Publicado online 06 de abril de 2022

Salvalaggio, A.E.¹; Bruno, C.^{2,3}; Huarte, M.A.¹; López Lambertini, P.M.³

RESUMEN

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires se encuentra la principal región productora de papa de la Argentina. La papa que se produce tiene tres destinos: el mercado fresco, la industria y la producción de semilla, la cual se realiza en un área diferenciada. El cultivo de papa se establece a través de la propagación vegetativa y, como consecuencia, los tubérculos infectados se convierten en una vía de transmisión de virus. El objetivo fue determinar la incidencia de Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV), Potato virus X (PVX) y Tomato spotted wilt virus (TSWV) y la ocurrencia de infecciones mixtas entre estos virus en áreas de producción de papa para consumo e industria y papa-semilla del sudeste de Buenos Aires durante las campañas 2013-2014 a la 2018-2019. Otro objetivo fue analizar el progreso de los niveles de infección para estos virus y la tendencia de las categorías de certificación de papa-semilla fiscalizadas por el Instituto Nacional de semillas (INASE) en el área diferenciada en los últimos 35 años. En este estudio se trabajó con datos procedentes de tubérculos de papa de 107 lotes de consumo e industria recolectados según protocolo y 41 lotes de papa-semilla muestreados al azar por técnicos oficiales del INASE para su fiscalización. Los tubérculos fueron brotados y analizados mediante DAS-ELISA para detección de PVY, PLRV, PVX y TSWV. Se estimó la incidencia de cada virus, incidencia relativa entre estos y frecuencias de infecciones simples y mixtas para ambas categorías y para cada campaña. Se analizaron los niveles de infección de PVY, PLRV, PVX y TSWV del área diferenciada de producción de papa-semilla y su relación con las categorías de certificación. PVY resultó el virus con mayor incidencia mientras que PLRV y TSWV fueron los de menor incidencia tanto para la producción de papa destinada a consumo e industria como para papa-semilla. Se observó fluctuación interanual de los valores de incidencia para PVY, PLRV y TSWV en ambas categorías. Se reportó por primera vez infecciones mixtas entre PVY, PLRV y TSWV. Las infecciones mixtas más frecuentes fueron entre TSWV con PVY o PLRV. Se observó una disminución de los niveles de infección para PVY, PLRV, PVX y TSWV y una mejora en la tendencia de las categorías de certificación de papa-semilla para todos los virus en los últimos 35 años. Actualmente, las categorías de papa-semilla son Inicial III para PVY e Inicial I para PLRV, PVX y TSWV. Desde 2010 no se detecta PVX en papa-semilla. Cabe señalar que la acción integrada de entidades públicas, privadas y productores que adoptaron el protocolo de la Mesa Provincial de papa logró que esta área diferenciada del sudeste de Buenos Aires se destaque por su excelencia sanitaria. No obstante, para la región de producción de papa para consumo e industria se deberían fortalecer las medidas de control de PVY y TSWV.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* L., DAS-ELISA, PVY, TSWV, PLRV, PVX, incidencia de virus, infecciones mixtas, certificación de papa semilla.

ABSTRACT

The main potato producing area of Argentina is located in the southeast of Buenos Aires province. Potato is cropped for three purposes: fresh market, and industry and seed production; the latter is performed in a differentiated area.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS Balcarce). Ecofisiología de Cultivos y Productos Agrícolas Balcarce, Ruta 226 km 73,5 CC 276, (7620), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: salvalaggio.andrea@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cátedra de Estadística y Biometría. Ing. Agr. Félix Aldo Marrone 746. Ciudad Universitaria. CP 5000. Córdoba, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Instituto de Patología Vegetal (IPAVE). Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola (UFYMA). INTA-CONICET, Av. 11 de Septiembre 4755 (X5014MGO), Córdoba, Argentina.

Potato crop is established through vegetative propagation; consequently, infected tubers become a route of virus transmission. The objective of this work was to determine the incidence of Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV), Potato virus X (PVX) and Tomato spotted wilt virus (TSWV), and the occurrence of mixed infections among these viruses in areas of potato production for fresh market, industry, and potato-seed of the southeast of Buenos Aires between the 2013-2014 and the 2018-2019 crop seasons. Another objective was to analyze the progress of the infection levels of these viruses and the trend of the potato-seed categories regulated by the "Instituto Nacional de Semillas" (INASE), produced in the differentiated area in the last 35 years. Data were collected from potato tubers corresponding to 107 plots destined for fresh market and industry, following sampling protocols, and from 41 potato-seed plots, which were randomly sampled by official INASE technicians for their control. These tubers were then sprouted and analyzed by DAS-ELISA for the detection of PVY, PLRV, PVX and TSWV. The incidence of each virus, relative incidence between them and frequencies of single and mixed infections were estimated for both categories and each season. Infection level of PVY, PLRV, PVX and TSWV of the differentiated potato-seed production area was analyzed. PVY was the virus with the highest incidence, whereas PLRV and TSWV had the lowest incidence in the production for fresh market, industry and potato-seed categories. Incidence values of PVY, PLRV and TSWV fluctuated among years in both categories. PVY, PLRV and TSWV mixed infection percentages were low, with double infections being more frequent than triple ones for both categories. TSWV co-infecting with PVY or PLRV were the most frequent mixed infections. This is the first report of mixed infections between PVY, PLRV and TSWV in potato in Argentina. The infection level for PVY, PLRV, PVX and TSWV decreased in the potato-seed differentiated area throughout the seasons. At the same time, there was an improvement in the trend of potato-seed certification categories regulated by INASE for all viruses in the last 35 years. Currently, the potato-seed category is at Initial III infection level for PVY and Initial I for PLRV, PVX and TSWV. PVX has not been detected since 2010 in potato seeds. It should be noted that the integrated action of public and private organizations and producers that adopted the protocol of the Provincial Potato Board made this differentiated area of the southeast of Buenos Aires stand out for its sanitary excellence. In the region where potato is produced for the fresh market and industry, PVY and TSWV control measures should be strengthened.

Keywords: *Solanum tuberosum*, DAS-ELISA, PVY, TSWV, PLRV, PVX, virus, incidence, mixed infections, potato seed certification.

INTRODUCCIÓN

La papa es el tercer cultivo de mayor importancia en términos de consumo humano después del trigo y el arroz y su tubérculo, una excelente fuente de carbohidratos, proteínas y vitaminas (Devaux *et al.*, 2014). Constituye un alimento tradicional de la dieta de los argentinos y se consumen cerca de 60 kg/cápita/año (Huarte y Capezio, 2013). Su cultivo se realiza en todo el territorio nacional, en alrededor de 72.500 ha con una producción anual de 2,34 millones de toneladas (FAOSTAT, 2018).

En la región sudeste la provincia de Buenos Aires, constituida por los partidos de General Alvarado, General Pueyrredón, Balcarce, Tandil, Necochea y Lobería, se encuentra la principal zona productora de papa de la Argentina (Huarte y Capezio, 2013). En esta región productora se registran los mayores rendimientos del país; en el año 2019 se sembraron 32.898 ha y se produjeron 1,38 millones de toneladas de papa, lo que representó el 57% de la producción nacional (Constantino, 2020). La papa que se produce en el Sudeste Bonaerense tiene tres destinos: el mercado fresco, industria y papa-semilla. En el Sudeste Bonaerense se encuentra el área de producción de semilla fiscalizada más importante para el país, la cual ocupa una superficie cercana a 2.500 ha y comprende los partidos de Tres Arroyos, San Cayetano y la totalidad de González Chaves (Constantino, 2016).

Más de 50 virus y un viroide infectan el cultivo de papa (Kreuz *et al.*, 2020). El virus Y de la papa (Potato virus Y, PVY, género *Potyvirus*) y el virus del enrollamiento de la hoja (Potato leafroll

virus, PLRV, género *Polevirus*) son los más importantes a nivel mundial (Kreuz *et al.*, 2020). PVY y PLRV se transmiten por áfidos; el más eficiente es *Myzus persicae* (Kerlan, 2006). Aunque poseen distinto tipo de transmisión: PLRV se transmite de manera persistente mientras que PVY de manera no persistente (Pinheiro *et al.*, 2019). La adquisición y la inoculación cuando la transmisión es del tipo persistente son desde minutos hasta horas (Radcliffe y Ragsdale, 2002). En cambio, la transmisión no persistente requiere tiempos de adquisición e inoculación muy cortos, de menos de un minuto (Bradley, 1954). Hay reportes de infección mixta de PVY y PLRV en papa a nivel mundial (Chatzivassiliou y Gazi, 2008). Otro virus frecuente es el virus X de la papa (Potato virus X, PVX, género *Potexvirus*). Los síntomas de PVX son variables y dependen del cultivar, de la cepa del virus, de las condiciones ambientales y de la sinergia en infecciones mixtas (Loebenstein, 2001). La mayoría de sus aislamientos causan mosaicos de hojas leves o infecciones sin síntomas. Las reducciones de rendimiento en tales plantas sin síntomas son generalmente inferiores al 10%, a pesar de que pueden contener alta concentración viral. En infecciones mixtas con PVY los rendimientos se reducen hasta en un 50% (Khurana y Singh, 1988; Vance, 1991). En Argentina, PVX se distribuye principalmente en las provincias de Catamarca, Tucumán (Martínez *et al.*, 2014), Córdoba (Viotti *et al.*, 2008) y Jujuy (Clausen *et al.*, 2005). Se han detectado infecciones mixtas de PVX y el virus S de la papa (Potato virus S PVS, género *Carlavirus*) en papas andinas de la Quebrada de Humahuaca (Montial y Bejarano, 2011). El virus del marchitamiento del tomate (Toma-

to spotted wilt virus (TSWV), género *Orthotospovirus* ha emergido en los cultivos de papa del Sudeste Bonaerense (Escarrá et al., 2004; Carrizo et al., 2010). TSWV se transmite mediante trips de manera circulativa-propagativa y su control continúa siendo un desafío debido al comportamiento tigmotáctico de los trips, los cuales quedan refugiados del alcance de los insecticidas de contacto (Reitz 2009; Cloyd 2009).

Tanto PVY, PLRV como TSWV afectan la calidad de la papa al inducir necrosis internas y superficiales en el tubérculo. Algunas cepas de PVY causan anillos necróticos en el tubérculo de papa, enfermedad conocida como PTNRD (*potato tuber ringspot disease*) la cual ha producido graves pérdidas económicas en papa para industria en Europa (Le Romancer et al., 1994; Serra y Weidemann, 1997, Tomassoli, 1998; Boonham, 2002), América (Crosslin et al., 2002 y 2005, Quintero-Ferrer y Karasev, 2013; Colavita et al., 2017) y Asia (Ogawa et al., 2008). PLRV causa una necrosis del sistema vascular del tubérculo conocido como "necrosis en red" (Douglas y Pavek, 1972). TSWV ocasiona necrosis en forma de anillos o punto necróticos en el tubérculo (Wilson, 2001). Las infecciones mixtas de PVY y PLRV ocasionan síntomas más severos dependiendo del cultivar, y provocan una reducción significativa del tamaño y número de tubérculos comercializables por planta (Srinivasan y Alvarez, 2007; Byarugaba et al., 2020).

Las pérdidas económicas causadas por virus oscilan entre 10 y 90%, según el virus (Navarrete et al., 2017). Los cultivos de papa se establecen a través de la propagación vegetativa, práctica que aumenta el riesgo de acumulación de virus en los cultivos siguientes. La mejor medida sanitaria es iniciar cultivos con lotes de semilla libre de virus o cuyo nivel de infección sea lo más bajo posible. Para ello en Argentina existe un sistema de fiscalización de papa-semilla que establece nivel de tolerancias para PVY, PLRV y PVX (Instituto Nacional de Semilla (INASE), Resolución 217/2002).

Aunque TSWV no está incluido en la normativa de fiscalización de la papa semilla del INASE, este virus fue incluido en los tests obligatorios en la zona diferenciada del Sudeste Bonaerense (Protocolo de producción de papa semilla en la zona diferenciada de Buenos Aires, Mesa Provincial de papa), debido a que esta enfermedad representa un problema desde 2006 (Carrizo et al., 2010; Jacobsen et al., 2011; Jacobsen et al., 2013; Salvalaggio et al., 2017; López Lambertini, 2018).

El objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia de PVY, PLRV, PVX y TSWV y la ocurrencia de infecciones mixtas entre estos virus en áreas de producción de papa para consumo e industria y papa-semilla del sudeste de Buenos Aires durante las campañas 2013-2014 a la 2018-2019. Además, analizar el progreso de los niveles de infección para estos virus y la tendencia de las categorías de certificación de papa-semilla establecidas por el INASE producidas en el área diferenciada del Sudeste Bonaerense en los últimos 35 años. El conocimiento de la situación epidemiológica de PVY, PLRV, PVX y TSWV, en la mayor zona productora de papa de la Argentina, aportará información para el diseño de estrategias de manejo de las enfermedades que ocasionan estos virus.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de los tubérculos de papa

Los tubérculos de papa correspondientes a 107 lotes con destino para producción e industria (designados categoría producción) fueron recolectados por 47 productores del su-

deste de Buenos Aires a lo largo de las campañas 2013-2014, 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019. Las muestras de los tubérculos fueron recibidas en el Laboratorio de Análisis de Papa Semilla de la EEA INTA Balcarce para su evaluación de sanidad. Cada productor entregó al Laboratorio entre 85 y 90 tubérculos en poscosecha seleccionados según el siguiente protocolo: recorrer el lote formando una W, asignar 10 puntos de muestreos en el total del recorrido y en cada uno de esos puntos recolectar al menos 10 tubérculos. Los tubérculos de papa correspondientes a 41 lotes de seis productores con destino para producción de papa-semilla (designada categoría papa-semilla) fueron colectados por técnicos oficiales del INASE para su fiscalización. De cada lote del área diferenciada de producción de semilla del sudeste de Buenos Aires, se seleccionaron al azar, entre 85 y 90 tubérculos en poscosecha correspondientes a las campañas 2013-2014, 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019. Luego, estos tubérculos fueron brotados y analizados serológicamente para la detección de PVY, PLRV, PVX y TSWV.

Acondicionamiento y tratamiento de los tubérculos

Los tubérculos recibidos fueron acondicionados, es decir, lavados con agua, cepillados y secados. Luego, se los trató con Rindite (2-cloroetanol, 1,2-dicloroetanol y tetracloruro de carbono en una relación de 7:3:1) para estimular el proceso de dormición y fueron mantenidos en cámara a 22 °C con humedad relativa superior al 70%, con el fin de promover su brotación. Al cabo de 21 días, el brote apical fue extraído con un sacabocado (cuchara de melón) y plantado en macetas con suelo estéril, en un invernadero libre de insectos. Cuando las plántulas alcanzaron el estado de tres a cinco hojas, se tomó la que poseía el primer folíolo completamente expandido y se procedió al análisis serológico para detectar la presencia de PVY, PLRV, PVX y TSWV.

Detección mediante DAS-ELISA de los virus que infectan papa

Las muestras del primer folíolo se analizaron para detectar la infección con PVY, PLRV, PVX y TSWV mediante DAS-ELISA, utilizando antisueros comerciales (Bioreba). Se siguió el protocolo de DAS-ELISA descrito por el proveedor de los antisueros (Bioreba), con las modificaciones que se describen a continuación. Las reacciones se realizaron empleando un volumen final de 100 µl. La dilución de IgG anti-PVY y anti-TSWV fue de 1:2000 (v/v), establecida de acuerdo a una calibración previa. La dilución de IgG para PLRV y PVX fue la recomendada por el proveedor, es decir, 1:1000 (v/v). El tejido vegetal se maceró en tampón de extracción en una dilución 1:10 a 1:20 (p/v). En cada placa se completaron dos celdas con controles positivos, tres celdas con controles negativos (plantas sanas) y una celda con el blanco de reacción. Las placas se incubaron a 4-6 °C durante toda la noche (16 horas). Luego, se adicionó la IgG conjugada con la enzima fosfatasa alcalina en las mismas diluciones que las mencionadas anteriormente para las IgG y las placas se incubaron a 35 °C durante 3 horas. Posteriormente se añadieron 100 µl del sustrato (p-nitrofenilfosfato), utilizando una dilución de 1:1000 (concentración de 1 mg/mL). Las placas se incubaron a temperatura ambiente (18-25 °C) en oscuridad y luego de 30 minutos para TSWV, 60 minutos para PVY y PVX y 120 minutos para PLRV, se leyeron las absorbancias a 405 nm de longitud de onda (A405) mediante un lector de microplacas (Tecan, Sunrise). Se consideraron positivas las muestras cuyos valores de A405 resultaron mayores a tres

veces la media de absorbancia de los controles sanos más tres desviaciones estándares, de acuerdo a lo que establece la normativa de INASE, Resolución 428/2015. El diagnóstico de virus de cada planta fue registrado identificando el lote de procedencia y el destino de producción (producción: consumo e industria o papa-semilla).

Análisis de los datos

Para cada planta brotada se determinó el estado sanitario como sano o infectado, clasificando estas últimas como infecciones simples o mixtas, según se hubiera diagnosticado con un solo virus o más de uno. La incidencia para cada virus en ambas categorías (producción y papa-semilla) se calculó como el número de plantas infectadas (diagnóstico positivo por DAS-ELISA) sobre el total de plantas brotadas para cada campaña agrícola (2013-2014 a la 2018-2019). Para las muestras de la categoría producción no se realizó el diagnóstico de PVX. Se realizó una prueba chi-cuadrado para determinar diferencias estadísticamente significativas de la incidencia determinada entre las categorías, dentro de una misma campaña agrícola, para cada virus, con empleo del paquete estadístico InfoStat (Di Renzo *et al.*, 2019). La variabilidad interanual se evaluó mediante la prueba de Cochran-Mantel-Haenszel. Para describir la contribución relativa de cada virus sobre el total de plantas infectadas (diagnóstico positivo por DAS-ELISA) se estimó la incidencia relativa de PVY, PLRV y TSWV. Además, se identificó la incidencia relativa de PVY, PLRV, TSWV según se encontrara conformando infecciones simples o mixtas con dos o más virus para cada categoría.

Para cumplir con el tercer objetivo se recopiló y analizó la información del nivel de infección de PVY, PLRV y PVX, es decir, el porcentaje de tubérculos infectados con cada virus. La recopilación se realizó a partir de publicaciones del INASE, de los registros del SENASE (Servicio Nacional de Semillas) y de la oficina del INASE Balcarce correspondientes al área diferenciada de producción de papa-semilla del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Por una parte, los niveles de infección de PVY,

PLRV y PVX determinados en el Laboratorio de análisis de Papa-Semilla de la EEA Balcarce fueron considerados como parte de los datos informados por INASE. Por otra parte, los resultados de los niveles de infección de TSWV se obtuvieron de los registros del Laboratorio de análisis de Papa-Semilla de INTA EEA Balcarce.

RESULTADOS

A partir de los 107 lotes de consumo-industria y de los 41 lotes de papa-semilla se obtuvieron 7616 y 3957 plantas a partir de los tubérculos brotados de cada muestra correspondientes a las distintas categorías según destino, respectivamente. En la categoría producción el virus con mayor incidencia fue PVY para las campañas evaluadas del 2013-2014 al 2018-2019. PLRV presentó una incidencia más baja respecto a la de PVY. En máximo valor de incidencia de PLRV fue del 0,2% y se detectó en la campaña 2013-2014. No se detectaron infecciones con PLRV en la campaña 2017-2018 y 2018-2019 (tabla 1). TSWV estuvo presente en todas las campañas analizadas, con una incidencia máxima del 0,9% en la campaña 2013-2014 (tabla 1).

Con respecto a la categoría papa-semilla, los valores de incidencia más altos registrados para PVY fueron en 2013-2014, mientras que para PLRV y TSWV eso ocurrió en la campaña 2016-2017 (tabla 1). Aunque se analizaron las plantas de esta categoría para PVX, este patógeno nunca fue detectado (tabla 1).

Se observó una variabilidad del porcentaje de incidencia de PVY, PLRV y TSWV en las distintas campañas evaluadas para ambas categorías (tabla 1). Para todas las campañas, excepto para 2013-2014, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la incidencia de cada virus entre las categorías producción y papa-semilla (valor $p < 0,005$) (tabla 1).

En la figura 1 se observa la incidencia relativa entre PVY, PLRV y TSWV por campaña y categoría. En general, PVY presentó las mayores incidencias relativas en relación con el PLRV y TSWV en los distintos años y categorías. Sin embargo, en la campaña

Categoría según destino	Campaña agrícola	PVY	PLRV	PVX	TSWV
		[%]	[%]	[%]	[%]
Producción (n=7616)	2013-2014	10,5584 a	0,2030 a	ND	0,9137 a
	2015-2016	12,5770	0,1319	ND	0,2199
	2016-2017	4,7377 a	0,0564 a	ND	0,3384 a
	2017-2018	6,5250 a	0	ND	0,4552 a
	2018-2019	17,6277 a	0	ND	0,1647 a
Papa-semilla (n=3957)	2013-2014	5,7471 a	0,0000 a	0	1,1494 a
	2015-2016	ND	ND	ND	ND
	2016-2017	0,3333 b	0,8889 b	0	2,3333 b
	2017-2018	0,0000 b	0	0	0,0000 b
	2018-2019	0,0585 b	0	0	0,0000 a

Tabla 1. Incidencia de PVY, PLRV, PVX y TSWV en muestras de papa para las categorías producción y papa-semilla del sudeste de Buenos Aires para las campañas 2013-2014 al 2018-2019.

ND: Sin dato porque no se analizó el virus o por ausencia de muestras. Letras distintas entre categorías para una misma campaña, por virus, indican diferencias estadísticamente significativas (valor $p < 0,005$).

2016-2017 para papa-semilla, TSWV y PLRV presentaron mayores valores en relación con el PVY.

Se encontraron infecciones mixtas dobles en todas las combinaciones PVY-PLRV, PVY-TSWV y PLRV-TSWV para la categoría producción (tabla 2). Con respecto a la categoría papa-semilla, se encontraron infecciones mixtas dobles (PVY-TSWV y PLRV-TSWV) e infecciones triples entre PVY, PLRV y TSWV (tabla 3). Las infecciones simples fueron más frecuentes que las infecciones mixtas para ambas categorías (tabla 2 y 3).

En las figuras 2, 3 y 4 se observan los niveles de infección de PVY, PLRV y PVX informados por el INASE junto con los resultados de diagnóstico realizados en el Laboratorio de análisis de papa-semilla de la EEA Balcarce, correspondientes al área diferenciada de producción del Sudeste Bonaerense. En general, en esta región se observó una disminución del nivel de infección de PVY desde la primera campaña hasta la actual. A partir de la campaña 1985-1986 hasta 2003-2004, los niveles de infección de PVY fueron superiores al 6%, lo que correspondió a categoría de Certificada con su subcategoría Certificada. Desde 2004-2005 los niveles de infección de PVY resultaron superiores al 2%, clasificando como papa-semilla Certificada subcategoría Registrada. Sin embargo, diez años después, es decir, a partir del 2015-2016, los niveles de infección fueron menores al 2%, y la papa-semilla se clasificó en la categoría Básica, subcategorías de Pre-fundación hasta Inicial III.

En cuanto a la situación de PLRV, también se observa una marcada disminución en los niveles de infección desde la primera campaña que se reporta en este trabajo hasta la campaña actual. Desde 1985-1986 hasta 1989-1990, los niveles de infección de este virus resultaron superiores al 1%, pero menores al 6%,

valores que tienen correspondencia con la categoría Básica, subcategoría Fundación y Prefundación. Luego de la campaña 1990-1991 hasta la de 1994-1995, los niveles de infección fueron mayores al 0,2%, categorizando como semilla en Básica, subcategorías Inicial III e Inicial II. A partir de la campaña 2001-2002 hasta la actual, en general, los niveles de infección fueron menores al 0,2%, y la papa-semilla se clasificó entonces en la categoría Básica Inicial I. Cabe destacar que en 2016-2017, el pico superior al 0,6% en el nivel de infección para PLRV, obtenido a partir de los análisis del Laboratorio de la EEA Balcarce, se debió a que se incluyó una muestra de un lote que, si bien quedó fuera del proceso de fiscalización debido a que superaba los niveles de tolerancia de virus establecidos por el INASE, se consideró en el presente estudio para el análisis de las infecciones mixtas (figura 3).

En general para PVX se observa una marcada disminución de los niveles de infección hasta no ser detectado en varias campañas (figura 4). Los registros de 1985-1986 hasta los de 1990-1991 muestran niveles superiores al 15%, por lo que no categorizaron según lo establecido por el INASE. A partir de 1991-1992, los lotes alcanzaron la categoría de certificadas con un nivel de infección del 8,7%. Luego, el nivel de infección decrece y se llega a la categoría Básica II. A partir de la campaña 2001-2002 hasta la actualidad no se registraron niveles de infección del PVX salvo en 2009-2010, con un valor de 0,07%.

Los niveles de infección de TSWV fueron superiores al 1% en la campaña 2013-2014, y dieron lugar a la categoría Pre-fundación. En 2016-2017, el valor de infección del 2,3%, correspondió a una categoría de Certificada y subcategoría Registrada. En las campañas 2017-2018 y 2018-2019 no se detectó este virus, por lo que se alcanzó la categoría inicial I (figura 5).

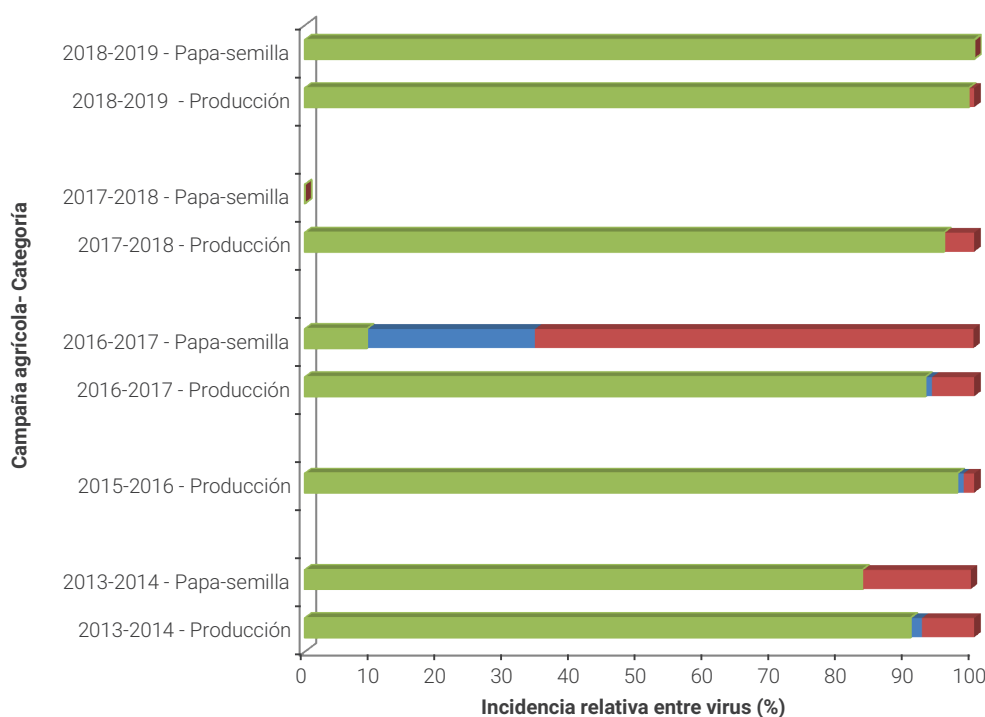


Figura 1. Incidencia relativa entre PVY (verde), PLRV (azul) y TSWV (rojo) por campañas y categorías producción y papa-semilla del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Para cada campaña y categoría solo de consideraron las plantas positivas por DAS-ELISA. No hay resultados de incidencia relativa para papa-semilla para la campaña 2015-2016.

Campaña agrícola*	Infección simple			Infección doble		
	PVY	PLRV	TSWV	PVY-PLRV	PVY-TSWV	PLRV-TSWV
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2013-2014	89,6	0,0	6,7	1,7	0,0	1,7
2015-2016	97,3	1,0	1,7	0,0	0,0	0,0
2016-2017	92,3	1,1	6,6	0,0	0,0	0,0
2017-2018	88,4	0,0	1,4	0,0	10,1	0,0
2018-2019	99,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0

Tabla 2. Incidencia relativa de PVY, PLRV y TSWV de las plantas positivas por DAS-ELISA según se encuentren en infecciones simples o mixtas para cada campaña agrícola en la categoría consumo-industria en el Sudeste Bonaerense.

Campaña agrícola	Infección simple*				Infección doble*		Infección triple
	PVY	PLRV	PVX	TSWV	PVY-TSWV	PLRV-TSWV	PVY-PLRV-TSWV
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2013-2014	83,3	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0
2016-2017	3,1	12,5	0,0	50,0	6,2	18,7	9,4
2017-2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2018-2019	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 3. Incidencia relativa de PVY, PLRV y TSWV de las plantas positivas por DAS-ELISA según se encuentren en infecciones simples y mixtas en cada campaña agrícola en la categoría papa-semillas en el Sudeste Bonaerense.

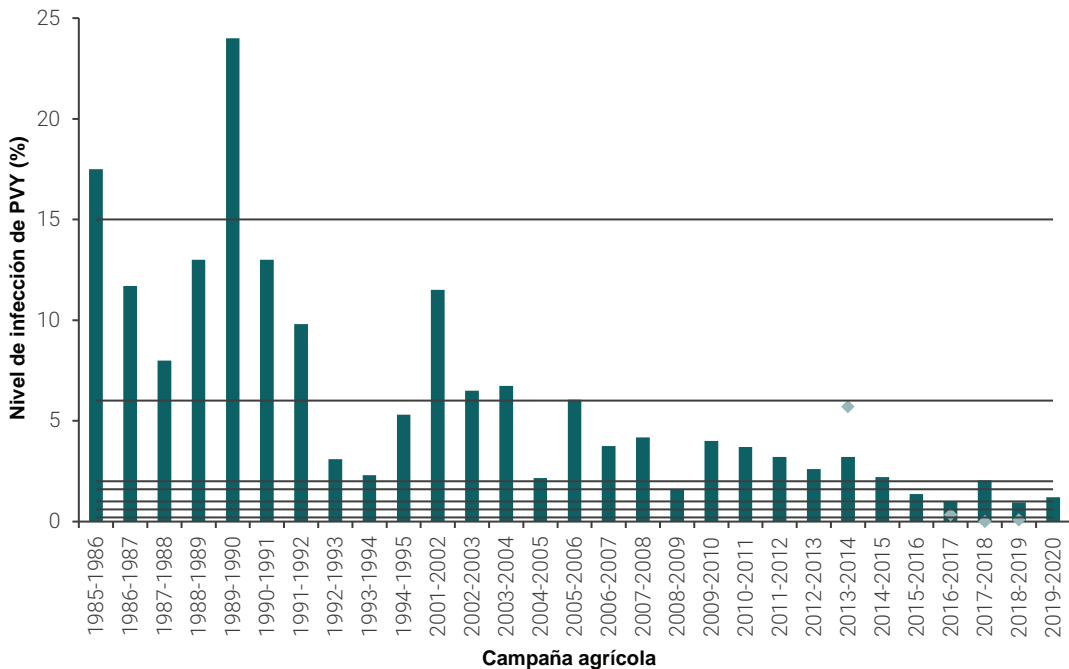


Figura 2. Nivel de infección de PVY en papa-semilla desde la campaña 1985-1986 hasta la 1994-1995 y de la 2001-2002 hasta la 2019-2020 producida en el área diferenciada del Sudeste Bonaerense, datos de INASE (barras verde oscuro), datos del Laboratorio de análisis de papa semilla de la EEA Balcarce, INTA (puntos verde claro). Las líneas horizontales señalan los límites de tolerancia (porcentaje de tubérculos afectados) para virus definidos por el INASE para cada categoría de fiscalización: para las Básicas: Inicial I (0,2%); Inicial II (0,6%); Inicial III (1%); Pre-fundación (1,6%) y Fundación (2%) y para las Certificadas: Registrada (6%) y Certificada (15%) de acuerdo a la Resolución 2017/2002 de INASE.

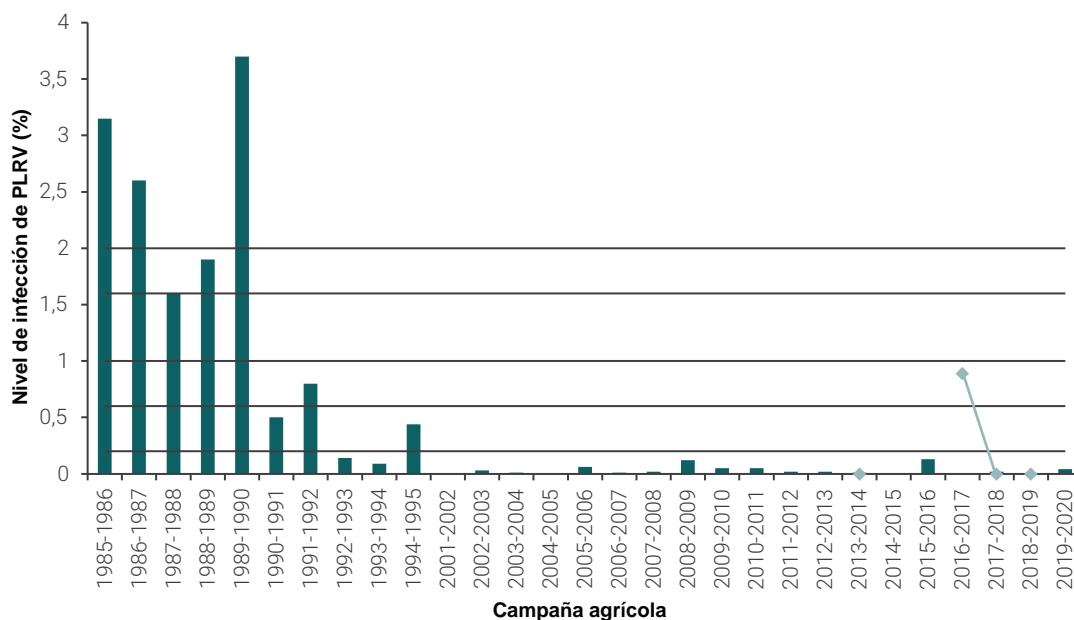


Figura 3. Nivel de infección de PLRV en papa-semilla desde la campaña 1985-1986 hasta la 1994-1995 y de la 2001-2002 hasta la 2019-2020 producida en el área diferenciada del Sudeste Bonaerense, datos de INASE (barras verde oscuro), datos del Laboratorio de análisis de papa-semilla de la EEA Balcarce, INTA (puntos verde claro). Las líneas horizontales señalan los límites de tolerancia (porcentaje de tubérculos afectados) para virus definidos por el INASE para cada categoría de fiscalización: para las Básicas: Inicial I (0,2%); Inicial II (0,6%); Inicial III (1%); Prefundación (1,6%) y Fundación (2%) y para las Certificadas: Registrada (6%) y Certificada (15%) de acuerdo a la Resolución 2017/2002 de INASE.

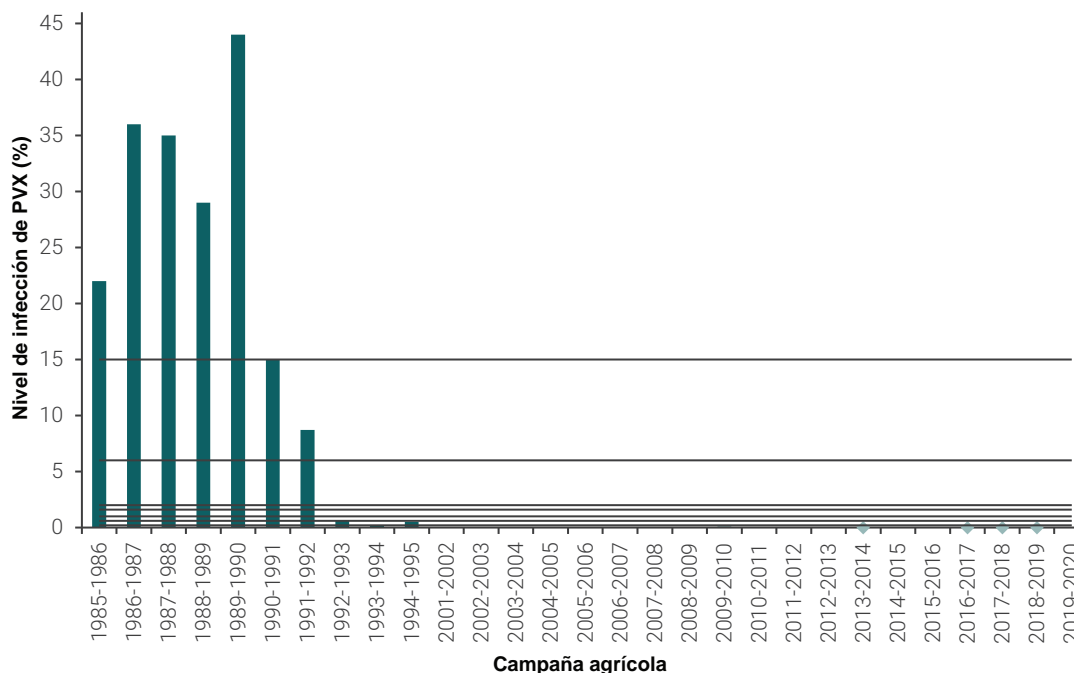


Figura 4. Nivel de infección de PVX en papa-semilla desde la campaña 1985-1986 hasta la 1994-1995 y de la 2001-2002 hasta la 2019-2020 producida en el área diferenciada del Sudeste Bonaerense, datos de INASE (barras verde oscuro), datos del Laboratorio de análisis de papa-semilla de la EEA Balcarce, INTA (puntos verde claro). Las líneas horizontales señalan los límites de tolerancia (porcentaje de tubérculos afectados) para virus definidos por el INASE para cada categoría de fiscalización: para las Básicas: Inicial I (0,2%); Inicial II (0,6%); Inicial III (1%); Prefundación (1,6%) y Fundación (2%) y para las Certificadas: Registrada (6%) y Certificada (15%) de acuerdo a la Resolución 2017/2002 de INASE.

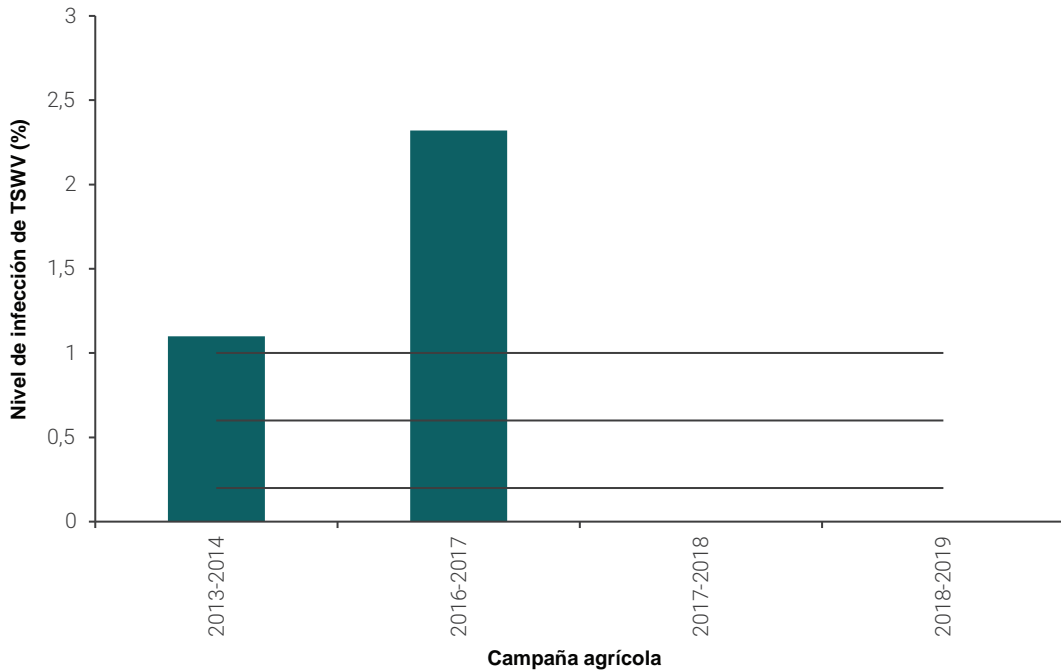


Figura 5. Niveles de infección de TSWV en papa-semilla de las campañas 2013-2014, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 en el área diferenciada del sudeste de la provincia de Buenos Aires, determinados por el Laboratorio de análisis de papa-semilla de la EEA Balcarce. Las líneas grises sobre el eje x indican los límites de tolerancia para TSWV, según el protocolo de producción de papa-semilla propuesto por la Mesa Provincial de la papa, que es de 1%, para la campaña 2017-2018, de 0,5% la campaña 2018-2019 y de 0,2%, para las siguientes campañas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio, PVY fue el virus con mayor incidencia en las categorías producción y papa-semilla del Sudeste Bonaerense, hecho coincidente con lo reportado en otras zonas productoras de papa a nivel mundial (Hossain, 1999; Wolf y Horvath, 2000; Crosslin *et al.*, 2006; Medina Cárdenas *et al.*, 2015; Ciric *et al.*, 2018; Kreuze *et al.*, 2020). La incidencia de PVY en el cultivo de papa varió desde el 4,7% al 17,6% para la categoría producción y del 0,05% al 5,7%, para la categoría papa-semilla en las distintas campañas evaluadas (tabla 1). Se observó una disminución de la incidencia de PVY en papa-semilla en las últimas campañas mientras que los valores de incidencia oscilaron y fueron más elevados en producción (tabla 1). Existen algunas prácticas que favorecen la presencia y dispersión de PVY en los lotes para consumo e industria a pesar del incremento de la sanidad de la papa-semilla utilizada que proviene del área diferenciada del sudeste de Buenos Aires. Ante la escasez de papa-semilla algunos pequeños productores de papa consumo emplean como simiente el "semillón" (papa descartada para la comercialización por el tamaño), que no cumple con los requisitos sanitarios, por lo tanto se convierte en una fuente de inóculo y de dispersión de los virus. Otra explicación podría ser la acción ineficiente de los insecticidas para controlar a los áfidos debido al tipo de transmisión no persistente del PVY (Jones, 2014). Una medida fitosanitaria que podría disminuir la incidencia del PVY es el monitoreo y eliminación de plantas de papas espontáneas de cultivos anteriores debido a su rol como fuente de inóculo de virus y refugio del vector.

En este trabajo se reportó una menor incidencia de PLRV en relación con el PVY para la región productora del sudeste de Buenos Aires. Existen otros reportes en la bibliografía en donde también se observa esta relación entre PLRV y PVY como en algunas zonas de Bangladesh (Halim, 1999; Sarker *et al.*, 2018), en el Líbano (Choueiri *et al.*, 2004) y en Kenia (Were *et al.*, 2013).

TSWV estuvo presente en todas las campañas evaluadas en este estudio en papa consumo e industria con valores de incidencia entre 0,1% a un 0,9%, mientras que en papa-semilla solo se detectó en las campañas 2013-2014 y 2016-2017. La presencia de TSWV en la zona de producción de papa consumo e industria en el Sudeste Bonaerense podría deberse a varios factores. Un estudio de la dinámica espacial y temporal de TSWV en esta región demostró que la enfermedad es policíclica, caracterizada por repetidos ciclos de infección de TSWV y el rol de *Frankliniella occidentalis* durante la floración del cultivo (Salvaggio *et al.*, 2017). Hay antecedentes sobre la mayor eficiencia en la transmisión de TSWV de esta especie de trips (Sakurai *et al.*, 2002; Nagata *et al.*, 2004). Además, se han reportado a otros cultivos, plantas nativas y malezas como fuente de inóculo de TSWV y hospedantes de los trips (Gracia *et al.*, 1999; Carrizo, 2002). Una medida que podría evitar la dispersión y la reinfección con TSWV del cultivo es a través de un estricto monitoreo y control del trips en el cultivo de papa.

Se observó una fluctuación interanual de los valores de incidencia para PVY, PLRV y TSWV en ambas categorías lo que puede estar relacionado con los factores climáticos. Singh *et al.* (1988) reportaron que la transmisión de PVY y PLRV se in-

crementan en un 30-35% cuando se combina una alta humedad relativa (80%) con altas temperaturas (25-30 °C). En el caso de TSWV, para el cultivo de papa en Australia, se han determinado efectos negativos en las poblaciones de trips y ausencia de la enfermedad en áreas con predominio de precipitaciones y alta humedad relativa. Pero en zonas de temperaturas más altas y menores precipitaciones se presentaban brotes de TSWV de manera más frecuente y severas (Jericho y Wilson, 2005).

Los porcentajes de infecciones mixtas entre PVY, PLRV y TSWV fueron bajos; fueron más frecuentes las infecciones dobles que triples para las dos categorías, consumo-industria y papa-semilla (tabla 2 y 3). Las infecciones mixtas más frecuentes consistieron en coinfección de TSWV con PVY o PLRV y en infecciones triples entre estos virus (tabla 2 y 3). Se cita que no hay antecedentes del tipo de interacción entre TSWV con PVY o PLRV en papa (Moreno y López-Moya 2019). Este trabajo es el primer reporte de infecciones mixtas entre PVY, PLRV y TSWV en Argentina.

Del análisis de los niveles de infección para PVY, PLRV, PVX y TSWV a lo largo de las campañas se observó una disminución de estos en el área diferenciada para la producción de papa-semilla del Sudeste Bonaerense. Actualmente, la categoría de la papa-semilla es Inicial III para PVY, Inicial I para PLRV, PVX y TSWV (figuras 2, 3, 4 y 5). Es importante señalar que no se detectó PVX en papa-semilla desde 2010. Una medida fitosanitaria que pudo contribuir a la casi eliminación de este virus en esta región es la incorporación de plantadoras de cangilones de cortes de papa-semilla que evitan la contaminación y transmisión de PVX por contacto. Además, estos resultados muestran los beneficios de la adopción del uso de papa-semilla con bajos niveles de infección viral. Otra medida que favoreció la calidad sanitaria de la papa-semilla en esta zona es la renovación de la semilla prebásica (minitubérculos) al no multiplicarse por más de tres ciclos. Otra medida que aporta al aumento de la sanidad de la papa-semilla en el área de producción del Sudeste Bonaerense es la práctica del "roguing", la cual consiste en evaluar visualmente plantas con síntomas posibles de ser ocasionados por virus por una cuadrilla de personal entrenado para su erradicación en las primeras etapas del cultivo antes de la visita del inspector del INASE. Esta práctica es común y permite que lotes de papa-semillas que serían rechazados puedan volverse a evaluar para certificar las papa-semillas que se producen en dicho lote. Esta práctica también es común en EE. UU. y en Canadá (Gray *et al.*, 2010). Estas medidas fitosanitarias fueron acompañadas por legislación, normativas y una entidad de fiscalización como el INASE a lo largo del tiempo. La primera normativa se enmarca en la Resolución N° 217/1999 y en su modificatorio del 2002 de la Ex Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA.) Luego, en el 2016, se estableció que solo se podía plantar semilla básica de papa de categoría Inicial III o categorías superiores con un nivel de infección viral total menor al 1% (Resolución del Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires del 27 de julio de 2016). La "semilla" que no cumple con los requisitos formales de sanidad representa una fuente de inóculo inicial importante para la producción de papa y favorece la dispersión de los virus. Un suceso importante fue la reactivación, en el 2016, de la Mesa Provincial de la Papa, en la que hay representantes del Ministerio de Agroindustria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Asociación de Productores de Papa Semilla de la Provincia de Buenos Aires (APPASBA), Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), INASE, Facultad de Ciencias

Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Industrias procesadoras, Federación Nacional de Productores de Papa (FENNAP), Laboratorios de análisis de papa-semilla tanto de los referentes de los municipios de los partidos productores de papa como de los agricultores. Uno de los objetivos de esta mesa fue elaborar un protocolo de producción de papa-semilla por una comisión designada. La finalidad es permitir una trazabilidad y denominación de origen para reducir los riesgos sanitarios, a los efectos de aumentar el número de multiplicaciones posibles, reducir los costos de producción y mejorar la competitividad en el mercado internacional para favorecer las exportaciones de papa-semilla. Como resultado del trabajo mancomunado de los actores antes mencionados y con el compromiso de los productores, en el año 2017, se llegó al siguiente acuerdo: el lote seleccionado para la producción deberá tener una rotación mínima de cinco años de papa y estar libre de papas espontáneas; el productor deberá inscribirse en el INASE como semillero y someter sus lotes al proceso de fiscalización, de acuerdo a la Res. 217/2002 del INASE; la papa-semilla para plantar en el área semillera debe ser de categoría básica, subcategoría inicial I a III para PVY, PLRV, PVS y PVX y con niveles de tolerancia para TSWV según los años (1% para 2017-2018, 0,5% para 2018-2019 y 0,2% para los siguientes); no se puede implantar papa-semilla importada ni transgénica.

Por un lado, cabe señalar que la acción integrada de entidades públicas, privadas y productores que adoptaron el protocolo propuesto por la Mesa Provincial de papa, logró que esta área a diferenciada del Sudeste Bonaerense se destaque por su excelencia sanitaria. Por otro lado, se recomienda que en la región de producción de papa para consumo e industria del sudeste de Buenos Aires se deberían fortalecer las medidas de control de PVY y TSWV.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo en el marco del proyecto de INTA 2019-PD-E4-I0181-001 "Generación de reactivos, desarrollo de metodologías, validación y acreditación de ensayos para el diagnóstico de patógenos vegetales". Agradecemos a la Técnica de Laboratorio María Fernanda Riero y a los auxiliares Aldo José Riero y Manuel Abel Gonzalez por su trabajo en el laboratorio y en el invernadero. También, al ing. agr. Juan Pablo Valinote, responsable de la oficina Balcarce de INASE por la información brindada.

BIBLIOGRAFÍA

- BOONHAM, N.; WALSH, K.; PRESTON, S.; NORTH, J.; SMITH, P.; BARKER, I. 2002. The detection of tuber necrotic isolates of *Potato virus Y*, and the accurate discrimination of PVY(O), PVY(N) and PVY(C) strains using RT-PCR. *Journal of virological methods*, 102(1-2), 103-112. [https://doi.org/10.1016/S0166-0934\(02\)00008-3](https://doi.org/10.1016/S0166-0934(02)00008-3).
- BRADLEY, R.H.E. 1954. Studies of the mechanism of transmission of potato virus Y by the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulz.). *Can. J. Zool.* 32:64-73.
- BYARUGABA, A.A.; MUKASA, S.B.; BAREKYE, A.; RUBAIHAYO, P.R. 2020. Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda. *Open Agriculture*, 5(1), 726-739. doi: <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0073>
- CARRIZO, P.I. 2002. Establishing a weed host ranking for thrips vectors of tospovirus in La Plata horticultural belt of Buenos Aires, Argentina. En: MARULLO, R.; MOUND, L.A. (eds.). *Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*. Canberra, Australia.
- CARRIZO, P.; DAL BO, E.; ESCARRÁ, A.; PONCE, D.; CALDIZ, D. 2010. Manejo Integrado de Thrips y TSWV en papa. (Disponible: <http://www.argenpapa>).

com.ar/img/ManejoIntegradodeThripsyTSWVvenPapa2010.pdf verificado: 08 de agosto de 2012).

CHATZIVASSILIOU, E.K. 2008. Management of the spread of Tomato spotted wilt virus in tobacco crops with insecticides based on estimates of thrips infestation and virus incidence. *Plant Disease*: 92:1012-1020.

CHOUERI, E.; EL-ZAMMAR, S.; JREIJIRI, F.; MNAYER, D.; MASSAAD, R.; SAAD, A.T.; HANNA, H.; VARVERI, C. 2004. Phytosanitary status of potato in the Bekaa valley in Lebanon. *EPP/OEPP Bulletin*, 34, 117-121.

CIRIC, S.; CVETKOVIC, G.; STOJKOVIC, S.; GUDŽIC, S. 2018. Detection of PVY, PLRV, and PVX potato viruses in some regions of Serbia. *Comptes Rendus De L'acad'Emie Bulg. Des Sci.* 2018, 71, 567-576.

CLAUSEN, A.M.; COLAVITA, M.; BUTZONITCH, I.; CARRANZA, A.V. 2005. A Potato Collecting Expedition in the Province of Jujuy, Argentina and Disease Indexing of Virus and Fungus Pathogens in Andean Cultivars. *Genetic Resources and Crop Evolution*: 52, 1099-1109. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6131-z>

CLOYD, R.A. 2009. Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) management on ornamental crops grown in greenhouses: have we reached an impasse? *Pest Tech.* 3(1):1-9.

COLAVITA, M.L.; LANCIA, M.; FEINGOLD, S.E.; MASSA, G.A. 2017. Evidence of Recombinant Isolates of Potato Virus Y (PVY) in Argentina. *Am. J. Potato Res.* 94, 275-282. <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9564-y>

CONSTANTINO, S. 2016. Argentina: La producción de semilla de papa fiscalizada alcanzó a 139 mil toneladas durante la campaña 2015/16. *Argenpapa*. (Disponible: <http://argenpapa.com/noticia/3652-argentina-la-produccion-de-semilla-de-papa-fiscalizada-alcanzo-a-139-mil-toneladas-durante-la-campana-2015-16> verificado: 12 de enero de 2017).

CONSTANTINO, S. 2020. Argentina (Buenos Aires): Leve incremento de la superficie con papa en el Sudeste en la campaña 2020. *Argenpapa*. (Disponible: <http://argenpapa.com/noticia/8581-argentina-buenos-aires-leve-incremento-de-la-superficie-con-papa-en-el-sudeste-en-la-campana-2020> verificado: 14 de marzo del 2020).

CROSSLIN, J. M.; HAMM, P.B.; HANE, D.C.; JAEGER, J.; BROWN, C.R.; SHIEL, P.J.; BERGER, P.H.; THORNTON, R.E. 2006. The occurrence of PVY^o, PVY^h, and PVY^{nc} strains of Potato virus Y in certified potato seed lot trials in Washington and Oregon. *Plant Disease*: 90:1102-110

CROSSLIN, J.M.; HAMM, P.B.; EASTWELL, K.C.; THORNTON, R.E.; BROWN, C.R.; CORSINI, D.; SHIEL, P.J.; BERGER, P.H. 2002. First Report of the Necrotic Strain of Potato virus Y (PVY^{nc}) on Potatoes in the Northwestern United States. *Plant Disease*: 86:10, 1177-1177.

CROSSLIN, J.M.; HAMM, P.B.; SHIEL, P.J.; HANE, D.C.; BROWN, C. R.; BERGER, P.H. 2005. Serological and molecular detection of tobacco vein necrosis isolates of *Potato virus Y* (PVY^h) from potatoes grown in the Western United States. *American Journal of Potato Research*: 82, 263-269. <https://doi.org/10.1007/BF02871955>

DEBOKX, J.A. 1972. "Viruses of Potatoes and Seed-Potato Production". Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Países Bajos.

DEVAUX, A.; KROMANN, P.; ORTIZ, O. 2014. Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research* 57, 185-99.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, Y.C. 2019. InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infostat.com.ar> verificado: 20 de agosto de 2019).

DOUGLAS, D.R.; PAVEK, J.J. 1972. Net necrosis of potato tubers associated with primary, secondary, and tertiary infection of leafroll. *American Potato Journal* 49, 330-333. <https://doi.org/10.1007/BF02861776>.

DUPUIS, B. 2017. The movement of potato virus Y (PVY) in the vascular system of potato plants *Eur J Plant Pathol* 147: 365. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1008-5>

ESCARRÁ, A.; VINCINI, A.M.; CALDIZ, D. 2004. Manejo integrado del cultivo: Biología y control de trips. *Del campo a la fábrica*. 4(1):1-4.

FAOSTAT, 2018. Statistical Databases on Global Food Production and Trade. Food and Agriculture Organization, Roma.

GRACIA, O.; DE BORBON, C.M.; DE MILLAN, N.G.; CUESTA, G.V. 1999. Occurrence of Different Tospoviruses in Vegetable Crops in Argentina. *Journal of Phytopathology*, 147: 223-227. doi:10.1046/j.1439-0434.1999.147004223.x

GRAY, S.; DE BOER, S.; LORENZEN, J.; KARASEV, A.; WHITWORTH, J.; NOLTE, P.; SINGH, R.; BOUCHER, A.; XU, H. 2010. *Potato virus Y*: an evolving concern for potato crops in the United States and Canada. *Plant Dis* 94:1384-1397. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-10-0124>

HALIM, M.A. 1999. Serological detection of PLRV and PVY from certified potato seeds and their impact on yield. Thesis of MS in Plant Path. Bangladesh: BSMRAU. 1-80 pp.

HOSSAIN, M.H. 1999. Studies of different aspects of seed tuber infection by PLRV and PVY contributing degeneration of potato. Thesis of MS in Plant Path. Bangladesh: BSMRAU. 128 p.

HUARTE, M.A.; CAPEZIO, S.B. 2013. El cultivo de la Papa. En: CAHUEPÉ, M.; GUTHEIM, F. (ed.). Chapter: Cultivo de papa. *Agricultura y ganadería pampeanas*. 1.a ed., Publisher: EUDEM. 172-202 pp. (Disponible: <http://redepapa.org/2015/02/02/el-cultivo-de-la-papa-en-argentina> verificado: 02 de febrero de 2016).

INASE. 2002. Normas de producción de papa semilla en condiciones controladas y Normas para la fiscalización de papa semilla en campo. Resolución 217. (Disponible: http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_remository&Itemid=102&func=fileinfo&id=869 verificado: mayo de 2015).

INASE. 2013. Producción y fiscalización de semilla de papa en provincia de Buenos Aires. *Boletín Año XI N.º 1*. 20-21 pp.

INASE. 2018. Toda la producción de papa consumo y/o para industria utiliza mucha semilla fiscalizada, el INASE trabaja para que esa semilla llegue a los productores asegurándoles la identidad y calidad. *Oficina Balcarce Revista INASE N.º 5*.

JACOBSEN, B.; VINCINI, A.M.; TULLI, M.C.; CARMONA, D.M.; LOPEZ, R. 2011. *Frankliniella occidentalis* principal transmisor de TSWV: su abundancia y distribución en dos variedades de papa en el sudeste bonaerense. 2.º Congreso Argentino de Fitopatología. Mar del Plata. 251 p.

JACOBSEN, B.; VINCINI, A.M.; TULLI, M.C.; CARMONA, D.M.; LOPEZ, R.A. 2013. Trips transmisores de *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para industria. *Revista Latinoamericana de la Papa*, Vol. 17 (2):73-101.

JERICO, C.; WILSON, C.R. 2005. Management of tomato spotted wilt virus in potatoes. Final Report for the Project HAL PT00019. Tasmania Institute of Agricultural Research, University of Tasmania. 135 p.

JONES, R.A.C. 2014. Virus disease problems facing potato industries worldwide: viruses found, climate change implications, rationalizing virus strain nomenclature and addressing the Potato virus Y issue. The potato: botany, production and uses. CABI, Wallingford. 202-224 pp.

KERLAN, C. 2006. Description of Plant Viruses: Potato virus Y. Association of Applied Biologists. Disponible: <http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=414> verificado: 20 de octubre de 2007).

KHURANA, S.M.P.; SINGH, M.N. 1988. Yield loss potential of potato viruses X and Y in Indian potatoes. *Journal of Indian Potato Association*, 15, 27-29.

KREUZE, J.F.; SOUZA-DIAS, J.A.C.; JEEVALATHA, A.; FIGUEIRA, A.R.; VALKONEN, J.P.T.; JONES, R.A.C. 2020. Viral Diseases in Potato. En: CAMPOS, H.; ORTIZ, O. (eds.). *The Potato Crop*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_11

LE ROMANCER, M.; KERLAN, C.; NEDELLEC, M. 1994. Biological characterization of various geographical isolates of Potato virus Y including superficial necrosis on potato tubers. *Plant Pathology* 43, 138-44.

LOEBENSTEIN, G. 2001. Potato X Virus (PVX; Genus Potexvirus). En: LOEBENSTEIN, G.; BERGER, P.H.; BRUNT, A.A.; LAWSON, R.H. (eds.). *Virus and Virus-like Diseases of Potatoes and Production of Seed-Potatoes*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0842-6_8

LÓPEZ LAMBERTINI, P.M. 2018. Tospovirus y Begomovirus una amenaza fluctuante en papa. XI Congreso Argentino de Horticultura, Córdoba, Argentina. *Horticultura Argentina* 37 (94), 303-304 pp.

MARTÍNEZ, C.V.; GONZÁLEZ, V.; FOGLIATA, G.M. 2014. Prevalencia de virus en muestras de papa de Tucumán y Catamarca. 3.º Congreso Argentino de Fitopatología Libro de Resúmenes: 299. San Miguel de Tucumán. Tucumán.

MEDINA CÁRDENAS, H.C.; GUTIÉRREZ, P.A.; MARÍN, M. 2015. Detección del Potato virus Y (PVY) en tubérculos de papa mediante TAS-ELISA y qRT-PCR en Antioquia, Colombia. *Bioagro*. 2015;27: 83-92.

MONTIAL, I.; BEJARANO, N. 2011. Virus presentes en la variedad collareja de papa andina (*Solanum tuberosum* ssp. andigena) en la Quebrada de Humahuaca. 2.º Congreso Argentino de Fitopatología. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. 155 p.

MORENO, A.B.; LÓPEZ-MOYA, J.J. 2020. When viruses play team sports: Mixed infections in 461 plants. *Phytopathology* 110:29-48.

NAGATA, T.; ALMEIDA, A.C.L.; RESENDE, R.O.; DE ÁVILA, A.C. 2004. The competence of four thrips species to transmit and replicate four tospoviruses. *Plant Pathology*, 53: 136-140.

- NAVARRETE, I.; PANCHI, N.; KROMANN, P.; FORBES, G.; ANDRADE-PIEDRA, J. 2017. Health quality of seed potato and yield losses in Ecuador. *bioRxivArticle 108712*. doi:10.1101/108712
- OGAWA, Y.; TOMITAKA, A.; NAKAGAWA, OHSHIMA, K. 2008. Genetic structure of a population of Potato virus Y inducing potato tuber necrotic ringspot disease in Japan; comparison with North American and European. *Virus Research* 131 (2): 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2007.09.010>
- PINHEIRO, P.V.; WILSON, J.R.; XU, Y.; ZHENG, Y.; REBELO, A.R.; FATTAH-HOSEINI, S.; KRUSE, A.; DOS SILVA, R.S.; XU, Y.; KRAMER, M.; GIOVANNONI, J.; FEI, Z.; GRAY, S.; HECK, M. 2019. Plant viruses transmitted in two different modes produce differing effects on small RNA-mediated processes in their aphid vector. *Phytobiomes J* 3:71-81. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-10-18-0045-R>
- QUINTERO-FERRER, A.; KARASEV, A.V. 2013. First Report of Recombinant *Potato virus Y* Strains in Potato in Jalisco, Mexico. *Plant disease*: 97:3, 430-430.
- RADCLIFFE, E.; RAGSDALE, D. 2002. Aphid-transmitted potato viruses: the importance of understanding vector biology. *Am. J. Potato Res.* 79: 353-386.
- REITZ, S.R. 2009. Biology and ecology of the western flower trips (Thysanoptera: Thripidae): the making of a pest. *Fla. Entomol.* 92(1): 7-13
- SAKURAI, T.; INOUE, T.; MURAI, T. 2002. Intraspecific variation in transmission of TSWV by *Frankliniella occidentalis* result from distinct virus accumulation. En: MARULLO, R.; MOUND, L.A. (eds.). *Trips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*. Eds. Canberra, Australian National Insect Collection. 51-57 pp.
- SALVALAGGIO, A.; LÓPEZ LAMBERTINI, P.; CENDOYA, G.; HUARTE, M. 2017. Temporal and spatial dynamics of *Tomato spotted wilt virus* and its vector in a potato crop in Argentina. *Annals of Applied Biology*, 171: 5-14. doi:10.1111/aab.12357
- SARKER, J.C.; AKANDA, A.M.; KARIM, M.R.; SIKDER, R.K.; UDDIN, A.F.M.J. 2018. Evaluation of the Three Generation of Seed Potatoes to Assess Effects of Degeneration Caused By PVY and PLRV. *Advances in Plants and Agriculture Research* 8(1):00296.
- SERRA, M.C.; WEIDEMANN, H.L. 1997. First Report of Potato Tuber Necrotic Ringspot Disease Caused by PVYNTN in Portugal. *Plant disease, Plant Disease* 81:6, 694-694.
- SINGH, R.P.; KHURANA, S.M.P.; NAGAICH, B.B.; AGRAWAL, H.O. 1988. Environmental factors influencing aphid transmission of potato virus Y and leafroll virus. *Potato Res* 31: 501-509.
- SRINIVASAN, R.; ALVAREZ, J.M. 2007. Effect of Mixed Viral Infections (Potato Virus Y – Potato Leafroll Virus) on Biology and Preference of Vectors *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, Volume 100, Issue 3. 646-655 pp. <https://doi.org/10.1093/jee/100.3.646>
- TOMASSOLI, L.; LUMIA, V.; CERATO, C.; GHEDINI, R. 1998 Occurrence of potato tuber necrotic ring spot disease (PTNRD) in Italy. *Plant disease*, 82:350-350.
- VANCE, V.B. 1991. Replication of potato virus X RNA is altered in coinfections with potato virus Y. *Virology*. Jun; 182(2):486-94. doi: 10.1016/0042-6822(91)90589-4. PMID: 2024486.
- VIOTTI, G.; QUIROGA, M.; MARTINO, C. 2008. Calidad sanitaria de papa semilla utilizada en la provincia de Córdoba. XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa y VI Seminario Latinoamericano de Uso y Comercialización de la Papa. Mar del Plata. 505-506 pp.
- WERE, H.K.; KABIRA, J.N.; KINYUA, Z.M.; OLUBAYO, F.M.; KARINGA, J. K.; AURA, J.; LEES, A.K.; COWAN G.H.; TORRANCE, L. 2013. Occurrence and Distribution of Potato Pests and Diseases in Kenya. *Potato Res.* 56, 325-342. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9246-9>
- WILSON, C.R. 2001. Resistance to infection and translocation of *Tomato spotted wilt virus* in potatoes. *Plant Pathology*. 50: 402-410.
- WOLF, I.; HORVATH, S. 2000. The occurrence of potato Y (PVY) potyvirus strains in potato fields in Hungary. *Novenyvedelem*; 36 (9):449-455.

Impacto de la densidad de siembra en el establecimiento de *Bromus auleticus* Trin ex Nees en un campo natural de Basalto (Uruguay)

Publicado online 06 de abril de 2022

Franco Aquino, R.¹; Jaurena, M.²; Reyno, R.²

RESUMEN

El sobrepastoreo de los campos naturales ha determinado la disminución de especies nativas de alto valor forrajero, como es el caso de *Bromus auleticus* Trin. ex Nees en el bioma Campos. La reintroducción de especies nativas de alto valor forrajero sembradas sobre el campo natural aparece como una tecnología promisoriosa para la recuperación de dichos ambientes. No obstante, no ha sido suficientemente desarrollada principalmente por la falta de semilla comercial de la especie y por falta de información que oriente el manejo de la implantación. En ese sentido, se hace necesario conocer cuál es la densidad de siembra de *Bromus auleticus* más adecuada para lograr la reintroducción de la especie. Se instalan dos experimentos de campo para evaluar el efecto de la densidad de siembra de *Bromus auleticus* sembrado al voleo sobre campo natural en el año 2013 y en el año 2014, en la región de Basalto de Uruguay. Los tratamientos consistieron en diferentes densidades de siembra: 20, 40, 60 y 80 kg ha⁻¹. Con densidades de siembra de hasta 40 kg ha⁻¹ se alcanzaron coeficientes de logro de 17 y 26% a los 120 días postsiembra y niveles de sobrevivencia estival de 60 y 33% en los experimentos 2013 y 2014, respectivamente, obteniéndose al año de siembra 107 y 56 plantas por m⁻² de *Bromus auleticus*, para las siembras 2013 y 2014, respectivamente. Densidades de siembra superiores a 40 kg ha⁻¹ permitieron lograr una mayor cantidad de plantas de *Bromus auleticus* en el período de establecimiento de la pastura, compensando con menores porcentajes de sobrevivencia en el verano.

Palabras clave: especies nativas, logro de plantas, sobrevivencia estival.

ABSTRACT

The overgrazing of natural grasslands has determined the decrease of native species of high forage value, as is the case of *Bromus auleticus* Trin. ex Nees in the Campos biome. The reintroduction of native species of high forage value overseeded into natural grasslands appears as a promising technology for the recovery of these environments. However, has not been sufficiently developed due to the consequence of the absence of commercial seed of the species and the lack of information to guide the establishment management. In this sense, it is necessary to know the sowing rate (kg ha⁻¹) of *Bromus auleticus* necessary to achieve the reintroduction of the species. Two field experiments are installed to assess the effect of the sowing density of *Bromus auleticus* sown into the natural grasslands in 2013 and in 2014, in the Basaltic region of Uruguay. The treatments consisted of different sowing rates: 20, 40, 60 and 80 kg ha⁻¹. With sowing rates up to 40 kg ha⁻¹, achievement coefficients of 17 and 26% were reached at 120 days post-sowing and summer survival percentages of 60 and 33% in the 2013 and 2014 experiments, respectively, obtaining the year of sown 107 and 56 plants per m⁻² of *Bromus auleticus*, for 2013 and 2014 experiments, respectively. Seeding densities greater than 40 kg ha⁻¹ allowed to achieve a greater amount of *Bromus auleticus* plants achieved in the establishment period, compensating with lower percentages of survive during the summer.

Keywords: native species, achievement plants, summer survival.

¹Universidad de la República, Sede Tacuarembó, 45000 Tacuarembó, Departamento de Tacuarembó, Uruguay.

²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Programa Pasturas y Forrajes. Ruta 5, Brigadier Gral. Fructuoso Rivera km 386, Tacuarembó, Uruguay. Correo electrónico: rreyno@inia.org.uy

INTRODUCCIÓN

La reintroducción de especies de alto valor forrajero sembradas sobre el campo natural es una tecnología que permitirá mitigar los impactos negativos que genera la degradación por sobrepastoreo, recuperando la productividad y mejorando el aporte de forraje invernal (Boggiano *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2001). Entre las especies mayormente descritas, la especie nativa *Bromus auleticus* Trin ex Nees, con amplia distribución en Uruguay, sur de Brasil y Argentina (Moraes *et al.*, 2000; Milot, 2001), aparece como una de las más promisorias para la recuperación de campos naturales degradados. Esta especie presenta ventajas comparativas debido a: i) su adaptación a las siembras en coberturas, ii) aporte otoño-invernal, iii) capacidad de resiembra espontánea, iv) alto valor nutricional (digestibilidad y nivel proteico), y v) alta persistencia, estabilidad productiva y tolerancia a los estreses hídricos estivales (Davies, 1990; Oliveira y Moraes, 1993; García, 2003). Sin embargo, a pesar de sus cualidades favorables constituye un factor limitante su lenta implantación inicial, lo que afecta su capacidad de competencia, su sobrevivencia y persistencia futura (Boggiano, 1990; Moraes *et al.*, 2000; Zanoniani *et al.*, 2001).

Entre los factores más importantes que inciden en la instalación de la especie se encuentra la densidad de siembra (Silva *et al.*, 2001; Carámbula, 2003). El incremento en la densidad de siembra, y por ende el número de plantas logradas, permitiría alcanzar producciones más altas y en forma anticipada (Donald, 1963). En la región del bioma Campos han sido escasas las experiencias de siembras en coberturas de gramíneas nativas en suelos superficiales orientadas a la recuperación productiva y ecológica de los campos naturales. En consecuencia, el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra de *Bromus auleticus* en el coeficiente de logro, en el porcentaje de sobrevivencia estival y en el número de plantas establecidas en el año siguiente a la siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en la Unidad Experimental Glencoe en el norte de Uruguay (32° 09' S, 57° 81' O). Se realizaron dos experimentos de campo mediante siembras al voleo sobre un campo natural en un suelo de Basalto (*Litosoles* éutricos, *subéutricos* y *melánicos*). Las estimaciones de cobertura del suelo e identificación de especies fueron realizadas en marzo de 2013 sobre todo el sitio (correspondiente a ambos experimentos), mediante estimación visual sobre una transecta, utilizando un cuadro de 50x50 cm y observaciones equidistantes. Las distintas fracciones corresponden a restos secos 40%, fracción verde 56%, suelo desnudo 2% y piedra 2%. Las 10 principales especies presentes en el sitio eran: *Bothriochloa laguroides* (DC) Herther, *Paspalum notatum* Flüggé, *Schizachyrium spicatum* (Spreng.) Herter, *Coelorhachis selloana* (Hack.) de Koning & Sosef, *Nasella nessiana* (Trin. & Rupr.) Barkworth, *Baccharis coridifolia* DC., *Eragrostis lugens* Nees, *Piptochaetium stipoides* (Trin. & Rupr.) Hack. ex Arechav., *Aristida uruguayensis* Henrard y *Cyperaceae* sp. No se observaron en el sitio plantas nativas de *Bromus auleticus*.

El primer experimento se instaló en mayo del 2013, y luego se repitió en mayo de 2014. Los experimentos se ubicaron en áreas contiguas, no obstante, se detectaron diferencias en la profundidad promedio del suelo: 31 cm y mayor a 50 cm para los experimentos 2013 y 2014, respectivamente. Los valores

obtenidos mediante análisis químico del suelo (Laboratorio de Suelos INIA La Estanzuela, Colonia) fueron los siguientes: pH (H₂O)=6,1 y 5,9; C.Org (%)=4,9 y 6,3; P (µg P/g)=1,8 y 5,5, para los sitios de los experimentos 2013 y 2014, respectivamente. Los datos climáticos fueron aportados por la Unidad de Agro-clima y Sistemas de información del INIA con base en la Estación Meteorológica de Glencoe. Se calculó con los datos climáticos el Porcentaje de Agua Disponible en el suelo (PAD) utilizándose una lámina de 60 y otra de 100 mm para el experimento 2013 y 2014, respectivamente, considerando las características de tipo y profundidad de suelo.

El diseño experimental utilizado en cada experimento fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 10 m² (2x5 m). Los tratamientos consistieron en densidades de siembra de 20, 40, 60 y 80 kg ha⁻¹, con porcentajes de germinación de 74 y 76% y peso de 1000 semillas de 4,0 y 4,2, experimentos 2013 y 2014, respectivamente. La semilla utilizada en los experimentos fue tratada previamente con fungicida TMTD + Carbendazim (0,02 ml kg⁻¹ de semilla) más insecticida Tiamethoxan (0,02 ml kg⁻¹ de semilla). Se utilizó una línea experimental de *Bromus auleticus*, seleccionado a partir de un ecotipo local.

VARIABLES EVALUADAS

Se registró el número de plantas por m² por medio de conteo directo utilizando 3 rectángulos fijos de 0,1 m² en cada unidad experimental, evaluados a los 30, 60, 90, 120 días y 1 año post-siembra para cada experimento. A partir de esta información se determinó: i) el coeficiente de logro (%) calculado como el cociente entre las plantas observadas por m² a los 120 días desde la siembra (120 dps) y el número de semillas viables sembradas por m², y ii) la sobrevivencia estival (%) calculado como el cociente entre el número de plantas presentes al año de siembra y el número de plantas registrado a los 120 días.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un modelo lineal generalizado mixto, el cual fue ajustado usando una distribución Poisson. Los efectos fijos correspondieron al efecto bloque, densidad, momento de conteo (solo para número de plantas) y experimento. El efecto de parcela se modeló como aleatorio. A partir de las interacciones observadas (ausencia de efecto experimento, p=0,3927, ni interacción tratamiento x experimento, p=0,2531) por un lado, se evaluaron para la variable número de plantas ambos experimentos en forma conjunta y la variación de la densidad de siembra y el momento de conteo en forma separada (interacción densidad de siembra x momento de conteo). Por otro lado, para el coeficiente de logros y sobrevivencia estival se analiza con la información de los experimentos en forma separada (interacción con experimento). Los efectos significativos fueron comparados con la prueba de comparaciones de medias LSD de Fisher (α=0,05) sobre las medias ajustadas.

A los efectos de estudiar la relación entre coeficiente de logro y sobrevivencia estival se realizó un análisis de regresión lineal simple utilizando como variable dependiente a la sobrevivencia estival y como variable independiente al coeficiente de logro. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017) con su interfaz con el software R (R Core Team, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

En la figura 1 se puede observar la evolución del porcentaje de agua disponible en el suelo (PAD) y las precipitaciones ocurridas diarias para los dos experimentos particionado por años.

Por una parte, en el período entre la siembra y los 120 días para la experiencia 2013 el PAD se mantuvo por encima del 60% hasta el día 90, momento en el que disminuye por debajo del 50% coincidiendo con el último conteo de plantas. En el experimento 2014, el PAD para el mismo período se mantuvo por encima del 80% a excepción del mes de agosto donde disminuyó a niveles de entre 50 y 60%. El número de heladas registrado en el período de instalación fue de 9 para el experimento 2013 y 15 para el experimento 2014. Por otra parte, en el período crítico estival, para el experimento 2013 se observa una disminución del nivel de PAD al inicio del período, abarcando el mes de diciembre, restableciéndose por el resto del período en niveles entorno al 60%. Diferente fue la situación del experimento 2014, el cual comienza el período estival con altos niveles de PAD y sobre fines de enero y hasta mediados del mes de abril registra una disminución constante y pronunciada de este registro.

Número de plantas de *Bromus auleticus*

Para ambos experimentos en forma conjunta la densidad de siembra presentó efectos significativos ($p < 0,0001$) en el número de plantas de *Bromus auleticus* en los diferentes

momentos de evaluación (figura 2). En las determinaciones realizadas a los 30, 60 y 90 días postsiembra (dps) el número de plantas por m^2 se incrementó en forma significativa ($p < 0,05$) al aumentar la densidad de siembra hasta 60 kg ha^{-1} mientras que a los 120 dps se incrementó hasta la densidad de 80 kg ha^{-1} (figura 2).

Al año postsiembra, el número de plantas por m^2 promedio obtenido para ambos experimentos fue de 23 (4,4), 65 (12,04), 101 (18,4) y 104 (19,3) (los valores entre paréntesis corresponden al error estándar) plantas por m^2 para los tratamientos 20, 40, 60 y 80 kg ha^{-1} , respectivamente. En este último momento de conteo el número de plantas se incrementó hasta la densidad de 40 kg ha^{-1} por encima del cual no existieron aumentos significativos de plantas (figura 2).

Según Carámbula (1996), los efectos que son atribuidos al manejo de las densidades de siembra son todos explicados por la competencia. En ese sentido, Donald (1963) señala que existe una densidad de siembra límite a partir de la cual no hay más aumentos en el número de plantas logradas, lo que responde a un proceso de competencia en un contexto de recursos del ambiente finitos. La cantidad de plantas al año postsiembra alcanzadas a partir de los 40 kg ha^{-1} son superiores al umbral de 40-50 plantas por m^2 destacado, por una parte, por Zanoniani *et al.* (2001) para alcanzar contribuciones importantes al tapiz a partir del macollaje de la especie en cobertura (figura 1). Por otra parte, Vidal *et al.* (1982), en siembras en cobertura de *Bromus auleticus* sobre tapices de campo natural con utilización de disquera superficial obtuvieron al año de siembra 141 plantas por m^2 utilizando

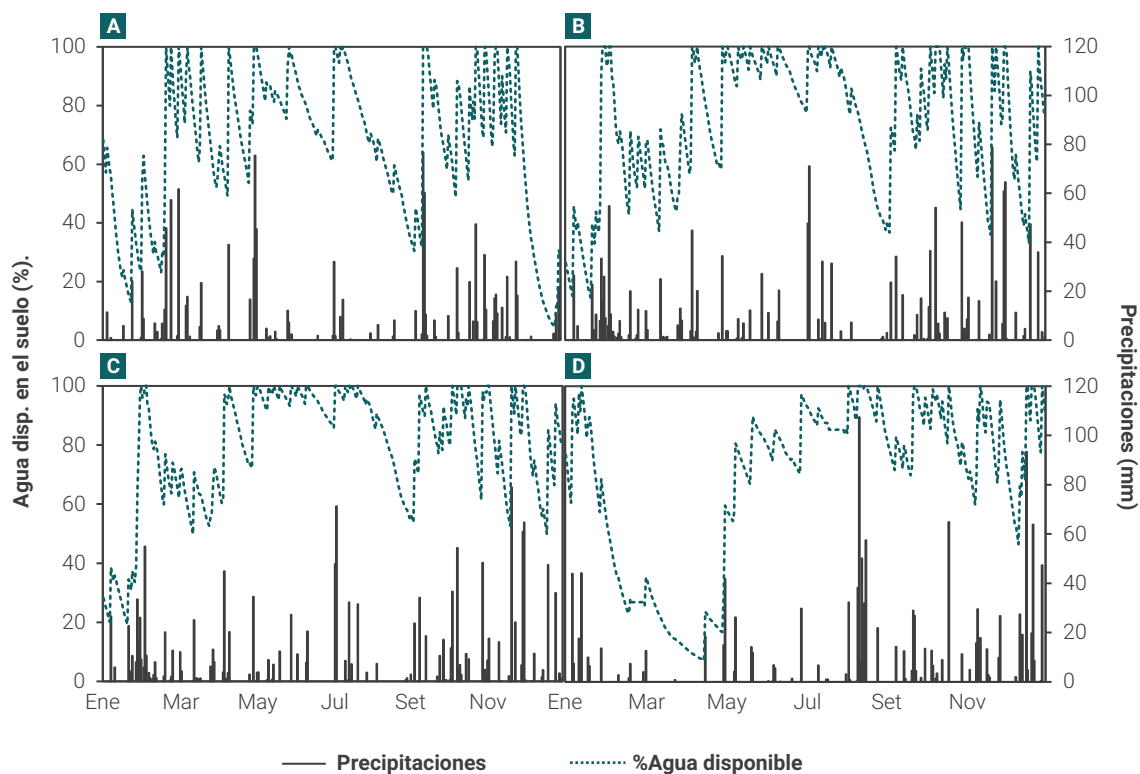


Figura 1. Estimación de agua disponible en el suelo (%) (Eje principal) y precipitaciones (mm) (Eje secundario) según mes del año: A y B correspondientes a los años 2013 y 2014 en el sitio del Experimento 2013, C y D, correspondientes a los años 2014 y 2015 en el sitio del Experimento 2014. Elaborada para la presente edición.

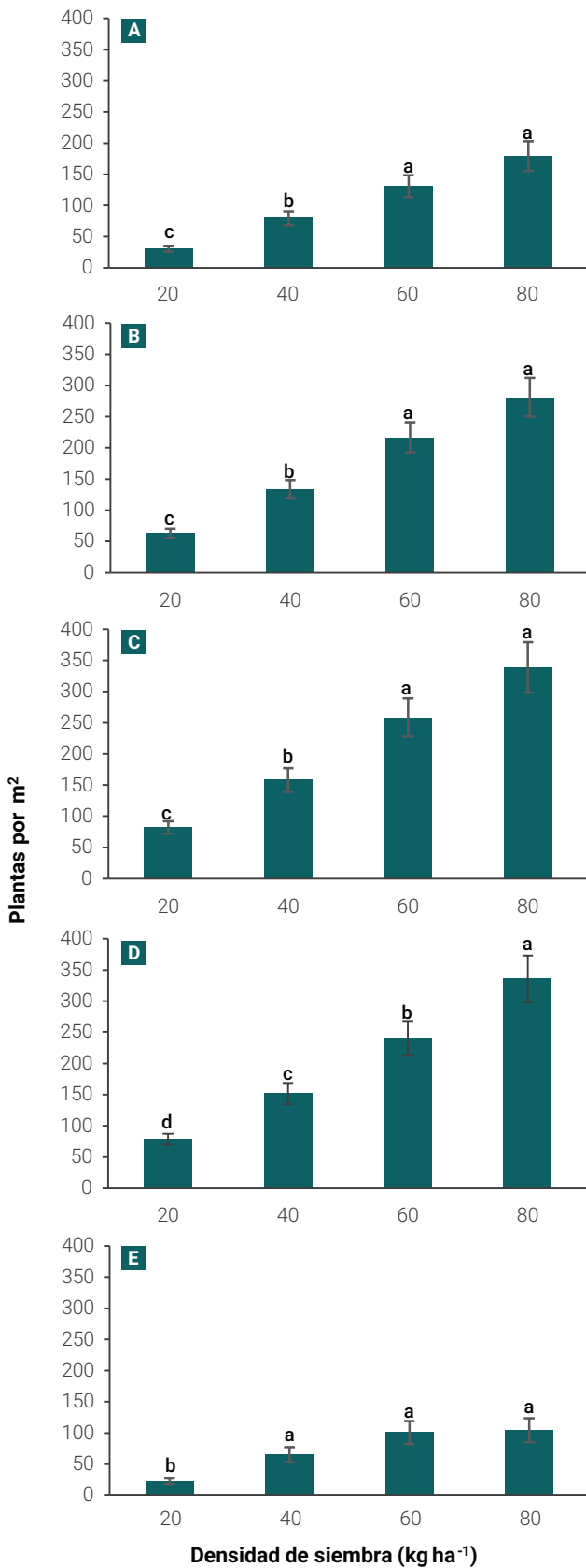


Figura 2. Número de plantas por m² de *Bromus auleticus* según densidad de siembra para 30, 60, 90, 120 Y 365 días desde siembra (A, B, C, D y E, respectivamente) correspondiente a las siembras 2013 y 2014 en forma conjunta. Letras minúsculas diferentes entre medias indican diferencias estadísticas (p<0,05). Elaborada para la presente edición.

30 kg ha⁻¹, las cuales superan los logros de plantas de la presente experiencia.

A partir de los resultados de los experimentos 2013 y 2014 es posible la identificación de un patrón de evolución temporal de la densidad de plantas. Una primera fase en la que aumenta hasta los 90 días, una segunda fase entre los 90 y 120 días en la que permanece constante (20 y 80 kg ha⁻¹) o se mantiene con un número de plantas por m² mayor respecto a la primera fase (40 y 60 kg ha⁻¹) y luego una tercera fase en la que disminuye hasta el año postsiembra (figura 3). El mismo patrón temporal fue observado por Finozzi y Quintana (2000) en suelos de Basalto donde, tanto en suelos superficiales como medios y profundos, registraron una fase de ascenso, otra de estabilización y sobre el verano una de descenso la que coincide con el incremento de temperaturas.

Esta evolución del número de plantas respecto al tiempo se relacionaría con la presencia de requerimientos de frío de la es-

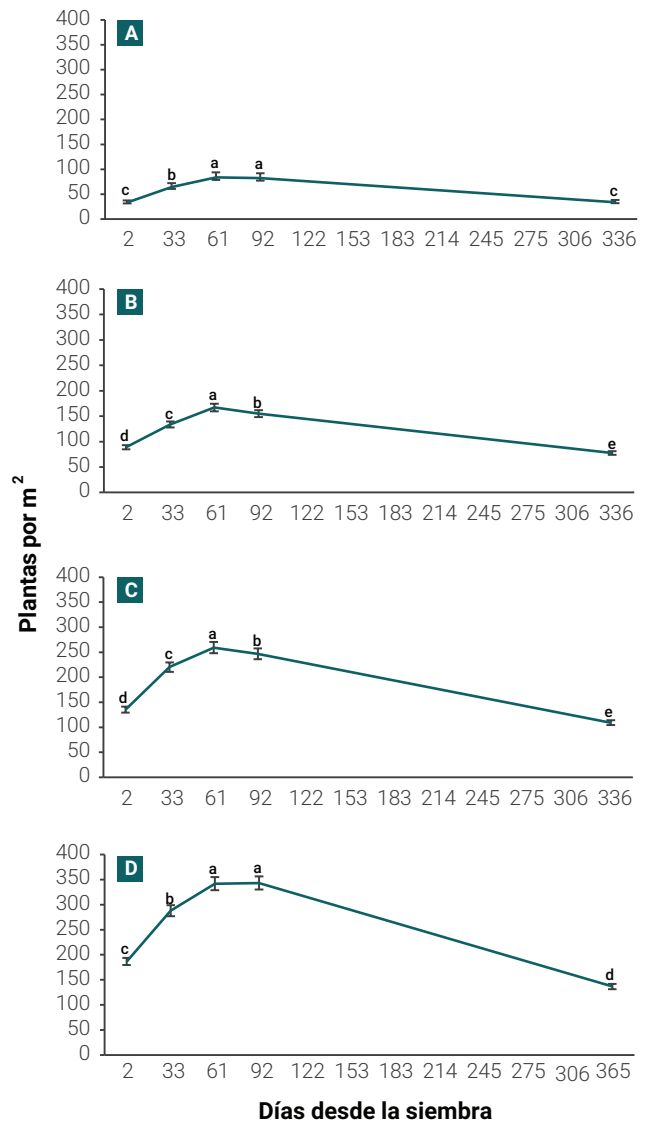


Figura 3. Número de plantas por m² de *Bromus auleticus* según días desde la siembra para las densidades de siembra 20, 40, 60 y 80 kg ha⁻¹ (gráficos A, B, C y D, respectivamente). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas (p<0,05). Elaborada para la presente edición.

pecie para remover la dormancia (Olmos, 1993) y en relación con esto, la presencia de condiciones favorables a medida que se aproxima el invierno que determinan la ocurrencia de tandas germinativas de la especie (Zanoniani *et al.*, 2001). El desarrollo de la pastura en estas etapas iniciales depende por entero de la capacidad de aprovechar el ambiente y el número de plantas en esa etapa tiene estrecha relación con la densidad de siembra (Zappe, 1965, citado por Carámbula, 1996).

Al año de siembra, se observó un significativo descenso en el número de plantas en cada uno de los tratamientos ($p < 0,05$) respecto al conteo previo (120 dps). Si bien no existen observaciones de número de plantas entre el día 120 dps y al año de siembra, a partir de la estimación del agua disponible en el suelo (figura 1) parecería que este descenso del número de plantas se produce acompañando principalmente el descenso en el PAD en cada experimento. Si bien las plantas adultas de *Bromus auleticus* sobreviven adecuadamente a períodos normales de déficit hídricos, el descenso en el número de plantas en el período estival es reportado por diversos autores (Vidal *et al.*, 1982; Zanoniani *et al.*, 2001; Baycé *et al.*, 1981). El verano es el período en el que se daría la mayor competencia intraespecífica, lo que redundaría en un ajuste a la baja de las poblaciones de plantas, además de la competencia interespecífica que se genera con el tapiz del campo natural con alta frecuencia de especies estivales.

Coefficientes de logro de plantas (%) y sobrevivencia estival (%)

En el experimento 2013 se observó un coeficiente de logros a los 120 dps inferior respecto al experimento 2014 (18 vs. 26%, respectivamente) lo que estaría relacionado con las diferencias en el régimen hídrico específicas del mes de agosto a favor del experimento 2014, además de las diferencias en relación con el sitio experimental.

A diferencia de lo ocurrido para el porcentaje de logros, en el caso de la sobrevivencia estival se observaron menores porcentajes ($p < 0,0001$) en el experimento 2014 respecto al experimento 2013. Los porcentajes de sobrevivencia estival para este último fueron de 52% mientras que en el experimento.

Estos resultados se relacionan con el mayor déficit hídrico estival ocurrido en el experimento 2014 con 320 mm menos que el promedio histórico frente a 92 mm de déficit ocurrido para el experimento 2013 y un PAD que se mantiene por debajo del 50% desde el mes de febrero y hasta el mes de abril inclu-

sive (figura 1). Sumado a las condiciones climáticas, siendo el sitio del experimento 2014 de una profundidad superior, la capacidad de competencia del tapiz también estaría aumentando la competencia negativa ejercida sobre las plantas de *Bromus auleticus*.

Para el experimento 2013 se presenta en forma clara un descenso en la sobrevivencia estival en la medida en que aumenta la densidad de siembra (kg ha^{-1} ; $p < 0,0001$) mientras que ese patrón no se corresponde de igual forma en el experimento 2014. Para ampliar la información que permita explicar estos resultados se analiza la asociación de esta variable con el porcentaje de logros a los 120 dps (figura 5). En la figura también se identifican cada una de las siembras.

De acuerdo con Harper (1977) las condiciones abióticas, las interacciones bióticas y la densidad de propágulos son factores claves en el establecimiento de una especie. Es coincidente con Cook (1980), quien concluye que la competencia entre la vegetación residente y las plántulas en desarrollo por nutrientes y humedad, esencialmente severidad y duración de los períodos secos, son los factores determinantes para la supervivencia de las plántulas. En el contexto de este estudio se observó que la densidad de siembra aumenta las poblaciones de plántulas, pero que también existen importantes efectos de interacción biótica. La interacción biótica, entendida como la competencia entre plantas de *Bromus auleticus* en el período estival fue evidenciada por la relación negativa entre logro de plantas en la primavera y sobrevivencia en el verano posterior, encontrada en los dos experimentos (figura 5; $p < 0,004$). Para Harper (1977) la competencia intraespecífica suele ser la más intensa debido a la similitud de requerimientos existente entre individuos de la misma especie, sin embargo entendemos que también la competencia interespecífica con las especies del campo natural ya descritas ha intensificado el proceso de mortalidad de plantas en este contexto.

El número de plantas logrado al año postsiembra aumentó junto con el incremento de la densidad de siembra de 20 a 40 kg ha^{-1} , indicando que el efecto densidad fue parcialmente compensando la disminución de sobrevivencia estival. En contraste, en las densidades mayores (60 y 80 kg ha^{-1}) el efecto de la densidad en el establecimiento de la especie fue neutralizado por esta.

Zanoniani *et al.* (2001) analizando varios experimentos con siembra de *Bromus auleticus* en cobertura encontraron establecimientos entre 4 y 30% para densidades de siembra de 25 kg ha^{-1} , valores similares a los encontrados en esta experiencia. También Baycé *et al.* (1981) en siembras en cobertu-

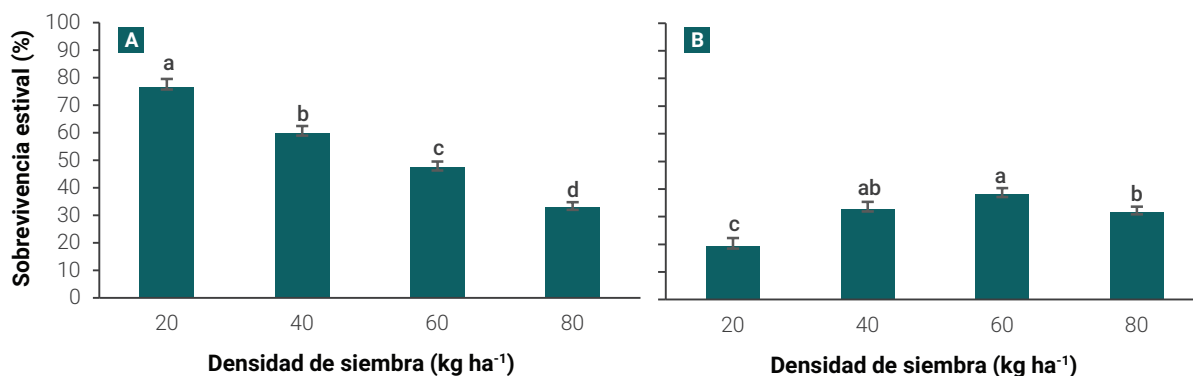


Figura 4. Sobrevivencia estival según densidad de siembra para los experimentos 2013 y 2014 (gráficos A y B, respectivamente). Letras minúsculas diferentes significan diferencias significativas para una misma variable ($p < 0,05$). Elaborada para la presente edición.

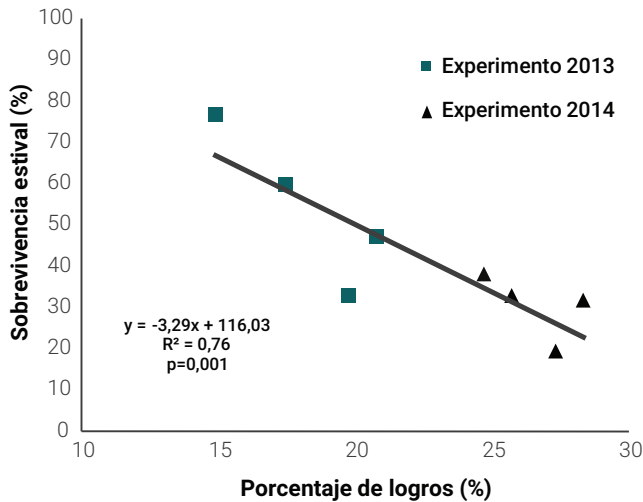


Figura 5. Porcentaje de sobrevivencia estival de *Bromus auleticus*, según el logro de plantas a los 120 días después de la siembra (dps). Elaborada para la presente edición.

ra observaron 20% de plantas persistentes al año. Moliterno *et al.* (2001), en condiciones de siembra convencional libres de vegetación, utilizando dos variedades de *Bromus auleticus* encontraron porcentajes de establecimiento a los 89 dps en Basalto de 55% en densidades altas (41 kg ha⁻¹) y 85% en densidades bajas (15 kg ha⁻¹) las que fueron superiores a esta experiencia. También Moliterno y Rucks (1998) en siembras convencionales encuentran valores de 60% de logros a 52 dps. Estas grandes diferencias entre experimentos anteriores estarían relacionadas con variaciones en la germinación y vigor de las semillas.

Moliterno *et al.* (2001) señalan que el aumento en la cantidad de plantas logradas a través del incremento en la densidad de siembra se da a costas de una disminución en el porcentaje de logros o eficiencia de logro: 80, 60 y 48% para Baja, Media y Alta densidad, que no se observó en esta experiencia. A nuestro conocimiento, este es el primer trabajo que evalúa no solo las relaciones densidad-coeficiente de logro, sino que evalúa también el establecimiento de *Bromus auleticus* hasta el año postsiembra en dos años sucesivos e identifica relaciones de compensación coeficiente de logro-sobrevivencia estival.

Por una parte, los resultados de los presentes experimentos resaltan la importancia del manejo de la densidad de siembra para lograr alto número de plantas y disminuir los riesgos de bajas implantaciones en el período entre la siembra y los 120 días. Por otra parte, en el verano ocurren procesos de competencia entre plantas que modulan la población inhibiendo el efecto de la mayor densidad de siembra. No está claro por qué ocurre este proceso de competencia, en principio podría estar relacionado con las densidades y coeficientes de logros mayores que promueven plantas más débiles, con menor crecimiento radicular. Estas plantas más débiles tendrían que enfrentar la competencia interespecífica con las especies del campo natural las que se encuentran en mejores condiciones relativas de desarrollo para aprovechar la fertilización con N y P, lo que aumenta la capacidad competitiva del tapiz residente así como para enfrentar los efectos abióticos de déficit hídricos y altas temperaturas de verano, y ello explicaría su mayor mortalidad.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que es posible lograr la reintroducción de *Bromus auleticus* en un campo natural de Basalto con diferentes densidades de siembra. En las condiciones de estos experimentos, las plantas de *Bromus auleticus* en una resiembra sobre campo natural aumentan con la densidad de siembra de 20 a 40 kg de semilla (375 a 750 semillas viables por m²). La utilización de 40 kg ha⁻¹ permitió maximizar el número de plantas logradas en el año de siembra. El presente trabajo identifica relaciones negativas entre las plantas logradas en la primavera del año de siembra con su sobrevivencia estival posterior que estaría modulando la población en el establecimiento de la especie al año postsiembra. En estas especies de implantación lenta, el éxito de esta tecnología dependerá no solo de las densidades y tecnologías de siembras que usemos, sino también de las condiciones ambientales a las que se enfrenten esas plántulas durante su primer verano. A partir de estos resultados recomendamos continuar investigando el efecto de las prácticas de manejo y el clima en la sobrevivencia estival de la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- BUYCÉ, D.; CALDEYRO, E.; PUPPO, E. 1981. Siembra de gramíneas nativas sobre Campo, 1.ª Etapa. 4.ª Reunión técnica de la Facultad de Agronomía. Facultad de Agronomía, Montevideo. 84-85 pp.
- BOGGIANO, P. 1990. Evaluación de 14 gramíneas perennes bajo pastoreo. II Seminario Nacional de Campo Natural. Hemisferio Sur, Montevideo. 185-195 pp.
- BOGGIANO, P.; ZANONIANI, R.; SALDANHA, S. 2000. Implantación de *Bromus auleticus* Trin. en cobertura. Reunión temática internacional sobre el género *Bromus*. Embrapa Pecuária Sul, Bagé. 12-13 pp. (Disponible: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/227328/1/DC36.pdf> verificado: 25 de julio de 20119).
- CARÁMBULA, M. 1996. Pasturas naturales mejoradas. Hemisferio Sur, Montevideo, 524 p.
- CARÁMBULA, M. 2003. Pasturas y forrajes. Vol. II. Insumo, implantación y manejo de pasturas. Hemisferio Sur, Montevideo. 371 p.
- COOK, S.J. 1980. Establishing pasture species in existing swards: a review. *Tropical Grasslands*. 14: 181-187.
- DAVIES, P. 1990. Efecto del nivel de nitrógeno y densidad de siembra en *Bromus auleticus*. II Seminario Nacional de Campo Natural. Hemisferio Sur, Montevideo. 105-144 pp.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. 2017. InfoStat, versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infostat.com.ar> verificado: 07 de julio de 2021).
- DONALD, C.M. 1963. Competition among crops and pasture plants. *Advances in Agronomy* 15, 1-18. (Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308603971> verificado: 30 de agosto de 2021).
- FINOZZI, G.; QUINTANA, P. 2000. Implantación de gramíneas y leguminosas en tres suelos y tapices de Basalto. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo. 169 p.
- GARCÍA, J. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en la Estanzuela. INIA, Montevideo, 35 p. (Disponible: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630191107142500.pdf> verificado: 15 de marzo de 2019).
- HARPER, J. 1977. Population biology of plants. Academic Press, New York, Nueva York, EUA. 892 p.
- MILLOT, J.C. 2001. *Bromus auleticus*: una nueva especie domesticada. Los recursos fitogenéticos del género *Bromus* en el cono Sur. PROCISUR, Montevideo. 3-6 pp. (Disponible: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/114.pdf> verificado: 06 de noviembre de 2019).
- MOLITERNO, A.E.; RUCKS, F. 1998. Evaluación agronómica de cultivares de *Bromus auleticus*. *Cangué*, 5(13), 26-29. (Disponible: http://www.eemac.edu.uy/cangué/joomdocs/Cangué_13/26-29.pdf verificado: 30 de julio de 2019).
- MOLITERNO, E.; SALDANHA, S.; RUCKS, F. 2001. Establecimiento y producción inicial de mezclas de dos cultivares de *Bromus auleticus* y uno de *Festuca arundinacea* con leguminosas. Los recursos fitogenéticos del género *Bromus*

en el Cono Sur. PROCISUR, Montevideo. 87-95 pp. (Disponible: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/114.pdf> verificado: 06 de noviembre de 2019).

MORAES, C.O.C.; OLIVEIRA, J.C.P.; PAIM, N.R. 2000. Comparação de *Bromus auleticus Trinius* com outras gramíneas perenes de inverno. Embrapa Pecuária Sul, Bagé, 30 p. (Disponible: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/110590/1/COMPARACAO-DE-BROMUS.pdf> verificado: 19 de octubre de 2019).

OLIVEIRA, J.C.P.; MORAES, C.O.C. 1993. Distribuição da produção equidade de forragem de *Bromus auleticus Trinius*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 28(3), 391-398. (Disponible: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/20500/1/pab93_15_mar.pdf verificado: 19 de octubre de 2019).

OLMOS, F. 1993. *Bromus auleticus*. INIA, Montevideo, 30 p. (Disponible: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2939/1/111219220807121203.pdf> verificado: 18 de febrero de 2019).

SILVA, G.M.; MAIA, M.S.; MORAES, C.O.C. 2001. Efeito da população de plantas sobre o rendimento e a qualidade de sementes de cevadilha-vacariana (*Bromus auleticus Trinius*). Los recursos fitogenéticos del género *Bromus* en el Cono Sur. PROCISUR, Montevideo. 77-80 pp. (Disponible: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/114.pdf> verificado: 06 de noviembre de 2019).

VIDAL, A.; BOGGIANO, P.; BAYCÉ, D.; ARMAND UGON, P. 1982. Siembra de gramíneas invernales sobre tapiz de estivales. 4.ª Reunión técnica de la Facultad de Agronomía. Facultad de Agronomía, Montevideo. 84-85 pp.

ZANONIANI, R.; BOGGIANO, P.; SALDANHA, S. 2001. Implantación de *Bromus auleticus Trinius* en cobertura. Los recursos fitogenéticos del género *Bromus* en el Cono Sur. PROCISUR, Montevideo. 35-38 pp. (Disponible: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/114.pdf> verificado: 06 de noviembre de 2019).

Uso de monensina y virginiamicina en el engorde a corral de vaquillonas basado en maíz entero

Publicado online 06 de abril de 2022

Pordomingo, A.J.^{1,2}; Gelid, L.¹; Pordomingo, A.B.^{1,3}; Baliño, P.⁴; Bressan, E.⁵

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la inclusión de la combinación de virginiamicina (Vi) y monensina (Mo) en una dieta de engorde basada en maíz entero. Ciento noventa y dos vaquillonas Angus de 330 ± 38 kg de peso vivo (PV) fueron asignadas en grupos de a 4 en 48 corrales. Los corrales fueron distribuidos al azar a la combinación de tratamientos resultantes de la combinación factorial de 3 dietas (Dieta) y 2 grados de terminación (GT). El factor Dieta consistió en el uso de aditivos en una dieta basada en maíz entero: SA (sin Mo y sin Vi), Mo (con inclusión de Mo) y MoVi (con Mo y Vi). El factor GT se definió en 2 grados de terminación medido en cobertura subcutánea dorsal (EGD) combinado con peso a faena. El primero, GT1, tuvo por meta 6 a 7 mm de EGD y 440 a 450 kg PV y el segundo, GT2, 8 a 9 mm y 470 a 480 kg PV. Alcanzada la primera meta a los 82 días se procedió a la faena de los animales de los corrales de GT1. El grupo GT2 alcanzó la segunda meta a los 96 días. La dieta se basó en maíz entero, heno de mijo picado y un concentrado proteico con minerales, vitaminas. Se realizaron determinaciones ecográficas de EGD cada 15 días a partir del día 60 del experimento. Los animales se pesaron los días 0, 32, 82 y 96 de estudio y se calculó el ADPV parcial entre pesadas y global. Adicionalmente se realizaron determinaciones ecográficas de EGD y área de ojo de bife (AOB) el día 0. El consumo diario de materia seca fue registrado continuamente y reportado en términos absolutos (CMS) y en relación con el PV (CMSPV). La eficiencia de conversión (EfC) se calculó como ADPV/CMS para la duración de cada GT. A la faena se realizaron determinaciones de peso de res (PR) y rendimiento de res en caliente (Rres). Setenta y dos horas después se determinaron AOB y EDG sobre la sección de músculo *Longissimus thoracis* en corte transversal a la altura de la 10.^a costilla de la ½ res izquierda. Tanto para GT1 como GT2 no se detectaron efectos de Dieta ($P \geq 0,93$) en PV de las pesadas parciales o finales. En GT1, el ADPV entre los 32 y 82 días resultó superior ($P < 0,05$) para MoVi, comparado con SA, e intermedio para Mo. En ambos GT, el CMS y el CMSPV resultaron mayores ($P < 0,05$) para SA, comparado con MoVi ($P < 0,05$) e intermedio para Mo. La EfC de MoVi resultó 20 y 17% superior ($P < 0,01$) a la de SA y 9 y 7% mayor a la de Mo ($P < 0,05$) en GT1 y GT2, respectivamente. Por su parte, la EfC de Mo resultó 9% superior ($P < 0,01$) a la de SA en ambos GT. Tanto en GT1 como en GT2 no se detectaron ($P > 0,05$) efectos de Dieta en PR, Rres, EGD o AOB. La inclusión de la combinación de Mo y Vi permitió controlar el CMS y mejorar la EfC. La mejora no tuvo efectos diferenciales sobre los principales parámetros de la res.

Palabras clave: virginiamicina, monensina, vaquillonas, engorde a corral.

ABSTRACT

This experiment studied the effects of the combination of monensin (Mo) and virginiamycin (Vi) included in a whole corn-based diet for feedlot finished Angus heifers. A group of 192 330 ± 38 kg Angus heifers were allocated to 48 pens, in groups of 4. A factorial arrangement of 3 diets (DT) x 2 finishing degrees (FD) were imposed randomly on the 48 pens. Factor DT was comprised of 3 diets: NA (Base diet without Mo and Vi), Mo (Base diet + Mo; 30 mg a.i./

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Anguil, Ruta Nacional N.º 5, km 580, (6326), Anguil, La Pampa. Correo electrónico: pordomingo.anibal@inta.gov.ar

²Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Facultad de Ciencias Veterinarias, calle 6, esquinale 116 (L6360), Gral. Pico, La Pampa.

³Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Av. Uruguay 151, (L6300), Santa Rosa, La Pampa.

⁴Gente de La Pampa, S.A. Wilde 1469, (L6304), Santa Rosa, La Pampa.

⁵Phibro Corp. GKF Area de Promoción El Triángulo Buenos Aires AR, Rutherford 4503, (B1615), Grand Bourg, provincia de Buenos Aires.

kg MS), and MoVi (Base diet + Mo + Vi, 30 and 25 mg a.i./kg MS, respectively). Factor FD included: FD1 (harvest at 6 to 7 mm of back fat thickness -BFT, and 440 to 450 kg live weight -LW-), and FD2 (harvest at 8 to 9 mm of back fat thickness -BFT, and 470 to 480 kg live weight -LW-). Animals from FD1 reached the harvest point after 82 days of feeding, and animals from FD2 at 92 days. The diet was based on whole corn, chopped millet hay and a protein concentrate including a vitamin and mineral premix. Ultrasound determinations for BFT were performed every 15 days, starting on day 60 of study. Individual body weights (BW) were recorded on days 0, 32, 82 and 96. Average daily gain (ADG) was calculated for each partial period and the duration of each FD. In addition, animals were ultrasounded for BFT and REA on day 0. Daily dry matter intake was determined continuously for the average animal for each pen. The absolute average (DMI) and DMI relative to BW (DMIBW) for the period of each FD were registered for analysis and further calculations. Global feed efficiency (FE = ADG/DMI) was calculated for each FD. Upon harvest, carcass weight (CW), carcass yield (CY) were recorded for each animal. Seventy-two hours later, BFT and REA were determined on the Longissimus thoracis section at the 10th rib level of each left ½ carcass. No DT effects were detected ($P \geq 0,93$) on partial or global BW. In FD1, MoVi had greater ($P < 0,05$) ADG than SA for the 32-to-82-day period. In FD2, no DT effects ($P > 0,16$) on ADG were detected. In both FD, DMI and DMIBW were greater ($P < 0,01$) for NA, compared with MoVi, and Mo was intermediate. For FD1 and FD2, respectively, FE of MoVi resulted 20 and 17% greater ($P < 0,01$) than FE of SA, and 9 and 7% greater ($P < 0,05$) than FE of Mo. No DT effects were detected ($P > 0,05$) in CY, CW, REA and BFT in either FD1 or FD2. Adding Vi+Mo in whole corn-based finishing diet improved FE of feedlot heifers. Such improvement did not affect main carcass parameters.

Keywords: monensin, virginiamycin, heifers, feedlot fattening.

INTRODUCCIÓN

Los antibióticos son de uso generalizado en la alimentación a corral. Monensina (Mo) es de elección universal, con efectos conocidos sobre la fermentación y consumo (Barreras *et al.*, 2013; Ellis *et al.*, 2012; Wood *et al.*, 2016), incluso para el control del empaste sobre leguminosas (Bauer *et al.*, 1995) o del estrés animal en dietas de recepción y acostumbamiento (Duff y Galyean, 2007). Por su parte, virginiamicina (Vi) es un antibiótico no ionóforo, producido por *Streptomyces virginiae*, principalmente activo sobre la población de bacterias Gram positivas (Cocito, 1979).

La investigación sobre el uso de Vi estuvo vinculada a la protección ruminal (Salinas-Chavira *et al.*, 2009, 2016; Nuñez *et al.*, 2013; Tedeschi y Gorocica, 2018). Los efectos serían consecuencia indirecta de la reducción de la proliferación de las bacterias lácticas, la menor incidencia de acidosis (Coe *et al.*, 1999; Tedeschi y Gorocica, 2018). Basados en 26 estudios que incluyeron 7156 animales, Tedeschi y Gorocica (2018) concluyeron que Vi tendría su mayor efectividad a 24 mg/kg de MS. Algunos estudios (Ravindran *et al.*, 1984; Ives *et al.*, 2002; Agudelo *et al.*, 2007) consideran también que Vi podría reducir la actividad de desaminación de las proteínas en el rumen y mejorar la absorción posruminal de nutrientes.

Estudios recientes sobre Vi (Montano *et al.*, 2015; Salinas-Chavira *et al.*, 2016; Benatti *et al.*, 2017) indicaron que su inclusión en la dieta con Mo permite mejorar la eficiencia de conversión sin deprimir el consumo en la fase final del engorde, pero la información no es concluyente. Adicionalmente, no se tiene información en dietas basadas en grano entero sin restricción de consumo.

El presente experimento estudió la respuesta productiva del uso de la combinación de Mo y Vi (MoVi) comparada con la Mo solamente (Mo) y la ausencia de ambos (SA) en vaquillonas en engorde, con dietas basadas en grano entero de maíz a dos grados de terminación (GT), diferentes en engrasamiento subcutáneo y peso final, dentro del rango comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y tratamientos

La investigación tuvo lugar en el campo de la Estación Experimental de INTA en Anguil, La Pampa. Se utilizaron 192 vaquillonas Angus de un PV medio de 330 ± 38 kg. Se distribuyeron al azar de a 4 en 48 corrales de alimentación. Sobre los corrales se impusieron 3 tratamientos de dieta (DT) y 2 grados de terminación (GT) en un arreglo factorial de 3×2 , con 8 repeticiones (corrales) por combinación de factores.

Los tratamientos DT fueron: SA (dieta de base sin Mo y sin Vi), Mo (dieta de base + Mo, 30 mg i.a./kg MS) y MoVi (Dieta de base + Mo y Vi, 30 y 25 mg i.a./kg MS de alimento). Monensina se incorporó en la forma de Rumensin™200 (Elanco, Animal Health, Eli Lilly, Indiana, EUA) y Vi en la forma de Stafac™500 (Phibro, Animal Health Corp. BA, Argentina), dependiendo del tratamiento. Los GT fueron: GT1 (6 a 7 mm de EGD promedio por corral -determinada por ultrasonografía dorsal entre la 10.^a a 11.^a costilla a 5 cm de la línea media del lado izquierdo del animal- y 440 a 450 kg de PV) y GT2 (de 8 a 9 mm de EGD y 470 a 480 kg de PV).

Dieta y suministro

La dieta se basó en maíz entero, heno de mijo picado y un concentrado proteico con minerales y vitaminas (tabla 1). La combinación de los antibióticos para generar los tratamientos antes descriptos se incluyó en el concentrado proteico previo al pelleteado. La dieta fue la misma para todos los DT y se formuló para lograr un ADPV del 1,200 a 1,400 kg/día en terminación de vaquillonas de raza británica de acuerdo con NRC (2000) (tabla 1).

El alimento se ofreció una vez al día totalmente mezclado, estimado para un excedente diario del 10 al 15% (en base tal cual). Todos los días, previo al suministro se hizo lectura de comedero para ajustar la oferta del día siguiente. Se midió el consumo por corral continuamente en períodos de 3 días. A

Ingredientes, %	
Grano maíz entero	78,9
Harina de soja	12,0
Heno de mijo	5,0
Urea	0,6
Premezcla vitamínica y mineral	2,5
Composición nutricional	
PB, %	14,2
FDN, %	12,8
FDA, %	9,1
EM, Mcal/kg MS	2,95
ENm, Mcal/kg MS	1,87
ENg, Mcal/kg MS	1,31

Tabla 1. Composición de la dieta (base MS).

MS = Materia seca

PB = Proteína bruta

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

EM = Energía metabolizable (NRC, 2000)

ENm = Energía neta para mantenimiento (NRC, 2000)

ENg = Energía neta para ganancia de peso (NRC, 2000)

tal fin, cada 3 días se retiró y pesó el remanente de cada corral previo al nuevo suministro. Se restó el peso del remanente del ofrecido acumulado y dividió por la cantidad de días correspondientes a los suministros correspondientes. Se asignó un valor medio de consumo por animal y por corral a cada uno de los días. Los consumos fueron corregidos por materia seca (MS), obteniendo el dato de consumo de materia seca (CMS) para el animal promedio de cada corral para cada período y la totalidad del ensayo.

Se recolectaron muestras del ofrecido y del remanente de cada corral en cada evento de medición de consumo. Se generó una muestra compuesta mensual por tratamiento y corral, tanto para consumo como remanente, para determinar el contenido de MS. El contenido de MS se determinó por secado en estufa a 60 °C hasta peso constante (AOAC, 2000). Las muestras se molieron en molino Willey (a 5 mm). Una muestra compuesta del ofrecido de todos los corrales y de todo el experimento se analizó por contenido de proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con metodologías AOAC (2000), y contenido de fibra detergente ácido (FDA, %) y neutro (FDN, %) de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991). Se calculó la concentración de energía metabolizable (EM), y de energía neta para mantenimiento (ENm) y para ganancia de peso (ENg) de la dieta de acuerdo a NRC (2000).

Peso vivo y faena

Se determinó el PV los días 0, 32, 82 y 96 de iniciado el experimento, con desbaste previo de 17 horas por la mañana. Con los datos de PV se calcularon los ADPV entre pesadas y del experimento para cada meta de terminación. A partir del dato de CMS y el ADPV se calculó la eficiencia de conversión (EfC) del alimento a PV como ADPV/CMS.

Para decidir del momento final de cada GT se realizaron determinaciones ecográficas de AOB y EGD semanales luego de los 60 días de iniciado el experimento sobre la sección dorsal del lado izquierdo del animal, a 2,5 cm de la línea media, transversal al músculo *longissimus thoracis*, sobre la región intercostal entre la 10.^a y 11.^a costilla. Se realizó una determinación ecográfica de AOB y EGD al inicio del experimento para verificar la homogeneidad inicial.

A los 82 días de alimentación se consideró alcanzada la meta de faena para GT1 (superados el PV mínimo objetivo y los 6 mm de EGD en el 95% de los animales) y se procedió a la faena de las 96 vaquillonas correspondientes a ese factor (8 corrales de cada DT asignados al azar al inicio del experimento). El grupo GT2 continuó por un período de 14 días hasta alcanzar la segunda meta de EGD y PV.

En cada caso, los animales se trasladaron a un frigorífico comercial a 30 km del sitio experimental. Cumplidas las 12 horas desde el arribo, los animales se faenaron y realizaron inmediatamente las determinaciones de peso de res (PR). Se calculó el rendimiento en res caliente (Rres, % = PR/PV desbastado*100). Se utilizó el PV de la última pesada de cada animal (con desbaste de 17 horas) sobre la que se aplicó el factor 0,97 como corrección por desbaste promedio adicional (desbaste promedio en pesadas de camión entre el campo y planta de faena determinado en envíos previos). Al momento de la despostada, 72 horas después de la faena, se determinaron área de ojo del bife (AOB) y el EGD. A tal fin se seccionó transversalmente la ½ res izquierda a la altura de la 10.^a costilla y se expuso la sección del bife. Sobre este se determinó el EGD con regla milimetrada a 5 cm de la línea media del animal. Seguidamente se calcó el área de la sección expuesta del músculo LT para el cálculo del área por planimetría posterior.

Análisis estadístico

Los efectos de tratamientos se sometieron a un análisis de varianza basado en un diseño de parcela dividida (Split-plot) completamente aleatorizado con un arreglo factorial de 3 DT (SA, Mo y VI+Mo) x 2 GT (GT1 y GT2), incluyendo DT en la parcela principal y GT en la subparcela de acuerdo al modelo: $Y_{ij} = \mu + DT_i + GT_j + (DT*GT)_{ij} + DT_{ij}*(P) + e_{ij}$, donde Y_{ij} = observación, μ = media general, DT_i = efecto fijo de DT, GT_j = efecto fijo de GT, $(DT*GT)_{ij}$ = interacción de efectos fijos, $DT_{ij}*(P)$ = error experimental para tratamiento, y e_{ij} = error (residual). Las interacciones entre factores se consideraron significativas al nivel $P < 0,05$. El factor tratamiento se evaluó usando $DT_{ij}*(GT)$. El factor GT y la interacción $DT*GT$ se evaluaron utilizando el error residual (Proc GLM, SAS, 2002). Se utilizó el corral expresado en su animal promedio como repetición. Las medias se separaron por Tukey, considerándolas significativas al nivel $P \leq 0,05$ (SAS, 2002). El análisis estadístico para la identificación de interacciones entre DT y el período entre pesadas, como efectos de DT en PV parciales dentro de cada GT se realizó a partir de un diseño de parcela dividida para cada GT (GLM, SAS, 2002). En este modelo para GT1 se incluyeron 3 eventos de pesada y 2 períodos entre pesadas para GT2, 4 y 3.

RESULTADOS

En GT1 (tabla 2) no se detectaron efectos de DT en el PV a los 32 días ($P = 0,97$) o previo a la faena ($P = 0,93$). Tampoco

se detectaron efectos sobre el ADPV a los 32 días ($P = 0,59$) de iniciado el experimento o sobre el ADPV luego de 82 días ($P = 0,09$). Se detectó un efecto ($P \leq 0,01$) para el ADPV entre los 32 y 82 días. En ese período el ADPV fue superior para MoVi comparado con SA ($P < 0,05$) e intermedio para Mo. Se detectaron efectos ($P < 0,05$) de tratamientos en CMS, CMSPV y EfC. Tanto el CMS como en CMSPV resultaron mayores para SA, comparado con MoVi ($P < 0,05$) e intermedio para Mo. El CMS fue 16,4% mayor para SA respecto de MoVi. El efecto fue muy evidente en EfC ($P < 0,01$). El tratamiento MoVi tuvo la mejor EfC. En términos relativos, MoVi tuvo una EfC 20% mayor que SA y 9% mayor que Mo ($P < 0,05$). La EfC de Mo fue 10% mayor que la de SA.

En GT2 (tabla 3) se verificaron efectos similares a los observados en GT1. No se detectaron efectos en PV a los 32 ($P = 0,96$), a los 82 ($P = 0,99$) o a los 96 días ($P = 0,99$). Tampoco se detectaron efectos en el ADPV global ($P = 0,58$) o entre las pesadas intermedias ($P \geq 0,12$). Se detectaron efectos en CMS ($P < 0,01$), CMSPV ($P = 0,04$) y EfC ($P < 0,01$). El tratamiento SA tuvo mayor CMS ($P = 0,02$) y CMSPV ($P = 0,01$) que MoVi. Por su parte, Mo resultó intermedio en CMS y CMSPV y no se diferenció

($P > 0,05$) de ambos. La figura 1 grafica el CMS semanal por animal promedio de GT2. Los promedios semanales de CMS fueron inferiores ($P < 0,05$) para el grupo MoVi en la mayoría de las determinaciones semanales respecto de SA. Sin embargo, Mo no se diferenció de MoVi en los promedios semanales ($P > 0,05$). La EfC de MoVi fue 17% superior a la de SA y 7% superior a la de Mo. La EfC de Mo resultó 9% superior a SA. Finalmente, no se detectaron ($P > 0,34$) efectos del suministro de MoVi, respecto del SA y Mo en Rres, PR, AOB y EGD en GT1 o GT2 (tablas 2 y 3).

DISCUSIÓN

Con la inclusión de Mo se espera un efecto depresor del CMS (Pordomingo *et al.*, 1999a,b; Duffield *et al.*, 2012), pero no suficiente evidencia de un efecto semejante con Vi. Estudios previos sobre el uso de Vi tienden a coincidir en efectos de mejora de la EfC, pero existen divergencias respecto de los factores contribuyentes. Rogers *et al.* (1995) reportaron que la suplementación con Vi en el rango de 19,3 a 27,3 mg/kg de alimento permitiría incrementar el ADPV y en el rango de

	SA	Mo	MoVi	EEM	P*
Peso vivo, kg					
día 0	330	330	329	9,9	0,99
día 32	396	395	393	10,5	0,97
día 82	452	457	457	10,4	0,93
Aumento diario de peso vivo, kg/día					
día 0 a 32	2,08	2,05	1,99	0,06	0,59
día 33 a 82	1,12 ^a	1,23 ^{ab}	1,29 ^b	0,04	< 0,01
día 0 a 82	1,49	1,55	1,56	0,02	0,09
Consumo y eficiencia de conversión					
CMS, kg	10,6 ^b	10,2 ^{ab}	9,1 ^a	0,26	< 0,01
CMSPV, %	2,73 ^b	2,57 ^{ab}	2,38 ^a	0,05	< 0,01
EfC, g/kg	140	154	168	3,9	< 0,01
Parámetros de la res					
Rres, %	58,0	58,8	58,9	0,31	0,53
Peso res, kg	258	263	262	6,12	0,85
AOB* 0 días, cm ²	47,6	47,3	47,4	0,86	0,97
AOB 82 días, cm ²	57,9	58,2	58,2	0,78	0,96
EGD* 0 días, mm	3,9	4,0	3,9	0,02	0,90
EGD 82 días, mm	7,1	7,1	6,9	0,20	0,56

Tabla 2. Efecto de la inclusión de monensina (Mo) o monensina + virginiamicina (MoVi) en una dieta con base en grano entero de maíz sobre la producción y eficiencia de terminación de vaquillonas a corral alimentadas durante 82 días.

* Probabilidad de $F > F_0$ (SAS, 2002)

^{a, b y c} Medias en filas con diferente letra difieren $P < 0,05$ (Tukey)

CMS = Consumo de materia seca

CMSPV = CMS en relación con el peso vivo

EfC = ADPV/CMS (g/kg)

Rres = Rendimiento de res en caliente

AOB = Área de ojo del bife

EGD = Espesor de grasa dorsal

* Determinación ecográfica

	SA	Mo	MoVi	EEM	P*
Peso vivo, kg					
día 0	330	329	329	14,7	0,99
día 32	398	398	393	14,9	0,96
día 82	455	457	458	15,1	0,99
día 96	473	473	475	15,1	0,96
Aumento diario de peso (ADPV), kg/día					
día 0 a 32	2,13	2,16	2,01	0,11	0,52
día 32 a 82	1,13	1,18	1,30	0,06	0,16
día 82 a 96	1,29	1,11	1,26	0,07	0,12
día 0 a 96	1,49	1,49	1,53	0,03	0,58
Consumo y eficiencia de conversión					
CMS, kg	10,8 ^b	10,1 ^{ab}	9,6 ^a	0,04	< 0,01
CMSPV, %	2,7 ^b	2,5 ^{ab}	2,4 ^a	0,08	0,04
EfC, g/kg	137 ^c	149 ^b	160 ^a	4,8	< 0,01
Parámetros de res					
Rres, %	59,7	60,0	60,4	0,32	0,34
Peso de la res, kg	263	266	268	8,5	0,92
AOB* 0 días, cm ²	47,3	47,3	47,3	1,23	0,98
AOB 96 días, cm ²	64,8	65,9	65,9	1,28	0,71
EGD* 0 días, mm	3,9	3,9	3,9	0,2	0,98
EGD 96 días, mm	8,4	8,7	8,4	0,35	0,65

Tabla 3. Efecto de la inclusión de monensina (Mo) o monensina + virginiamicina (MoVi) en una dieta con base en grano entero de maíz sobre la producción y la eficiencia de vaquillonas pesadas en terminación a corral durante 96 días.

* Probabilidad de $F > F_0$ (SAS, 2002)

^{a, b y c} Medias en filas con diferente letra difieren $P < 0,05$ (Tukey)

CMS = Consumo de materia seca

CMSPV = CMS en relación con el peso vivo

EfC = ADPV/CMS

Rres = Rendimiento de res en caliente

AOB = Área de ojo del bife

EGD = Espesor de grasa dorsal

* Determinación ecográfica

13,2 a 19,3 mg/kg la EfC. Silva *et al.* (2004) y Salinas-Chavira *et al.* (2016) reportaron que la inclusión de Vi en dietas de recría y terminación en feedlot incrementó uniformemente la utilización de la energía. Montano *et al.* (2015), en una síntesis de 7 experimentos en feedlot, reportaron un incremento del 4,6% del APV y 3,6% en EfC por suplementar con Vi (19 a 27 mg i.a./kg MS de alimento). Costa *et al.* (2015) reportaron 5,9% de mejora en energía neta, sin efectos sobre el ADPV al incorporar Vi a 27 mg i.a./kg MS.

El reporte de resultados sobre la combinación de Vi con Mo es escaso. Algunos trabajos (Millen *et al.*, 2015; Salinas-Chavira *et al.*, 2009, 2016; Benatti *et al.*, 2017) indican que Vi + Mo permitiría mejorar la EfC sin mayor depresión del CMS. En nuestro experimento el efecto más evidente a la combinación fue la mejora en EfC. Efecto que no se reflejó en parámetros de Rres, EGD o AOB.

En un metanálisis sobre casos europeos de engorde a corral con suplementación de Mo o Vi versus un control (sin inclusión

de antibiótico), Gorocica y Tedeschi (2017) reportaron mayor ADPV para Vi y Mo. En este caso, Vi superó a Mo en ADPV, sin diferenciarse los tratamientos en CMS o EfC. Sobre 26 estudios incluyendo 7156 animales, Tedeschi y Gorocica (2018) concluyeron que Vi incrementó el ADPV en 2,08 g por mg/kg MS, comparado con 0,92 g por mg/kg MS para Mo, sugiriendo que Vi resultó 2,3 veces más efectiva que Mo sobre el ADPV a la misma dosis y período de alimentación. Reportaron una consistente reducción de incidencia de abscesos hepáticos con la inclusión de Vi en el rango de 12 a 24 mg/kg MS. Justificaron la reducción principalmente en el incremento de la eficiencia ruminal en la transformación de la energía. Lemos *et al.* (2016) no detectaron diferencias al agregar Vi a dietas que incluyeron Mo en APV, CMS, EfC, PR, EGD y *marbling*; tampoco en parámetros de la fermentación ruminal con dosis similares al del presente experimento (AGV, N amoniacal, pH y densidad de protozoos).

En el presente experimento, el suministro de la combinación de ambos antibióticos redujo el CMS respecto del testigo SA. El

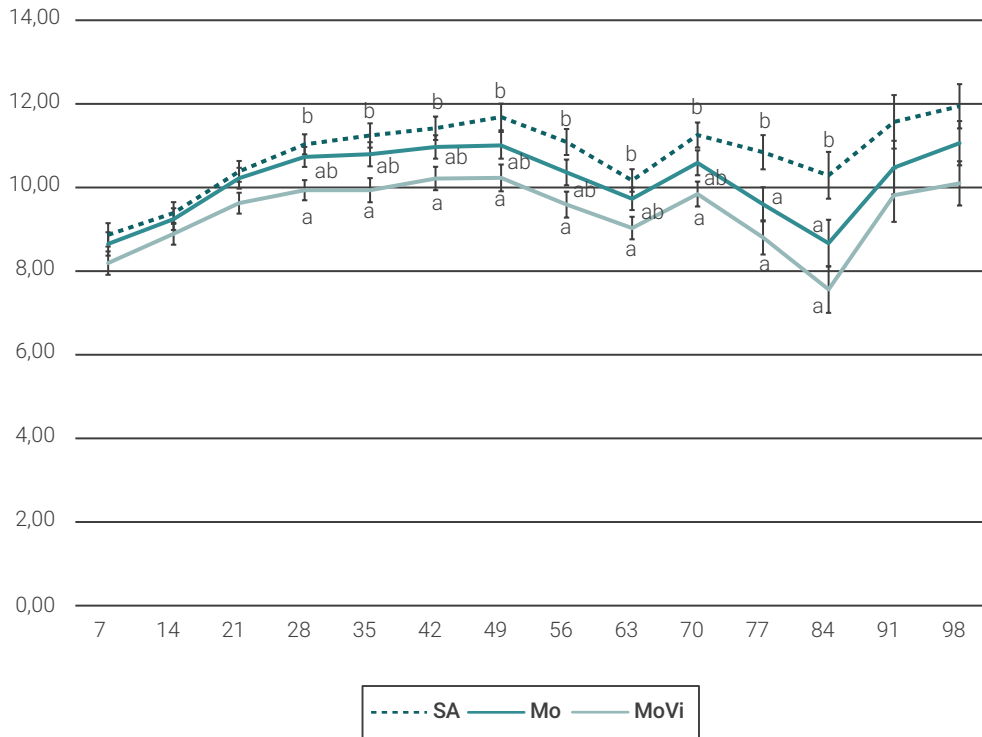


Figura 1. Evolución semanal del consumo de materia seca (CMS) promedio por tratamiento, sin aditivos (SA), con monensina (Mo) o con monensina y virginiamicina (MoVi) en la dieta de terminación de vaquillonas en engorde a corral durante 96 días. Medias dentro de día con distinta letra (a, b) difieren $P < 0,05$ (Tukey).

efecto no fue tan evidente respecto de Mo. Rigueiro *et al.* (2016) reportaron mejor adaptación con la inclusión de Vi a una dieta de alto almidón con Mo. Sugirieron también incorporar Vi solamente en la terminación con el objeto de evitar depresión del CMS.

En nuestro caso, el efecto de la incorporación de ambos antibióticos generó una respuesta en EfC, pero su diseño no permitió separar efectos confundidos con el nivel de CMS. Tampoco se estudiaron efectos de la combinación de antibióticos sobre la flora ruminal, las características de la fermentación y el flujo de nutrientes, o efectos asociados a la palatabilidad y el comportamiento ingestivo. No hay reportes en la literatura en este sentido.

A la luz del nivel de CMS y de producción alcanzado por SA en este experimento, la presunción de efectos únicamente de mitigación de acidosis subclínica no tendría suficiente justificación. Contrariamente a lo esperado, en SA se verificaron ADPV similares a los obtenidos con la inclusión de los antibióticos. Debe considerarse, sin embargo, que las condiciones de manejo y alimentación del presente experimento no serían las mismas que las de un engorde comercial. El número limitado de animales por corral, posiblemente poca competencia por espacio y alimento, el origen común de un mismo rodeo, igual historia previa, y con edad y PV similar pudieron haber minimizado efectos de competencia por alimento, irregularidad de consumo y disminuido la incidencia de acidosis subclínica derivados de la dieta de alto grano. Otro factor modulador de la acidosis ha sido posiblemente el suministro de grano entero con una liberación lenta del almidón, comparado con la tasa de degradación del almidón en granos procesados.

CONCLUSIONES

La combinación de Mo y Vi permitiría controlar el CMS y mejorar la EfC del alimento. El efecto sería mejorador de la EfC lograda con Mo solamente. La mejora en EfC no tendría efectos diferenciales sobre el Rres y la deposición de grasa subcutánea o el AOB. Los resultados sugieren que, en el contexto del experimento, Vi tuvo efectos sobre la EfC adicionales a su rol regulador mitigante de la acidosis. La magnitud de esos efectos tendría implicancias económicas relevantes en términos comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INTA, a INTeA SA, a las empresas Gente de La Pampa y Phibro Argentina SA por la provisión de insumos, instalaciones y animales para la realización de este estudio. Se agradece especialmente al personal de campo de la Estación Experimental Agropecuaria de INTA en Anguil, La Pampa.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, J.H.; LINDEMANN, M.D.; CROMWELL, G.L.; NEWMAN, M.C.; NIMMO, R.D. 2007. Virginiamycin improves phosphorus digestibility and utilization by growing-finishing pigs fed a phosphorus-deficient, corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 85, 2173-2182.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 16th edition (AOAC, Arlington, VA).

BARRERAS, A.; CASTRO-PÉREZ, B.I.; LÓPEZ-SOTO, M.A.; TORRENTA, N.G.; MONTAÑO, M.F.; ESTRADA-ANGULO, A.; RIOS, F.G.; DÁVILA-RAMOS, H.; PLASCENCIA, A.; ZINN, R.A. 2013. Influence of ionophore supplementation on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in finishing cattle during period of heat stress. *Asian Australasian J. Anim. Sci.* 26, 1553-1561.

- BAUER, M.L.; HEROLD, D.W.; BRITTON, R.A.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; YATES, D.A. 1995. Efficacy of laudlomycin propionate to reduce ruminal acidosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 3445-3454.
- BENATTI, J.M.B.; ALVEZ NETO, J.A.; DE OLIVEIRA, I.M.; DE RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nellore cattle. *Anim. Sci. J. (Japanese Society of Animal Sci)* 88, 1708-1714.
- COCITO, C. 1979. Antibiotics of the virginiamycin family, inhibitors which contain synergistic components. *Microbiol. Rev.* 43, 145-192.
- COE, M.L.; NAGARAJA, T.G.; SUN, WALLACE, Y.D.N.; TOWNE, E.G.; KEMP, K.E.; HUTCHESON, J.P. 1999. Effect of Virginiamycin on Ruminal Fermentation in Cattle During Adaptation to a High Concentrate Diet and During an Induced Acidosis. *J. Anim. Sci.* 77, 2259-2268.
- COSTA, A.J.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; ASSUMPCAO, J.J.; LEMEAND, R.; DUARTE, D.P. 2015. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Sci. Agric.* 70, 229-236.
- DUFF, G.C.; GALYEAN, M.L. 2007. Board-invited review: recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 85, 823-840.
- DUFFIELD, T.F.; MERRILL, J.K.; BAGG, R.N. 2012. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *J. Anim. Sci.* 90, 4583-4592.
- ELLIS, J.L.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; KEBREAB, E.; HOOK, S.E.; ARCHIBUEQUE, S.; FRANCE, J. 2012. Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *J. Anim. Sci.* 20, 2717-2726.
- GOROCICA, M.A.; TEDESCHI, L.O. 2017. A meta-analytical approach to evaluate the performance of cattle fed virginiamycin or monensin under feedlot conditions from seven European countries. *J. Anim. Sci.* 95 (S4), 71.
- IVES, S.E.; TITGEMEYER, E.C.; NAGARAJA, T.G.; DEL BARRIO, A.; BINDEL, D. J.; HOLLIS, L.C. 2002. Effects of virginiamycin and monensin plus tylosin on ruminal protein metabolism in steers fed corn-based finishing diets with or without wet corn gluten feed. *J. Anim. Sci.* 80, 3005-3015.
- LEMOS, B.J.M.; CASTRO, F.G.F.; SANTOS, L.S.; MENDONÇA, B.P.C.; COUTO, V.R.M.; FERNANDES, J.J.R. 2016. Monensin, virginiamycin, and flavyomycin in a no-roughage finishing diet fed to zebu cattle. *J. Anim. Sci.* 94, 4307-4314.
- MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; DILORENZO, N.; MARTINS, C.L.; MARINO, C.T.; BASTOS, J.P.S.T.; MARIANI, T.M.; BARDUCCI, R.S.; SARTI, L.M.N.; DICOSTANZO, A.; RODRIGUES, P.H.M.; ARRIGONI, M.D.B. 2015. EFFECTS OF FEEDING A SPRAY-dried multivalent polyclonal antibody preparation on feedlot performance, feeding behavior, carcass characteristics, rumenitis, and blood gas profile of Brangus and Nellore yearling bulls. *J. Anim. Sci.* 90, 1898-1909.
- MONTANO, M.F.; MANRIQUEZ, O.M.; SALINAS-CHAVIRA, J.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2015. Effects of monensin and virginiamycin supplementation in finishing diets with distiller dried grains plus solubles on growth performance and digestive function of steers. *Journal of Applied Animal Research* 43, 417-425.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2000. Nutrients requirements of beef cattle, 7th edn. National Academy Press, Washington, D. C.
- NUÑEZ, A.J.C.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; DEMARCHI, J.A.; LEME, P.R.; LANA, D.P.D. 2013. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Scientia Agricola* 70, 229-236.
- PORDOMINGO, A.J.; GALYEAN, M.E.; BRANINE, M.E.; FREEMAN, A.S. 1999. Effects of daily and weekly rotations of lasalocid and monensin plus tylosin compared with continuous feeding of each ionophore on daily dry matter intake and digesta kinetics. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 19, 383-390.
- PORDOMINGO, A.J.; GALYEAN, M.E.; BRANINE, M.E.; FREEMAN, A.S. 1999. Effects of daily and weekly rotations of lasalocid and monensin plus tylosin compared with continuous feeding of ionophores on ruminal fermentation. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 19, 67-82.
- RAVINDRAN, V.; KRONEGAY, E.T.; WEBB, JR.K.E. 1984. Effects of fiber and virginiamycin on nutrient absorption, nutrient retention, and rate of passage in growing swine. *J. Anim. Sci.* 59, 400-408.
- RIGUEIRO, A.L.; LUIZ, F.P.; SQUIZATTI, M.M.; ASSUMPCÃO, A.H.; FERREIRA, M.M.; GARCIA, C.P.; MULLER, L.R.; BUENO, A.P.D.; MARTINS, C.L.; ARRIGONI, M.D.; MILLEN, D.D. 2016. Feedlot performance and carcass traits of nellore cattle fed different combinations of sodium monensin and virginiamycin. *J. Anim. Sci.* 94 (SUPPL. 5), 1.
- ROGERS, J.A.; BRANINE, M.E.; MILLAR, C.R.; WRAY, M.I.; BARTLE, S.J.; PRESTON, R.L.; GILL, D.R.; PRITCHARD, R.H.; STILBORN, R.P.; BECHTOL, D.T. 1995. Effects of dietary virginiamycin on performance and liver abscess incidence in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 9-20.
- SALINAS-CHAVIRA, J.; BARRERAS, A.; PLASCENCIA, A.; MONTANO, M.F.; NAVARRETE, J.D.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2016. Influence of protein nutrition and virginiamycin supplementation on feedlot growth performance and digestive function of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 94, 4276-4286.
- SALINAS-CHAVIRA, J.; LENIN, J.; PONCE, E.; SANCHEZ, U.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2009. Comparative effects of virginiamycin supplementation on characteristics of growth-performance, dietary energetics, and digestion of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87, 4101-4108.
- SAS, 2002. SAS User's Guide: Statistics (Version 8.02). SAS Institute Inc, Cary, NC, EUA.
- TEDESCHI, L.O.; GOROCICA-BUENFIL, M.A. 2018. An assessment of the effectiveness of virginiamycin on liver abscess incidence and growth performance in feedlot cattle: a comprehensive statistical analysis. *J. Anim. Sci.* 96, 2474-2489.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- WOOD, K.M.; PINTO, A.C.J.; MILLEN, D.D.; KANAFANY GUZMAN, R.; PENNER, G.B. 2016. The effect of monensin concentration on dry matter intake, ruminal fermentation, short-chain fatty acid absorption, total tract digestibility, and total gastrointestinal barrier function in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 94, 2471-2478.

Combinación de monensina y virginiamicina en engorde y eficiencia de novillos terminados a corral

Publicado online 06 de abril de 2022

Pordomingo, A.J.¹; Bressan, E.²; Apa, F.J.³

RESUMEN

Se exploraron los efectos de la inclusión de la combinación de virginiamicina (Vi) y monensina (Mo) en una dieta de engorde basada en maíz partido, sin fibra efectiva. Se utilizaron 180 novillos Angus de 323 ± 22 kg de peso vivo (PV), las que se distribuyeron de a 15 en 12 corrales. Sobre los corrales se impusieron los tratamientos de dieta: 1) con inclusión de Mo (Mo), y 2) Mo + Vi (MoVi). Se alimentaron en dieta única de terminación durante 91 días. La dieta se basó en maíz quebrado, pellet de afrechillo de trigo, burlanda de maíz, una premezcla con minerales, vitaminas, agua, cascara de maní y el aditivo correspondiente según tratamiento. Se realizaron determinaciones de PV los días 0, 44 y 91. Luego de la faena se determinaron el peso de la res (PR) y el rendimiento de res caliente (RtoRes). Se registró diariamente el suministro de alimento y se calculó semanalmente el consumo por animal promedio por corral descontando del ofrecido semanal el remanente correspondiente. Luego de alcanzar 8 mm de espesor de grasa dorsal y 90 días de ensayo, los novillos se remitieron a faena. El tratamiento MoVi superó a Mo en PV a los 44 días ($P=0,02$) y al final ($P=0,01$). El ADPV de los primeros 44 días fue mayor para MoVi ($P<0,01$) pero similar ($P=0,17$) para los últimos 47 días. En la totalidad del experimento, MoVi resultó en ADPV 10,8% superior a Mo ($P<0,01$). El PR fue mayor para MoVi ($P=0,02$). No se detectaron diferencias en RtoRes ($P=0,40$). El consumo diario de materia seca en términos absolutos (CMS) o relativo al peso (CMSPV) resultó superior ($P \leq 0,03$) para MoVi. No se detectaron efectos sobre la eficiencia de conversión ($P \geq 0,07$). La inclusión de la combinación de Mo y Vi permitiría mejorar el ADPV en novillos en terminación sobre una dieta limitada en fibra efectiva, sin deteriorar la eficiencia de conversión o el RtoRes, respecto de la inclusión de Mo solamente.

Palabras clave: virginiamicina, monensina, novillos, engorde a corral.

ABSTRACT

Effects of the combination of monensin (Mo) and virginiamycin (Vi) included in a cracked-corn low-effective fiber diet for finishing beef steers. A group of 180 323 ± 22 -kg Angus steers were distributed in 12 pens, with 15 animals each. Two treatments, 1) base diet + Mo (Mo), and 2) base diet + Mo + Vi (MoVi), were randomly applied to pens. The diet was based on cracked corn, pelleted wheat middlings, corn distillers' grain, peanut hulls and a vitamin and mineral premix. Feed was offered by pen daily, twice a day, in 10 to 15% excess. Average daily dry matter intake (DMI) was recorded per pen on a weekly basis. Animals were weighed individually on days 0, 44 and 91. After 91 days on feed animals and reaching 8 mm of back fat were considered finished and taken to a commercial abattoir to slaughter. Individual carcass and hot carcass yields were recorded. Pens were the experimental units for all variables. Effects were detected ($P<0.05$) for body weight (BW) at weighing dates 44 and 91. Likewise, effects were detected ($P<0.05$) for average daily gain (ADG), and DMI overall and between weighing dates. On average, MoVi resulted in higher

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Anguil, Ruta Nacional 5 km 580 (6326), Anguil, La Pampa. Correo electrónico: pordomingo.anibal@inta.gov.ar

²Phibro Corp.

³Universidad Nacional de Rosario (UNR), Facultad de Ciencias Veterinarias, CONECID.

44-d ($P=0,02$) and final BW ($P=0.01$). MoVi animals had higher ($P<0.01$) ADG during the first 44 days, but, no effects ($P=0.17$) were detected for the second period. Overall, ADG was 10,8% higher ($P<0.01$) for MoVi over Mo. Carcasses from MoVi were heavier ($P=0.02$), but no differences were detected ($P=0.40$) for hot carcass yield. Clearly, including Vi + Mo in a cracked-corn low-effective fiber diet for feedlot finished steers would improve ADG and DMI over Mo, with no effects on the feed efficiency. Such improvement reflected in carcass weight and did not affect hot carcass yield.

Keywords: monensin, virginiamycin, steers, feedlot fattening.

INTRODUCCIÓN

En el engorde a corral de Argentina es común el uso de dietas con aporte mínimo de fibra basado en cáscaras. Estos sistemas utilizan granos de maíz (entero o quebrado), un concentrado proteico y cáscara de maní. La carencia de partículas de fibra de más de 5 mm reduce la oferta de fibra efectiva y puede comprometer la motilidad ruminal y la producción de buffer, con la consecuente dificultad para la regulación del pH. De acuerdo con NRC (2000), la oferta de fibra efectiva de las dietas que no incluyen henos o ensilajes resultarían deficientes en fibra efectiva. En esas dietas es central la inclusión de antibióticos para modular la fermentación, regular el consumo y mitigar los efectos de la alta generación de ácido láctico. Monensina (Mo) es el antibiótico (ionóforo) más frecuente. Pero en las dietas deficientes en fibra efectiva, los efectos de Mo podrían ser mejorables con la inclusión combinada de antibióticos con mayor especificidad sobre la producción de ácido láctico. La inclusión del antibiótico viginiamicina (Vi) fue descripta como una alternativa mejoradora, reduciendo la producción de ácido láctico ruminal e incrementando la de propiónico (Nagaraja *et al.*, 1987; Tedeschi y Gorocica, 2018); es producido por *Streptomyces virginiae*, principalmente activo sobre la población bacteriana Gram positiva (Cocito, 1979; Gottschall *et al.*, 1988) y protozoaria ciliada (Nagaraja *et al.*, 1995).

La investigación sobre el uso de Vi ha estado vinculada a la protección ruminal, la mitigación de la acidosis y la aparición de abscesos hepáticos, con implicancias sobre la eficiencia de producción (Nuñez *et al.*, 2013; Salinas-Chavira *et al.*, 2009, 2016; Tedeschi y Gorocica, 2018). Por su parte, la experimentación sobre los efectos de la inclusión de Vi + monensina (Mo) (Benatti *et al.*, 2017; Salinas-Chavira *et al.*, 2016) sugiere una mejora en la eficiencia de conversión, sin afectar el nivel de consumo y producción en la fase final del engorde, respecto de la inclusión de Mo solamente. Se indica que potenciaría la efectividad de Mo por la combinación de regulación del consumo, ahorro adicional de proteína del alimento por menor degradación ruminal y mayor efectividad en la reducción de la producción de ácido láctico. No obstante, la evidencia experimental publicada de la inclusión de Vi en combinación con Mo en los engordes a corral con baja fibra efectiva es inexistente en Argentina. Este estudio evaluó el desempeño productivo y la conversión de alimento en respuesta a la combinación de Mo y Vi (MoVi) en comparación con Mo en una dieta de baja fibra efectiva basada en grano quebrado de maíz, burlanda de maíz y cáscara de maní en novillos en engorde a corral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones para investigación de CONECAR S.A. (CONCEID, Santa Fe). Ciento ochenta novillos Angus (323 ± 22 kg) fueron asignados

al azar en 12 corrales (15 novillos por corral; 6 corrales por tratamiento). Los dos tratamientos fueron: 1) dieta base + Mo (30,9 mg i.a. /kg MS), y 2) dieta base + Mo y Vi (MoVi; 30,9 y 31,3 mg i.a./kg MS, respectivamente). Los ingredientes de la dieta base fueron: maíz quebrado, burlanda de maíz, cáscara de maní, agua y una premezcla vitamínica y mineral. La dieta se formuló para ofrecer 15% de proteína bruta (PB), 20% de fibra detergente neutro (FDN), 10% de fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo con NRC (2000) (tabla 1), 3,0 y 1,40 Mcal de concentración de energía metabolizable (EM) y ganancia de peso (ENG), respectivamente (estimadas según NRC, 2000). También se tuvo en cuenta que la formulación cubriera al menos el 80% de la demanda de fibra efectiva y el 100% de la proteína degradable en rumen, estimada de acuerdo con modelo empírico de NRC (2000), para dietas de engorde de novillos, en el rango de 1,4 a 1,6 kg/día de aumento diario de peso vivo (ADPV). Entre las restricciones se consideró que la formulación fuera similar a las frecuentes de sistemas de engorde sin fibra larga, utilizadas por el sector ganadero del centro del país, y los requerimientos proteicos de animales jóvenes en

Ítem	Proporción
Grano maíz quebrado, %	48,1
Afrechillo de trigo, %	13,3
Burlanda de maíz, %	28,7
Cáscara de maní, %	7,07
Conchilla ¹ , %	1,12
Harina de girasol (pellet) ¹ , %	0,58
Harina soja 44% (pellet) ¹ , %	0,56
Sal ¹ , %	0,27
Sintox TM ¹ , %	0,15
Núcleo micromineral ^{1,2} , %	0,08
Complejo vitamínico ADE 1000/200 ¹ , mg/kg	155,3
Rumensin TM 200 ¹ , mg/kg	155,3
Stafac TM 500 ¹ , mg/kg	63,1

Tabla 1. Composición de la dieta (base seca).

¹ Se incluye premezclado con los otros ingredientes menores. RumensinTM200 y StafacTM500 se adicionaron en la proporción para proveer 30,9 y 31,3 mg/kg MS, respectivamente, en la dieta total según tratamientos.

SintoxTM se incluyó para proveer entre 15 y 20 g/animal día de adsorbente de micotoxinas del alimento.

² Mixtumine Microsomal RumiantesTM.

engorde a corral (NRC, 2000). Monensina se incorporó en la forma de Rumensin™200 (Elanco, Animal Health, Eli Lilly, Indiana, EUA) y Vi en Stafac™500 (Phibro, Animal Health Corp. BA, Argentina), dependiendo del tratamiento. Se incluyó un adsorbente de micotoxinas (Sintox™, Alinat SRL, BA, Argentina) de acuerdo con la recomendación (15 a 20 g/animal día).

Para definir la finalización del experimento se fijaron los objetivos de al menos 90 días de engorde y más de 7 mm de espesor de grasa dorsal (EGD) promedio por corral en todos los corrales (determinada por ecografía dorsal a la altura de la 11.ª costilla y a 5 cm de la línea media de lado izquierdo del animal). Ambas metas se incluyeron para asegurar una duración del engorde y un grado de terminación similares al modelo más frecuente de engorde a corral en sistemas comerciales intensivos de Argentina.

Durante 15 días previos a la asignación de tratamientos se realizó un acostumbramiento a la dieta de corral con heno de pastura. Se inició con un nivel de heno del 60% durante los primeros 7 días, se redujo luego al 30% durante los 5 días siguientes, y a partir del día 13 se sustituyó por la proporción de cáscara de maní y ajustó la proporción de los ingredientes a la dieta base prevista. El día 14 se asignaron los tratamientos a las unidades experimentales al azar.

El alimento se ofreció dos veces por día totalmente mezclado, estimando un excedente diario del 10% (en base tal cual). Todos los días, previo al suministro, se hizo lectura de comedero para ajustar la oferta del día siguiente. Se midió el consumo por corral semanalmente. A tal fin, cada 3 o 4 días se retiró y pesó el remanente de cada corral previo al nuevo suministro. Se restó el remanente del ofrecido acumulado y dividió por la cantidad de días correspondientes a los suministros y la cantidad de animales por corral, asignando un valor medio de consumo por animal y por corral a cada uno de los días. Los consumos fueron corregidos por materia seca (MS), obteniendo el dato de consumo de materia seca (CMS) para el animal promedio de cada corral en cada período y la totalidad del ensayo.

Se recolectaron muestras del ofrecido y del remanente de cada corral en cada evento de medición de consumo. Se generó una muestra compuesta mensual por tratamiento y corral, tanto para ofrecido como remanente, para determinar el

contenido de MS. El contenido de MS se determinó por secado en estufa a 60 °C hasta peso constante (AOAC, 2000). Las muestras se molieron en molino Willey (a 5 mm). Una muestra compuesta del ofrecido de todos los corrales y de todo el experimento se analizó por contenido de proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con metodologías AOAC (2000), y contenido de fibra detergente ácido (FDA, %) y neutro (FDN, %) de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991). Se calculó la concentración de energía metabolizable (EM), y de energía neta para mantenimiento (ENm) y para ganancia de peso (ENG) de la dieta (NRC, 2000). La tabla 2 reporta la composición y la oferta energética.

Los animales se pesaron los días 0, 44 y 91 del experimento (excluido el período de acostumbramiento), con un desbaste de 17 horas, por la mañana, previo al suministro del alimento. Se calculó el CMS relativo al peso (CMSPV) relacionando el CMS diario medio con el PV medio de cada período entre pesadas y de la totalidad del ensayo, expresado en porcentaje. Con la información de PV se calculó el PV medio y con los días entre pesadas (44 y 47) y la duración total (91 días) se calculó el ADPV para cada período y la totalidad del ensayo. Con las mediciones de ADPV y CMS se calculó la eficiencia de conversión del alimento expresada como la relación entre el ADPV y el CMS (EfC).

A los 91 días y alcanzados los objetivos se dio por terminado el experimento. Los animales se trasladaron por la tarde con destino a faena en un frigorífico comercial habilitado para exportación, a 80 km del sitio experimental. Los animales fueron faenados a las 10 horas de su arribo. Se realizaron las determinaciones de peso de la res (PR) de cada animal y se calculó el rendimiento de res caliente (RtoRes) como la relación entre el PR y el PV final, al que se le aplicó el 3% de desbaste adicional, índice utilizado comúnmente en la práctica comercial del feedlot a la planta de faena para lotes enviados con desbaste previo. El RtoRes se expresó en porcentaje.

Para las variables de PV inicial y final y las calculadas como promedio de 91 días ADPV, CMS, CMSPV y EfC, como las de PR y RtoRes el análisis estadístico se basó en un diseño completamente aleatorizado con 6 repeticiones (corrales) por tratamiento y 2 tratamientos de acuerdo con el modelo: $Y_{ij} = \mu + T + e_{ij}$, donde Y_{ij} = observación, μ = media general, T = efecto fijo suplemento, y e = error azar (residual). Por la naturaleza balanceada de la cantidad de individuos por corral, se obvió la inclusión en el modelo del animal anidado en el corral.

Las determinaciones referidas a los períodos entre pesadas fueron analizadas con un modelo de un diseño totalmente aleatorizado tipo Split plot. Se asignaron los 2 tratamientos a la parcela principal y 2 períodos en la subparcela: $Y_{ij} = \mu + T_i + P_j + (T*P)_{ij} + T_{ij}*(P) + e_{ij}$, donde Y_{ij} = observación, μ = media general, T_i = efecto fijo de tratamiento, P_j = efecto fijo de período, $(T*P)_{ij}$ = interacción de efectos fijos, $T_{ij}*(P)$ = error experimental para tratamiento, y e_{ij} = error (residual). Las interacciones entre factores se consideraron significativas al nivel $P < 0,05$. El factor tratamiento se evaluó usando $T_{ij}*(P)$. Período y la interacción $T*P$ se evaluaron utilizando el error residual (Proc GLM, SAS, 2002). Las medias se separaron por la misma prueba de F (SAS, 2002), considerándola significativa a nivel de $P < 0,05$.

RESULTADOS

No se detectaron interacciones ($P \geq 0,07$) entre tratamiento y período para ninguna de las variables objeto de estudio. A los

Composición nutricional ¹	
PB, %	15,2
FDN, %	21,5
FDA, %	11,2
Extracto etéreo, %	6,4
Concentración de energía (NRC, 2000)	
EM, Mcal/kg MS	3,0
ENm, Mcal/kg MS	1,78
ENg, Mcal/kg MS	1,36

Tabla 2. Composición nutricional y concentración energética de la dieta ofrecida.

MS = Materia seca.

¹ PB = Proteína bruta; FDN = Fibra detergente neutro; FDA = Fibra detergente ácido; EM = Energía metabolizable; EN m = Energía neta para mantenimiento; EN g = Energía neta para ganancia de peso (NRC, 2000).

Período, ítem	Mo	MoVi	EEM	P =
Peso vivo (PV), kg				
día 0	323	322	2,3	0,84
día 44	389	399	3,0	0,02
día 91	449	463	3,7	0,01
Aumento peso vivo (ADPV), kg/día				
día 0 a 44	1,49	1,74	0,04	<0,01
día 45 a 91	1,30	1,36	0,031	0,17
día 0 a 91	1,39	1,54	0,03	<0,01
Peso de res, kg	249	258	2.3	0,02
RtoRes, %	58,4	58,7	0.22	0,40

Tabla 3. Efecto de la inclusión de virginiamicina + monensina en una dieta basada en grano quebrado de maíz y baja fibra efectiva sobre la evolución del peso, el aumento de peso, el peso de res y el rendimiento en res de novillos en engorde a corral.

n = 6 corrales; (15 novillos por corral).

Mo = Dieta con monensina.

MoVi = Dieta con monensina y virginiamicina.

EEM = Error estándar de la media.

P = P valor para F > Fo.

RtoRes = Rendimiento de res en caliente (Peso res/PV final frigorífico).

Período	Mo	MoVi	EEM	P =
Consumo MS (CMS), kg/día				
día 0 a 44	10,9	12,2	0,20	<0,01
día 44 a 91	10,5	11,5	0,24	0,03
día 0 a 91	10,7	11,8	0,20	<0,01
CMSPV, (CMS/PV medio) %				
día 0 a 44	3,1	3,4	0,08	0,01
día 44 a 91	2,5	2,7	0,09	0,01
día 0 a 91	2,8	3,0	0,06	0,03

Tabla 4. Efecto de la inclusión de virginiamicina V-Max + monensina en una dieta basada en grano quebrado de maíz y baja fibra efectiva sobre el consumo de novillos en engorde a corral.

n = 6 corrales; (15 novillos por corral).

Mo = Dieta con monensina.

MoVi = Dieta con monensina y virginiamicina.

EEM = Error estándar de la media.

P = P valor por F > Fo.

44 días los animales de MoVi resultaron 10 kg más pesados (P=0,02) que los de Mo y a los 91 días era 14 kg más pesados (P=0,01) (tabla 3). Los animales de MoVi superaron a los de Mo en 250 g/día de ADPV en el primer período (P<0,01) y en 60 g/día en el segundo, aunque el efecto no fue significativo en este período (P=0,17). En los 91 días, la diferencia de ADPV fue de 140 g/día a favor de MoVi (P<0,01). El PR resultó 9 kg superior (P=0,02) para MoVi respecto de Mo (3,6%). Los tratamientos no se diferenciaron en RtoRes (P = 0,40) promediando 58,6 ± 0,20%.

El CMS resultó superior (P≤0,03) para MoVi en ambos períodos y en a la totalidad del experimento (tabla 3). Decreció en términos relativos al PV del primer período al segundo para ambos tratamientos (P<0,01) y fue mayor (P≤0,03) para MoVi en ambos períodos y la totalidad del ensayo (tabla 4). La EfC fue similar (P=0,36) en promedio de los 91 días (130 ± 0,43 g/kg) (tabla 5). Durante el primer período se observó una tendencia en EfC a favor del tratamiento MoVi (P=0,07), pero que se diluyó en el segundo período por una respuesta numéricamente invertida.

Período	Mo	MoVi	EEM	P =
día 0 a 44	136	142	4,0	0,07
día 44 a 91	123	118	11,5	0,48
día 0 a 91	129	130	3,1	0,36

Tabla 5. Efecto de la inclusión de virginamicina + monensina en una dieta basada en grano quebrado de maíz y baja fibra efectiva sobre la eficiencia de conversión del alimento (aumento de peso/consumo; g/kg) de novillos en engorde a corral.

n = 6 corrales; (15 novillos por corral).

Mo = Dieta con monensina.

MoVi = Dieta con monensina y virginiamicina.

EEM = Error estándar de la media.

Interacción tratamiento x período, P = 0,07.

P = Valor de F > Fo.

DISCUSIÓN

Rogers *et al.* (1995) reportaron que la suplementación con Vi en el rango de 19,3 a 27,3 mg/kg de alimento permitiría incrementar el ADPV y en el rango de 13,2 a 19,3 mg/kg la eficiencia de conversión. Indicaron que ofrecida en el rango de 16,5 a 19,3 mg/kg contribuiría a reducir abscesos hepáticos. Salinas-Chavira *et al.* (2016) reportaron que la inclusión de Vi en dietas de recría y terminación incrementaba la utilización de la energía. Montano *et al.* (2015), en una síntesis de 7 experimentos, reportaron un incremento del 4,6% del ADPV y 3,6% de mejora en la conversión del alimento por suplementar con Vi (19 a 27 mg/kg MS de alimento). Costa *et al.* (2015) reportaron 5,9% de mejora en la oferta de energía neta, sin efectos sobre el ADPV. En un metanálisis de casos europeos con suplementación de Mo o Vi versus un control (sin inclusión de antibiótico), Gorocica y Tedeschi (2017) reportaron mayor ADPV para Vi y Mo, respecto de control. Incluso, el ADPV de Vi superó a Mo, sin diferencias en CMS o en EfC.

Sobre 26 estudios incluyendo 7156 animales, Tedeschi y Gorocica (2018) concluyeron que Vi incrementó el ADPV en 2,08 g por mg/kg MS, comparado con 0,92 g por mg/kg MS para Mo, sugiriendo que Vi resultó 2,3 veces más efectiva que Mo sobre el ADPV a la misma dosis y período de alimentación. Reportaron una consistente reducción de incidencia de abscesos hepáticos con la inclusión de Vi en el rango de 12 a 24 mg/kg MS. Justificaron la reducción principalmente en el incremento de la eficiencia ruminal en la transformación de la energía. Nagaraja y Chengappa (1998) y Narayanan *et al.* (1998) habían reportado la efectividad de Vi sobre la reducción de la presencia ruminal de *Fusobacterium necrophorum* y *Actinomyces pyrogenes*. Un año antes Nagaraja *et al.* (1987) habían reportado los efectos de mejora del crecimiento animal debido a una mayor eficiencia de uso de para energía, resultante de una reducción de lactato e incremento de propionato en el rumen con la inclusión de Vi. Otros estudios (Vervaeke *et al.*, 1979; Ravindran *et al.*, 1984; Agudelo *et al.*, 2007; Ives *et al.*, 2002) consideraron también que Vi podría mejorar la absorción posruminal de nutrientes. Ives *et al.* (2002) indicaron que la suplementación con Vi podría reducir la actividad de desaminación de las proteínas en el rumen. Navarrete *et al.* (2017) evaluaron el efecto de Vi sobre la performance animal a varios niveles de oferta de ENm (2,22 a 2,1 Mcal/kg) y concluyeron que Vi resultó en mejora de la eficiencia de uso de la energía.

La respuesta animal a la combinación de Mo y Vi ha sido si embargo poco estudiada. Rigueiro *et al.* (2016) reportaron mejor adaptación ruminal a la dieta de alto contenido de almidón (incremento progresivo del consumo y menor incidencia de acidosis) con la inclusión de Vi a una la dieta de alto almidón con Mo. Esos autores sugirieron incorporar Vi en la terminación con el objeto de evitar depresión del CMS. En el presente experimento, sin embargo, la inclusión de la combinación de ambos antibióticos mejoró el CMS, sin afectar la EfC. En concordancia con los resultados del presente ensayo, Kawas *et al.* (2015) reportaron mejora del ADPV, el peso de res, con una leve mejora en la conversión del alimento con dosis similares.

En nuestro experimento, la incorporación de ambos antibióticos generó una respuesta positiva en el ADPV y el CMS. El experimento no incluyó estudios de la fermentación y el metabolismo para justificar los efectos observados, pero podría hipotetizarse que la incorporación de Vi habría permitido lograr una mayor homeostasis de la fermentación y moderación de la depresión del pH ruminal, finalmente resultante en mayor propensión a consumir, sin deprimir la eficiencia de la utilización de los alimentos y la conversión. Lemos *et al.* (2016) no detectaron diferencias en ADPV, CMS, EfC, peso de res, EGD y *marbling*; o en parámetros de la fermentación ruminal (AGV, N amoniacal, pH y densidad de protozoos) al agregar Vi a dietas que incluían Mo en engorde de novillos zebú sobre dieta de baja fibra en dosis del rango del presente experimento.

Aunque habría cierta coincidencia en la literatura (Kawas *et al.*, 2015; Rigueiro *et al.*, 2016) con el presente trabajo respecto de efectos positivos sobre el ADPV, la justificación reportada en la bibliografía no es consistente aún. En algunos casos, la respuesta en ADPV sería explicable en el CMS (como en el presente trabajo) y en otros en la EfC (Silva *et al.*, 2004; Salinas-Chavira *et al.*, 2016). Los reportes son consistentes en el efecto de Vi como modulador del pH ruminal (Coe *et al.*, 1999; Owens *et al.*, 1998; Rogers *et al.*, 1995) y la mitigación de la incidencia de abscesos hepáticos (Tedeschi y Gorocica, 2018).

Adicionalmente, la investigación no ha abundado aún en los tipos de dieta, en función del tipo y procesado de granos, como la forma y proporción de fibra efectiva. No existen reportes sobre dietas sin fibra larga (henos o ensilajes), basadas en una fracción grosera de cáscaras como la del presente experimento. Cabría explorar en estudios posteriores los mecanismos que dieran lugar a la respuesta detectada en el marco de dietas como la del presente ensayo.

CONCLUSIONES

La combinación de Mo y Vi fue efectiva en mejorar la respuesta productiva. La combinación incrementó el ADPV en 10,8% y 10,3% el CMS, sin detectarse efectos sobre la eficiencia de conversión de alimento a peso vivo. Tampoco se detectaron efectos sobre el rendimiento de res.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las empresas Phibro Argentina S.A. y CONECID por la provisión de los recursos económicos y físicos para la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, J.H.; LINDEMANN, M.D.; CROMWELL, G.L.; NEWMAN, M.C.; NIMMO, R.D. 2007. Virginiamycin improves phosphorus digestibility and uti-

lization by growing-finishing pigs fed a phosphorus-deficient, corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 85, 2173-2182.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 18th edition (AOAC, Arlington, VA).

BENATTI, J.M.B.; ALVEZ NETO, J.A.; DE OLIVEIRA, I.M.; DE RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nellore cattle. *Anim. Sci. J. (Japanese Society of Animal Sci)* 88, 1708-1714.

COCITO, C. 1979. Antibiotics of the virginiamycin family, inhibitors which contain synergistic components. *Microbiol. Rev.* 43,145-192.

COE, M.L.; NAGARAJA, T.G.; SUN, Y.D.; WALLACE, N.; TOWNE, E.G.; KEMP, K.E.; HUTCHESON, J.P. 1999. Effect of Virginiamycin on Ruminal Fermentation in Cattle During Adaptation to a High Concentrate Diet and During an Induced Acidosis. *J. Anim. Sci.* 77, 2259-2268. doi:10.2527/1999.7782259x

COSTA, A.J.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; ASSUMPCAO, J.J.; LEMEAND, R.; DUARTE, D.P. 2015. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Sci. Agric.* 70, 229-236. doi:10.2527/1998.761275x

GOROCICA, M.A.; TEDESCHI, L.O. 2017. A meta-analytical approach to evaluate the performance of cattle fed virginiamycin or monensin under feedlot conditions from seven European countries. *J. Anim. Sci.* 95, (S4):71.

GOTTSCHALL, D.W.; WANG, R.; KINGSTON, F.G. 1988. Virginiamycin metabolism in cattle rumen fluid. *Drug Metab. Dispos.* 16, 804-812.

IVES, S.E.; TITGEMEYER, E.C.; NAGARAJA, T.G.; DEL BARRIO, A.; BINDEL, D.J.; HOLLIS, L.C. 2002. Effects of virginiamycin and monensin plus tylosin on ruminal protein metabolism in steers fed corn-based finishing diets with or without wet corn gluten feed. *J. Anim. Sci.* 80, 3005-3015.

KAWAS, J.R.; ALVARADO, R.; GOROCICA, M.A.; FLUHARTY, F.L. 2015. EFFECTS OF INCLUDING VIRGINIAMYCIN IN FEEDLOT DIETS CONTAINING MONENSIN UNDER COMMERCIAL CONDITIONS IN MEXICO. *J. ANIM. SCI.* 93 (S3), 436.

LEMOS, B.J.M.; CASTRO, F.G.F.; SANTOS, L.S.; MENDONÇA, B.P.C.; COU-TO, V.R.M.; FERNANDES, J.J.R. 2016. Monensin, virginiamycin, and flavomycin in a no-roughage finishing diet fed to zebu cattle. *J. Anim. Sci.* 94, 4307-4314. doi:10.2527/jas.2016-0504

MONTANO, M.F.; MANRIQUEZ, O.M.; SALINAS-CHAVIRA, J.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2015. Effects of monensin and virginiamycin supplementation in finishing diets with distiller dried grains plus solubles on growth performance and digestive function of steers. *J. Applied Animal Res.* 43, 417-425. doi:10.1080/09712119.2014.978785

NAGARAJA, T.G. 1995. Ionophores and antibiotics in ruminants. En: WALLACE, R.J.; CHESSON, A. (eds.). *Biotechnology in animal feeds and animal feeding*. VCH Publishers Inc., New York, NY. 173-204 p.

NAGARAJA, T.G.; CHENGAPPA, M.M. 1998. Liver abscesses in feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76, 287-298. doi:10.2527/1998.761287x

NAGARAJA, T.G.; TAYLOR, M.B.; HARMON, D.L.; BOYER, J.E. 1987. In vitro lactic acid inhibition and alterations in volatile fatty acid production by antimicrobial feed additives. *J. Anim. Sci.* 65, 1064-1076. doi:10.2527/jas1987.6541064x

NAGARAJA, T.G.; GODFREY, S.; WINSLOW, S.; ROWE, J. 1995. Responses in ciliated protozoa and rumen fermentation in sheep supplemented with barley plus virginiamycin. *Austr. J. Agric. Res.* 46, 1137-1147. doi:10.1071/AR951137

NARAYANAN, S.; NAGARAJA, T.G.; STAATS, J.; CHENGAPPA, M.M.; OBERST R.D. 1998. Biochemical and biological characterizations and ribotyping of actinomyces pyogenes and actinomyces pyogenes-like organisms from liver abscesses in cattle. *Vet. Microbiol.* 61, 289-303. doi:10.1016/S0378-1135(98)00190-4

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2000. Nutrients requirements of beef cattle, 7th edn. National Academy Press, Washington, D. C.

NAVARRETE, J.D.; MONTANO, M.F.; RAYMUNDO, C.; SALINAS-CHAVIRA, J.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2017. Effect of energy density and virginiamycin supplementation in diets on growth performance and digestive function of finishing steers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 30, 1396-1404. doi:10.5713/ajas.16.0826

NUÑEZ, A.J.C.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; DEMARCHI, J.A.; LEME, P.R.; LANA, P.D. 2013. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Scientia Agricola* 70, 229-236.

OWENS, F.N.; SECRIST, D.S.; HILL, W.J.; GILL, D.R. 1998. ACIDOSIS IN CATTLE: A REVIEW. *J. ANIM. SCI.* 76, 275-286.

RAVINDRAN, V.; KRONEGAY, E.T.; WEBB, JR.K.E. 1984. Effects of fiber and virginiamycin on nutrient absorption, nutrient retention, and rate of passage in growing swine. *J. Anim. Sci.* 59, 400-408.

RIGUEIRO, A.L.; LUIZ, F.P.; SQUIZZATTI, M.M.; ASSUMPCÃO, A.H.; FERREIRA, M.M.; GARCIA, C.P.; MULLER, L.R.; BUENO, A.P.D.; MARTINS, C.L.; ARRIGONI, M.D.; MILLEN, D.D. 2016. Feedlot performance and carcass traits of Nellore cattle fed different combinations of sodium monensin and virginiamycin. *J. Anim. Sci.* 94(Suppl. 5), 1.

ROGERS, J.A.; BRANINE, M.E.; MILLAR, C.R.; WRAY, M.I.; BARTLE, S.J.; PRESTON, R.L.; GILL, D.R.; PRITCHARD, R.H.; STILBORN, R.P.; BECHTOL, D.T. 1995. Effects of dietary virginiamycin on performance and liver abscess incidence in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 9-20.

SALINAS-CHAVIRA, J.; BARRERAS, A.; PLASCENCIA, A.; MONTANO, M.F.; NAVARRETE, J.D.; TORRENTERA, N.; ZINN, R.A. 2016. Influence of protein nutrition and virginiamycin supplementation on feedlot growth performance and digestive function of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 94, 4276-4286.

SALINAS-CHAVIRA, J.; LENIN, J.; PONCE, E.; SANCHEZ, U.; TORRENTERA, N. Y.; ZINN, R.A. 2009. Comparative effects of virginiamycin supplementation on characteristics of growth-performance, dietary energetics, and digestion of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87, 4101-4108.

SAS, 2002. SAS User's Guide: Statistics (Version 8.2). SAS Institute Inc, Cary, NC, EUA. 3884 p.

SILVA, S.L.; ALMEIDA, R.; SCHWAHOFER, D.; LEME, P.R.; LANNA, D.P.D. 2004. Effects of salinomycin and virginiamycin on performance and carcass traits of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 82, 41-42.

TEDESCHI, LO.; GOROCICA-BUENFIL, M.A. 2018. An assessment of the effectiveness of virginiamycin on liver abscess incidence and growth performance in feedlot cattle: a comprehensive statistical analysis. *J. Anim. Sci.* 96, 2474-2489.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.

VERVAEKE, I.J.; DECUYPERE, J.A.; DIERICK, N.A.; HENDERICKX, H.K. 1979. Quantitative in vitro evaluation of energy metabolism influenced by virginiamycin and spiramycin used in growth promoters in pig nutrition. *J. Anim. Sci.* 49, 846-856.

Efecto del nivel de suplementación con harina de algodón sobre el consumo y el aumento de peso en bovinos en recría alimentados con silaje de sorgo

Publicado online 06 de abril de 2022

Chiossone, J.L.¹; Balbuena, O.²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto la suplementación proteica con harina de algodón (HA; 351 g kg⁻¹ PB) a niveles de 0 (P0; Testigo), 3,0 (P1), 6,0 (P2) y 9,0 (P3) g kg⁻¹ de peso vivo (PV), sobre el consumo de materia seca (CMS), consumo de silaje (CS), aumento de peso (ADPV), eficiencia de conversión de los alimentos (IC) y nitrógeno ureico en sangre (NUS) en bovinos jóvenes alimentados con silaje de sorgo (SS). Se emplearon un total de 24 animales, 12 machos castrados y 12 hembras de peso promedio 187 ± 12 kg, distribuidos en 8 corrales a razón de tres por corral en un diseño completamente aleatorizado. El SS de planta entera fue confeccionado, a partir de un híbrido doble propósito ("VDH 422"), en el estadio de grano pastoso. La duración del experimento fue de 98 días, con 14 días de acostumbramiento y 84 de medición. Las variables fueron sometidas a análisis de la varianza, y los tres grados de libertad pertenecientes a los tratamientos se partitionaron en contrastes lineal, cuadrático y cúbico. El CMS, ADPV, IC y NUS se incrementaron ($p > 0,05$) en forma cuadrática con el aumento en el nivel de suplementación, con excepción del NUS que presentó efecto cúbico ($C < 0,05$). El consumo de silo (CS) expresado en kg MS an⁻¹ d⁻¹ difirió ($p < 0,05$) con el aumento del nivel de suplementación, pero no se detectan diferencias ($p = 0,12$) como g kg⁻¹ PV, aunque en ambos casos se verificó un efecto cuadrático ($Q < 0,05$). El tratamiento testigo (P0) presentó un ADPV de 0,07 kg an⁻¹ d⁻¹, con un CS de 18,2 g kg⁻¹ PV que se incrementó 31,3% al incluir 3 g kg⁻¹ PV de HA. La evidencia permite concluir que no es recomendable la utilización del silaje de sorgo como único alimento. La suplementación con harina de algodón tuvo un efecto positivo sobre CMS, CS, ADPV e IC, siendo recomendable hasta el nivel de 6 g kg⁻¹ del peso vivo, ya que un nivel superior no cambia estas variables.

Palabras clave: silaje de sorgo, suplementación proteica, consumo, ganancia de peso, harina de algodón, nitrógeno ureico en sangre.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effect of protein supplementation with Cottonseed meal (CSM; 351 g kg⁻¹ PB) at levels of 0 (P0; Control), 3,0 (P1), 6,0 (P2) and 9,0 (P3) g kg⁻¹ of live weight (LW), on total dry matter intake (DMI), silage dry matter intake (SI) average daily gain (AVG), feed conversion efficiency (FC) and blood urea nitrogen (BUN) in young beef cattle fed with sorghum silages. Twelve steers and twelve heifers averaging 8 months of age and 187 ± 12 kg, were distributed in 8 pens in a completely randomized design. Whole plant sorghum silage was made from double purpose hybrid, at late-dough stage of maturity. The experiment lasted 98 days, with 14 days for adaptation and 84 days for measurement. The variables were subjected to analysis of variance, and the three degrees of freedom from the traits were partitioned in lineal, quadratic and cubic effect contrast. DMI, AVG, FC and BUN increased ($p < 0,05$) in a quadratic manner with supplementation level, except BUN that showed cubic effect ($p < 0,05$). SI in kg DM an⁻¹ d⁻¹ was different ($p < 0,05$) with the increase of supplementation level, but there was not different ($p = 0,12$) expressed as g kg⁻¹ BW, although in both cases a quadratic effect was observed ($p < 0,05$). AVG of Control (P0) was 0,07 kg an⁻¹ d⁻¹, with a

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Sáenz Peña y Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus), Cmte. Fernández 755 (3700), Sáenz Peña, Chaco. Correo electrónico: chiossone.jose@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Cnia. Benítez y Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Echeverría 1155, (3500), Resistencia, Chaco.

18,2 g kg⁻¹ LW of SI, that was increased 31,3% when was included 3 g kg⁻¹ LW of CSM. The results of the assessments show that is not recommended feed young animals with sorghum silages as only feed. Supplementation with CSM had a positive effect on DMI, SI, ADG and FC, being recommended a 6 g kg⁻¹ LW level, because a superior level showed no improvement.

Keywords: sorghum silage, protein supplementation, intake, weight gain, cottonseed meal, blood urea nitrogen.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es una de las principales actividades económicas del NEA y de la provincia del Chaco (Plan Ganadero Chaco, 2020), y se sustenta sobre una base forrajera compuesta principalmente por pastizales naturales y en menor medida pasturas, cuya característica principal es que están compuestas por especies estivales, y esto determina una oferta de forraje desuniforme, ofreciendo escasa cantidad y baja calidad durante el invierno (Pizzio y Bendersky, 2018). Este déficit invernal de alimento compromete, entre otros aspectos productivos de relevancia, las adecuadas ganancias de peso en la recría de las hembras de reposición para llegar con peso adecuado al primer servicio (Sampedro y Flores, 2018). En este contexto, la utilización de forrajes conservados, como henos y silajes, cumplen un rol fundamental para mantener adecuados niveles nutricionales durante el periodo invernal (Bendersky y Flores, 2011).

Una de las principales características de los henos y silajes de gramíneas tropicales es que poseen un contenido de proteína bruta (PB) que varía de 50 a 90 g kg⁻¹ de pesos vivo (PV) (Bendersky y Flores, 2011), deficientes para cubrir los requerimientos de bovinos jóvenes, tanto del huesped (Santini *et al.*, 1997; De León y Simondi, 2002), como de los microorganismos ruminales. Por debajo de un nivel crítico mínimo de 60 a 80 g kg⁻¹ de PB en la dieta, la degradación de la materia orgánica y la síntesis de proteína microbiana se deprimen, y el consumo y la digestibilidad disminuyen (Clark *et al.*, 1992; Van Soest, 1994). En la región chaqueña existen numerosas experiencias de utilización de henos con distintos niveles de suplementación proteica (Balbuena *et al.*, 2002a; Kucseva *et al.*, 2002; Slanac *et al.*, 2002), pero pocas con silajes de sorgo (Chiossone y Balbuena, 2010). Por lo tanto, es necesario caracterizar la respuesta de animales alimentados con silaje de sorgo con distintos niveles de suplementación de PB. El consumo de exceso de PB incrementa los requerimientos de energía en 13,3 kcal de ED por gramo en exceso de N, los suplementos proteicos son los ingredientes más costosos en las dietas, la excreción excesiva de N tiene un impacto ambiental negativo y el exceso de N puede afectar el desempeño reproductivo por elevada concentración de urea en los fluidos del tracto urogenital (Broderick y Clayton, 1997).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de distintos niveles de suplementación proteica sobre el consumo de materia seca, aumento de peso, eficiencia de conversión de los alimentos y el nivel de urea en sangre en bovinos en recría alimentados con silaje de sorgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Sáenz Peña (26° 50' S; 60° 25' O).

El silaje de sorgo (SS) se realizó a partir de un híbrido doble propósito ("VDH 422" – Advanta Semillas) sembrado a principio de enero en surcos a 0,52 m a razón de 15 semillas por metro lineal, con barbecho mecánico previo de 40 días. Para control de malezas, en preemergencia se aplicó glifosato 62% (2,0 l ha⁻¹) y atrazina 50% (2,5 l ha⁻¹). Durante el ciclo se realizó un control de isocas con lambdacihalotrina 5% (0,2 l ha⁻¹). El corte y picado fue realizado con una picadora "Mainero 4751" con cabezal rotativo. El rendimiento fue 31,8 t MV ha⁻¹. El tamaño de picado fue intermedio (aproximadamente 15 mm). El almacenado se realizó en bolsas plásticas de 200 micrones de espesor, de 6 pies de diámetro con una máquina "Martinez Staneck".

Se utilizó harina de algodón (HA) pelleteada, adquirida en una sola partida, almacenado en bolsas de 40 kg.

Se utilizaron 12 novillitos y 12 vaquillonas de raza Braford, de características similares pertenecientes a la Asociación Cooperadora de EEA INTA Sáenz Peña, de peso 187 ± 12 kg, y edad promedio 8 meses. Los animales fueron separados en 8 corrales con 3 animales en cada uno, entre los cuales se sortearon los tratamientos. Los corrales tenían 120 m² con la correspondiente provisión de agua y comederos para el suministro de alimento a razón de 70 cm por animal.

La duración del experimento fue de 98 días, con 14 días de acostumbramiento y 84 de medición. El día 15 y 99 se pesaron todos los animales individualmente con 9 horas de ayuno previo. Además se realizaron dos pesadas intermedias sin desbaste, los días 42 y 70, para control y ajuste de la suplementación. El ensayo se llevó a cabo entre los meses de julio y octubre.

Previo al inicio del ensayo los animales fueron desparasitados (ivemectina 1%), suplementados con cobre inyectable de liberación lenta, y vacunados contra enfermedades respiratorias.

El SS se suministró *ad libitum* en dos turnos, a las 9:00 y 16:00 h, manteniendo un excedente diario superior al 10%. El EA se suministró por la mañana (7:00 h) previo al silaje en el mismo comedero.

El SS se extrajo diariamente con una profundidad de 35 cm, con el fin de que el material no permanezca expuesto por más de un intervalo de alimentación a la acción del aire con el consecuente deterioro.

Los animales tuvieron disponible una mezcla mineral completa (cloruro de sodio, yodo, calcio, fósforo, hierro, potasio, magnesio, harina de hueso calcinado y polifosfatos).

Los tratamientos evaluados fueron: Testigo SS solamente (P0), SS con 3,0 g kg⁻¹ PV de HA (P1), SS con 6,0 g kg⁻¹ PV de HA (P2), SS con 9,0 g kg⁻¹ PV de HA (P3).

Los niveles de suplementación con HA fueron fijados a niveles equidistantes para establecer la relación funcional entre el CMS y el suministro de N en la dieta. Se utilizó como referencia el trabajo de Chiossone y Balbuena, (2010), que evaluaron

dos niveles de suplementación (4,4 y 8,6 g kg⁻¹ PV), donde el tratamiento inferior fue establecido con el objetivo de cubrir los requerimientos proteicos (NRC, 1984) a partir de la energía aportada por el silaje, y el tratamiento superior se estableció para aportar un 50% más de la proteína requerida.

Variables medidas

Aumento diario de peso vivo (ADPV; kg an⁻¹ d⁻¹): se calculó mediante la diferencia entre la pesada final e inicial.

Consumo de materia seca (kg MS an⁻¹ d⁻¹ y g kg⁻¹ PV): en cada corral se realizó la medición del consumo grupal pesando la oferta alimento y el remanente recogido del comedero por la mañana antes del primer suministro diario. Esto se realizó durante tres periodos de 5 días consecutivos entre los días 38 a 42, 66 a 70 y 94 a 98.

Índice de conversión (IC; kg kg⁻¹): se calculó como el cociente entre CMS y el ADPV promedio de todo el periodo para cada tratamiento.

Variable	Silaje ofrecido	Harina de algodón
MS (g kg ⁻¹)	291 ± 5,7	920 ± 6,0
PB (g kg MS ⁻¹)	70 ± 4,2	351 ± 34,6
FDN (g kg MS ⁻¹)	608 ± 60,2	423 ± 18,5
FDA (g kg MS ⁻¹)	350 ± 24,7	224 ± 62,0
LDA (g kg MS ⁻¹)	61 ± 3,8	74 ± 26,9
EE (g kg MS ⁻¹)	36 ± 3,2	19 ± 4,5
Cenizas (g kg MS ⁻¹)	34 ± 1,2	19 ± 4,5
NIDA (g kg NT ⁻¹)	280 ± 3,2	70 ± 13,3

Tabla 1. Contenido (media ± desvío estándar) de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), extracto etéreo (EE), cenizas y nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDA) de los alimentos utilizados.

Nitrógeno ureico en sangre (NUS; mg 100 ml⁻¹): al finalizar el periodo de experimentación (día 90) transcurridas 5 horas de la alimentación matutina se realizó la extracción de sangre por punción yugular de cada animal. Se determinó el contenido de urea en plasma a través del método cinético por reacción con ureasa (Reactivos Roche). Se asumió que los valores de nitrógeno ureico en plasma (NUP) y el NUS son similares. Según Broderick y Clayton (1997), NUP = 1,0 * NUS-0,136 con r²=0,95.

Análisis de alimentos

Durante los periodos de medición del consumo diariamente se tomaron muestras de todos los alimentos y se conservaron congeladas. Finalizado el periodo de experimentación, las muestras se enviaron al Laboratorio de Producción Animal del INTA EEA Rafaela para realizar los siguientes análisis: FDN, FDA y LDA (Protocolo PROMEFA para equipos ANKOM, Jaurena y Wawrzkiwicz, 2009), PB (AOAC, 1998), NIDA, EE (AOAC, 1990).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (ya que no hubo diferencia entre bloques de sexo) con dos repeticiones (corral) por tratamiento.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} es la observación del tratamiento i en la unidad j ; μ corresponde a la media general; T_i es el efecto del tratamiento i ; ε_{ij} es el término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} .

Las variables fueron sometidas a análisis de la varianza, y los tres grados de libertad pertenecientes a los tratamientos se partitionaron en contrastes lineal, cuadrático o cúbico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se detallan los valores promedio de los distintos parámetros de calidad del SS y HA utilizados.

El contenido de materia seca (MS) del silaje de sorgo se encontró dentro del rango 280 y 350 g kg MS⁻¹, recomendado para obtener una adecuada fermentación y conservación de forraje (Gallardo, 2008).

Variable	Nivel de harina de algodón					EE	p	Efecto
	P0	P1	P2	P3				
Consumo (kg MS an ⁻¹ d ⁻¹)								
CMS	3,3	5,7	6,6	6,9	0,33	0,0014	L, Q	
CHA	0,0	0,6	1,3	2,0				
CS	3,3	5,1	5,3	5,0	0,33	0,0107	L, Q	
CPB	0,2	0,6	0,8	1,0	0,03	<0,0001	L, Q	
Consumo (g kg ⁻¹ PV)								
CMS	18,1	26,0	28,4	29,5	1,77	0,0099	L, Q	
CHA	0	2,8	5,6	8,4				
CS	18,1	23,2	22,8	21,2	1,68	0,1177	Q	

Tabla 2. Promedios de consumo total (CMS), consumo de harina de algodón (CHA), consumo de silaje (CS), expresado en kg MS an⁻¹ d⁻¹ y g kgPV⁻¹, y consumo de proteína bruta (CPB) en kg MS an⁻¹ d⁻¹, de los tres periodos de medición, para cada tratamiento. En la última columna las letras L, Q y C indican la existencia de efecto lineal, cuadrático o cúbico, respectivamente, para un nivel p<0,05.

El contenido de proteína del SS fue de $70 \pm 4,2 \text{ g kg}^{-1}$ (tabla 2). Este valor fue cercano los valores promedio 70 g kg^{-1} hallado en la bibliografía cuando se incluyen ensayos realizados en la región subtropical (Pimentel *et al.*, 1998; Chiossone y Balbuena, 2010; Bendersky y Flores, 2011).

El contenido de FDN y FDA fue superior al encontrado como promedio en la bibliografía, sin embargo, se encuentra dentro de parámetros aceptables.

El origen del HA utilizado fue una planta de extracción de aceite por solvente lo cual explica el bajo contenido de extracto etéreo. En varios ensayos regionales de suplementación proteica utilizando harina de algodón se informan valores de 308 a 391 g kg^{-1} de PB (Balbuena *et al.*, 2000; Kucseva *et al.*, 2002; Balbuena *et al.*, 2003).

Los valores promedio de PB que tuvieron las dietas en cada tratamiento fueron 70,6, 100,4, 125,2 y $150,2 \text{ g kg MS}^{-1}$ para los tratamientos P0, P1, P2 y P3, respectivamente.

El CMS expresado en $\text{kg MS an}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y en $\text{g kg}^{-1} \text{ PV}$ aumentó significativamente ($p < 0,05$) con el incremento del nivel de suplementación (tabla 2). El mismo efecto fue encontrado por Pimentel *et al.* (1998) y De Leon *et al.* (2001) con silaje de sorgo o maíz como principal alimento, cuando incrementaron el contenido de proteína en la dieta a través de la suplementación. Cavalcante *et al.* (2005) y Obeid *et al.* (2006) con dietas en el rango de 95 a 150 g kg^{-1} de PB no encontraron efecto sobre el consumo. Valadares *et al.* (1997) trabajaron con dietas de 70, 95, 120 y 145 g kg^{-1} de PB, y observaron menor CMS solo con el menor nivel de proteína.

El consumo de silaje (CS) expresado en $\text{kg MS an}^{-1} \text{ d}^{-1}$ difirió ($p < 0,05$) con el aumento del nivel de suplementación, sin embargo no se detectaron diferencias ($p > 0,05$) cuando se expresó como $\text{g kg}^{-1} \text{ PV}$, aunque en todos los casos se verificó un efecto cuadrático en el comportamiento de la variable (tabla 4).

En el tratamiento testigo (P0) el CS fue $18,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}$, y se registró un incremento del 31,3% con la inclusión del primer nivel de HA. Pimentel *et al.* (1998) reporta en novillitos alimentados únicamente con SS (PB $68,8 \text{ g kg}^{-1}$) un consumo de $18,0 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}$, con un aumento del 31,35% en el CS cuando se agrega 20% de harina de soja, y un aumento en la digestibilidad aparente del silaje del 18,5%.

Utilizando las ecuaciones de NRC, (1996) a partir de los análisis de laboratorio, información climática, sistema de alimentación y los datos registrados en los animales cuando se les suministró silaje como único alimento (T0), se estimó el TND del silaje en 580 g kg^{-1} , por lo tanto, la relación TND/PB fue de 8,22, valor que concuerda con el promedio 8,40 encontrado en los ensayos en la región subtropical (Pimentel *et al.*, 1998; Chiossone y Balbuena, 2010; Bendersky y Flores, 2011). Moore y Kunkle, (1995) postulan que una relación TND/PB mayor a 7 indica una deficiencia de proteína relativa a la energía, y está negativamente correlacionada con el consumo voluntario del forraje.

En los tratamientos que incluyeron suplemento (P1, P2 y P3) se observó un incremento (efecto cuadrático $p = 0,06$) en el CMS, y una disminución (efecto cuadrático $p < 0,05$) del CS a medida que aumentó el nivel de suplementación con HA.

La tasa de cambio de consumo ($CR = (CS_{P_n} - CS_{P_0}) / HA_n$; CS_{P_n} : Consumo de Silaje del n-ésimo tratamiento, $\text{kg MS an}^{-1} \text{ d}^{-1}$; CS_{P_0} : Consumo de Silaje del tratamiento P0, $\text{kg MS an}^{-1} \text{ d}^{-1}$; HA_n : Harina de algodón de n-ésimo tratamiento, $\text{kg MS an}^{-1} \text{ d}^{-1}$) cuantifica el cambio en el consumo de forraje base por unidad de suplemento consumido (Moore y Kunkle, 1995). Se observó una disminución en el incremento del CS, a medida que se incrementó la suplementación. Esto se reflejó en las CR que fueron 1,82, 0,84 y 0,37 para los niveles de 2,8, 5,6 y $8,8 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}$ de HA, respectivamente. Esto indica que el primer nivel de suplementación fue el de mayor eficiencia por unidad de suplemento suministrado.

Cuando se tomó como base del CR el CS del tratamiento P1 los valores fueron -0,07 y -0,19% PV, para los tratamientos P2 y P3, respectivamente, lo que indica que hubo un efecto de sustitución del forraje base por el suplemento. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Balbuena *et al.* (2002a) que en ensayos con vaquillas alimentadas a base de heno de Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*; 40 g kg^{-1} de PB, $67,5 \text{ g kg}^{-1}$ de FDN) suplementadas con expeller de algodón (0; 3,5; 7,0; $10,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}$) observaron la mejor eficiencia del suplemento con el nivel más bajo de suplementación, a una CR de 0,51 y sustitución para los dos niveles superiores de -0,10 y -0,17, con el CMS total en aumento en todos los tratamientos. Chiossone y Balbuena *et al.* (2010) con SS y HA con dietas finales de 133 y 180 g kg^{-1} de PB obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el CMS, y también verificaron que el CS expresado como $\text{g kg}^{-1} \text{ PV}$ tuvo tendencia a disminuir ($p = 0,16$) con el aumento de la suplementación lo que indicaría un efecto de sustitución del suplemento sobre el forraje base.

El nitrógeno ureico en sangre (NUS) se incrementó significativamente ($p > 0,05$) con el aumento de los niveles de suplementación (tabla 3). Esto concuerda con Balbuena *et al.* (2002a) que obtuvieron valores de 4,3, 11,3, 13,7 y $22,3 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$ en vaquillas alimentadas a base de heno suplementadas con harina de algodón a niveles de 0, 3,5, 7,0 y $10,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}$. Hammond (1992) informa que la concentración de NUS se incrementó de 2,6 a $11,1 \text{ mg}/100\text{ml}$ cuando la dieta pasa de 60 a 180 g kg^{-1} de PB.

El nivel de NUS está altamente correlacionado con el amonio ruminal (Hammond, 1992), que proviene de la degradación de la proteína de la dieta y del NNP dietético, y por lo tanto está relacionado con el consumo de nitrógeno (Preston, 1965). El valor de NUS del tratamiento testigo, en consistencia la simulación con NRC (1996), confirma el deficiente aporte de N al rumen cuando se utiliza el silaje de sorgo como único alimento.

Cuando la degradabilidad de las proteínas es mayor que la síntesis de proteína (McDonald *et al.*, 1993) o se presenta un

Nivel de harina de algodón							
Variable	P0	P1	P2	P3	EE	p	Efecto
N-Ureico ($\text{mg } 100 \text{ ml}^{-1}$)	4,6	6,8	8,0	15,1	0,47	0,0001	L,Q,C

Tabla 3. Niveles de nitrógeno ureico en sangre ($\text{mg } 100 \text{ ml}^{-1}$), obtenidos en cada tratamiento. En la última columna las letras L, Q y C indican la existencia de efecto lineal, cuadrático o cúbico, respectivamente, para un nivel $p < 0,05$.

exceso de nitrógeno respecto a la energía disponible en el rumen (Hammond, 1992), la concentración ruminal de amonio y consecuentemente el NUS se incrementan. Por lo tanto, en rumiantes el NUS es indicador de la relación proteína:energía de la dieta (Hammond, 1992) y puede ser usado como parámetro del estado nutricional, y contribuir a hacer un ajuste de las dietas, o identificar problemas en los programas de alimentación (Kohn *et al.*, 2005). Rennó *et al.* (2000) confirmaron que con la disminución de la energía de la dieta ocurren mayores pérdidas de amonio ruminal y se eleva la concentración de NUS con aumento en la excreción de urea a través de la orina. Khon *et al.* (2005) en una revisión de trabajos en distintas especies encontró una media para el ganado bovino de 12 mg 100 ml⁻¹, con valores de 4 y 25 como mínimos y máximos, respectivamente.

Comparando a similares niveles de PB en la dieta, el NUS de los animales alimentados con heno (Balbuena *et al.*, 2002a) siempre fue mayor que el hallado para los alimentados con SS en este ensayo. La misma situación relativa se presenta con los valores obtenidos por Slanac *et al.* (2002) en vaquillas pastoreando un diferido de Dicantio suplementadas con distintos niveles de HA. Este hecho puede ser atribuido a que el silaje de sorgo posee un mayor contenido de carbohidratos no estructurales, debido al almidón de los granos, por lo tanto hay un mayor consumo de energía en comparación con el heno, y a partir del incremento en el consumo de energía manteniendo constante el consumo de proteína se produciría un descenso en el NUS (Hammond, 1992), posiblemente por mayor utilización del N por los microorganismos ruminales.

El ADPV fue afectado por el nivel de suplementación ($p < 0,05$) con los tratamientos suplementados ganando peso más rápido que el testigo (tabla 6).

El IC también presentó diferencias ($p < 0,05$) con el aumento de suplementación. La conversión del alimento en el tratamiento testigo fue muy baja debido principalmente al bajo ADPV (tabla 4).

De León *et al.* (2001) reportaron que novillos británicos de peso inicial medio 155 kg, consumiendo una dieta de 65,2 g kg⁻¹ PB a base de SS más 8 g kg PV⁻¹ en grano de sorgo, presentaron una ganancia de 0,206 kg an⁻¹ d⁻¹ y una conversión del alimento de 21,8 kg MS kg⁻¹. Al agregar harina de girasol en la dieta a razón de 6,2 g kg⁻¹ PV para alcanzar 109 g kg⁻¹ de PB, la ganancia diaria y la conversión mejoraron a 1,059 kg an⁻¹ d⁻¹ y 6,76 kg MS kg⁻¹. Pendlum *et al.* (1978) alimentaron novillitos solamente con silaje de maíz (PB 75,8 g kg⁻¹) y obtuvieron ganancias de 190 g.d⁻¹ e IC de 18,74 kg MS kg⁻¹ para el testigo. Con la inclusión de harina de soja a 4 g kg⁻¹ PV la dieta fue de 109 g kg MS⁻¹ de PB y registraron 0,750 kg an⁻¹ d⁻¹ y 6,72 kg MS kg⁻¹ de ADPV e IC, respectivamente.

Además, en este ensayo existieron diferencias entre los tratamientos con suplemento, ya que los animales que consumieron el 3 g kg⁻¹ PV presentaron un ADPV inferior a los que consumieron 6 y 9 g kg⁻¹ PV de HA, que no difirieron entre sí, reflejado en el comportamiento cuadrático ($p < 0,05$) de la variable. Estos resultados concuerdan con lo observado por Chiossone y Balbuena (2010) que alimentaron novillos con silaje a partir de mismo híbrido de sorgo (VDH 422) suplementados con HA al 4,4 y 8,6 g kg⁻¹ PV, y obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el ADPV de 0,69 y 1,03 kg an⁻¹ d⁻¹, respectivamente. En ese ensayo el IC también presentó diferencias ($p < 0,05$) siendo de 8,69 y 6,85 kg MS kg⁻¹ PV, respectivamente.

Por un lado, Byers y Moxon (1980) informaron ganancias de 1,21 kg an⁻¹ d⁻¹ con dietas de 165 g kg⁻¹ PB y valores de NUS de 15,02 mg 100 ml⁻¹. Por otro lado, Preston *et al.* (1878) obtuvo ADPV de 1,5 kg an⁻¹ d⁻¹ con una dieta de 135 g kg⁻¹ PB y valores de NUS de 8 a 9 mg 100 ml⁻¹. En ambos ensayos fueron utilizados como alimentos silaje de maíz y harina de soja como suplemento proteico más hojuelas de grano de maíz. En el presente ensayo el tratamiento P3 registró una ganancia de 0,82 kg an⁻¹ d⁻¹ con una dieta de 150,2 g kg⁻¹ PB y se observó un valor de NUS de 15,18 mg 100 ml⁻¹.

Cálculos realizados en el simulador del NRC (1996) confirman que en el tratamiento P3 el nutriente limitante fue la energía. En este tratamiento el consumo de PB (tabla 4) fue 50,7% superior al estimado por NRC, (1984) para el ADPV registrado. El exceso de proteína no se desperdicia totalmente ya que puede ser utilizada como fuente energía (Owens y Zinn, 1988) a partir de las cadenas carbonadas de los aminoácidos, pero con el consecuente costo de detoxificación del amoniaco liberado le cuesta al animal entre 12,0 y 13,3 kcal ED g N⁻¹ (Van Soest, 1994; Broderick y Clayton, 1997), disminuyendo la eficiencia de conversión del alimento. Lo expuesto permite concluir que no sería recomendable llegar a niveles de suplementación proteica tan elevados (HA 9 g kg⁻¹ PV) con SS solamente. En caso contrario, sería adecuada la inclusión de un concentrado energético para hacer un uso más eficiente de la proteína.

CONCLUSIONES

La suplementación con harina de algodón hasta el nivel de 6 g kg⁻¹ PV mejoró el consumo de silaje y de materia seca total, mejorando también la ganancia de peso de los animales y el índice de conversión del alimento, merced a una mejora en el balance de la relación entre energía y proteína de la dieta.

Un nivel superior sobre 6 g kg⁻¹ PV no mejora el comportamiento de las variables analizadas e incrementa la sustitución del silaje por el suplemento, y la utilización ineficiente del nitrógeno de la dieta.

Variable	Nivel de harina de algodón					EE	p	Efecto
	P0	P1	P2	P3				
Peso inicial (kg)	178	190	190	191	6,3	0,2913		
Peso final (kg)	184	238	257	259	9,5	0,0042	L,Q	
ADPV (kg an ⁻¹ d ⁻¹)	0,07	0,57	0,79	0,82	0,077	0,0020	L,Q	
IC (kg kg ⁻¹)	48,7	10,0	8,4	8,7	6,15	0,0066	L,Q	

Tabla 4. Promedios de peso inicial, peso final, aumento diario de peso vivo (ADPV) e índice de conversión (IC) obtenidos en cada tratamiento.

En la última columna las letras L, Q y C indican la existencia de efecto lineal, cuadrático o cúbico, respectivamente, para un nivel $p < 0,05$.

En animales en crecimiento no es recomendable la utilización del silaje de sorgo como único alimento.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1998. Official Methods of Analysis, 16th ed., 4th Revision. Association of Official Analytical Chemists, Nueva York.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th Ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington, D. C., EUA. 500 p.
- BALBUENA, O.; KUCSEVA, C.D.; ARAKAKI, C.L.; STAHRINGER, R.C.; VELAZCO, G.A. 2000. Fuentes de proteína en la suplementación invernal de la recría de bovinos en pasturas subtropicales. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20 (Supl.1), 62-63.
- BALBUENA, O.; KUCSEVA, C.D.; ROCHINOTTI, D.; SLANAC, A.L.; SOMMA DE FERÉ, G.R.; SCHREINER, J.J.; NAVAMUEL, J.M.; KOZA, G.A. 2002a. Niveles de suplementación proteica invernal para recría de bovinos para carne en pasturas tropicales. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22 (supl. 1), 16-18.
- BALBUENA, O.; ROCHINOTTI, D.; ARAKAKI, C.L.; KUCSEVA, C.D.; SOMMA DE FERÉ, G.R.; SLANAC, A.L.; KOZA, G.A.; SCHREINER, J.J.; NAVAMUEL, J.M. 2003. Suplementación proteica y consumo, cinética de la digesta y digestibilidad de heno de Pasto Estrella. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23 (Supl. 1):18-19.
- BENDERSKY, D.; FLORES, A.J. 2011. Reservas forrajeras en el NEA. Uso en sistemas ganaderos. *Producir* XXI 19 (239), 24-32.
- BRODERICK, G.A.; CLAYTON, M.K. 1997. Statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964-2971.
- BYERS, F.M.; MOXON, A.L. 1980. Protein and selenium levels for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 50:1136-1144.
- CAVALCANTE, M.A.B.; PEREIRA, O.G.; CAMPOS VALADARES, S.; RIBEIRO, K.G.; CHIZZOTTI, F.H.M.; PEREIRA, D.H. 2005. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo e digestibilidades total e parcial dos nutrientes. *Rev. Bras. Zootec.* 34 (6 supl), 2200-2208.
- CHIOSSONE, J.L.; BALBUENA, O. 2010. Efecto de dos niveles de suplementación proteica sobre la ganancia de peso y el consumo en novillitos alimentados con silaje de sorgo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 30 (supl 1), 508-509.
- CLARK, J.H.; KLUSMEYER, T.H.; CAMERON, M.R. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. Symposium: Nitrogen Metabolism and Amino Acid Nutrition in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 75:2304-2323.
- DE LEÓN, M.; USTARROZ, E.; SIMONDI, J.M.; CABANILLAS, A.; PEUSER, R.; LUNA PINTO, G.; BULASCHEVICH, M.; CASTILLO, A. 2001. Balance proteico de dietas basadas en silaje de sorgo. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9 (supl 1), 179.
- DE LEÓN, M.; SIMONDI, J.M. 2002. Suplementación proteica y alimentación con silajes. *Idia* XXI. 2(2), 52-58.
- GALLARDO, M. 2008. Aspectos relacionados al manejo nutricional. En: BRAGACHINI, M. (ed.) Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. INTA, EEA Manfredi. Manual Técnico N.º 6. 287-320.
- HAMMOND, A.C. 1992. Use of BUN and MUN as a guide for protein supplementation un cattle. En: 3rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida, Gainesville, Florida. 9-18 pp.
- JAURENA, G.; WAWRZKIEWICZ, M. 2009. Programa para el mejoramiento de la evaluación de forrajes y alimentos. CISNA. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 39 p. (Disponible: https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/cisna/promefa_procedimientos_2009.pdf verificado: 15 de octubre de 2019).
- KOHN, R.A.; DINNEEN, M.M.; RUSSEK-COHEN, E. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.* 83:879-889.
- KUCSEVA, C.D.; BALBUENA, O.; ROCHINOTTI, D.; ARAKAKI, C.L.; SOMMA DE FERÉ, G.R.; SLANAC, A.L.; KOZA, G.A.; SCHREINER, J.J.; NAVAMUEL, J.M. 2002. Suplementación proteica y consumo, cinética de la digesta y digestibilidad de heno de pasto estrella en novillos canulados. 2002. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22(supl 1), 22-23.
- MCDONALD, P.; EDWARDS, R.A.; GREENHALGH, J.F.D. 1993. *Nutrición Animal*. 4.º Ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 571 p.
- MOORE, J.E.; KUNKLE, W.E. 1995. Improving forage supplementation programs for beef cattle. 6th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida, Gainesville, Florida. 65-75 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Sixth Revised Edition. National Academy Press. Washington D. C.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington D. C. 249 p.
- OBEID, J.A.; PEREIRA, O.; PEREIRA, D.H.; VALADARES FILHO, S.C.; CARVALHO DE CARVALHO, I.; MARTINS, J.M. 2006. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo, digestibilidade e desempenho produtivo. *R. Bras. Zootec.* 35(6), 2434-2442.
- OWENS, F.N.; ZINN, R. 1988. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. En: CHURCH, D.C. *El Rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. Ediciones Acribia. Zaragoza. 255-282 pp.
- PENDLUM, L.C.; BOLING, J.A.; BRADLEY, N.W. 1978. Continuous and non-continuous protein levels for growing calves fed corn silage. *J. Anim. Sci.* 1978. 46:535-540.
- PIMENTEL, J.; DE OLIVEIRA, J.; COELHO DA SILVA, J.F.; CAMPOS VALADARES FILHO, S.; CECON, P.R.; DOS SANTOS, P.S. 1998. Efeito da suplementação proteica no valor nutritivo de silagens de milho e sorgo. *Rev. Bras. Zootec.* 27:1042-1049.
- PIZZIO, R.; BENDERSKY, D. 2018. Base forrajera y potencial de mejora en el NEA. En: SAMPEDRO, D. (Eds). *Cría vacuna en el NEA*. INTA Ediciones. 16-29 pp.
- PLAN GANADERO CHACO 2020-2030. 2020. Ministerio de la Producción, Industria y Empleo de la Provincia del Chaco. 50 p.
- PRESTON, R.L.; SCHNAKENBERG, D.D.; PFANDER, A.H. 1965. Protein utilization in ruminants. Blood urea nitrogen as affected by protein intake. *J. Nutr.* 68:281-288.
- PRESTON, R.L.; BYERS, F.; STEVENS, K.R. 1978. Varying protein levels estrogenic activity and growth stimulation in steers fed. *J. Anim. Sci.* 46:541-546.
- RENNÓ, L.N.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.; LEÃO, M.I.; SILVA, J.F.C.; CECON, P.R.; GONÇALVES, L.C.; DIAS, H.L.C.; LINHARES, R.S. 2000. Concentração Plasmática de Uréia e Excreções de Uréia e Creatinina em Novilhos *Rev. Bras. Zootec.* 29(4):1235-1243.
- SAMPEDRO, D.; FLORES, A.J. 2018. Manejo de las vaquillas de reposición. En: SAMPEDRO, D. (Eds). *Cría vacuna en el NEA*. INTA Ediciones. 112-133 pp.
- SANTINI, F.J.; PAVAN, E.; GARCIA, S.C.; VAN OLPHEN, V.I. 1997. Alimentación a corral de terneros con silaje de maíz y tres niveles de proteína: Comportamiento productivo y ambiente ruminal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 17(supl 1):33-34.
- SLANAC, A.L.; BALBUENA, O.; NAVAMUEL, J.M.; SCHREINER, J.J.; KOZA, G.A.; KUCSEVA, C.D.; CARDOZO, S.M. 2002. Efecto de la suplementación proteica invernal sobre indicadores bioquímicos del estado nutricional y algunas enzimas plasmáticas de vaquillas cruzas cebú. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. FCV. UNNE. Corrientes, Argentina.
- VALADARES, R.F.D.; GONCALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; SAMPAIO, I.B.; VALADARES FILHO, S.C.; QUEIROZ, A.C. 1997. Níveis de proteína em dietas de bovinos. 1. Consumo e digestibilidade aparentes totais e parciais. *Rev. Bras. Zootec.* 26(6):1252-1258.
- VAN SOEST, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2 ed. Cornell University Press. Ithaca. 476 p.

Análisis de manejo de residuos sólidos urbanos y elaboración de aboneras para huertas traspatio en San Andrés de Giles (Bs. As.)

Publicado online 06 de abril de 2022

Cóppola, J.¹; Pescio, F.²; Schamber, P.³

RESUMEN

Una de las mayores cuestiones ambientales en Argentina está dada por la problemática asociada a la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU). En la mayor parte de los casos, la recolección de las diferentes fracciones se da de manera indiferenciada y se utiliza el relleno sanitario como método de disposición final, con los problemas ambientales y económicos que conlleva. Este trabajo abordó una experiencia específica en la gestión de los RSU, en el marco de un programa piloto municipal de recolección diferenciada de RSU en la ciudad de San Andrés de Giles (Buenos Aires). A partir de una muestra representativa de domicilios, se indagó sobre las estrategias para la segregación de los RSU y el manejo de la fracción orgánica de estos. Además se vinculó la realización de huerta traspatio con la implementación de compostaje junto al conocimiento de las fuentes de información y asesoramiento local disponibles. Entre los resultados se destaca que si bien el nivel de participación voluntaria en el programa es baja, alrededor de la mitad de los encuestados realizaban segregación de RSU y un porcentaje algo menor compostaban y practicaban huerta. Entre los mayores inconvenientes manifestados, se destaca aún el acceso deficiente a la información. Esto indica que acciones públicas para la gestión integral de RSU como el Programa Municipal o la realización de huertas traspatio con aboneras junto con la educación ambiental pueden ser herramientas con alto impacto local para mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Palabras clave: agricultura urbana, compostaje, economía circular, educación ambiental, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

One of the major environmental issues in Argentina is given by the problems associated with an inadequate management of Municipal Solid Waste (MSW). In most cases, the recollection of the different fractions occurs in an undifferentiated way and sanitary landfill is used as a final disposal method, with environmental and economic issues that it entails. This work addressed a specific experience in the management of MSW, within the framework of the municipal pilot program for the differentiated recollection of MSW in San Andrés de Giles City (Buenos Aires). The research focused on the strategies for separation of MSW and the management of their organic fraction, taken from a representative sample of households. In addition, the develop of backyard gardening was linked with composting practice. Among the results, it stands out that although the participation in Recolection Programs is low -it's voluntary-, around half of the respondents carried out separation of MSW and a slightly lower percentage composted and cultivated backyard gardens. Among the major drawbacks, deficient access to information still stands out. This indicates that public actions for the integral management of MSW such as the Municipal Program, or the realization of backyard gardens with compost bins associated with environmental education, can be tools with high local impact that can improve the quality of life in cities.

Keywords: urban agriculture, composting, circular economy, environmental education, sustainable development.

¹Universidad Nacional de Luján (UNLu). Docente Dirección General de Cultura y Educación PBA (DGCyE). San Andrés de Giles, Argentina. Correo electrónico: javiercoppola@hotmail.com

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), Av. Gob. Udaondo 1695 (1714) Ituzaingo, Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía (FAUBA), Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

³Investigador independiente Universidad Nacional Quilmes (UNQ-CONICET). Docente Universidad Nacional Lanús (UNLa), Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ).

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo analiza el comportamiento de unidades domiciliarias que integran una estrategia local de segregación en origen de residuos sólidos urbanos (RSU) en un municipio de la provincia de Buenos Aires (Argentina), haciendo especial hincapié en el destino de las distintas fracciones de los RSU, y la relación que se da entre la fracción orgánica (FORSU) con prácticas de agricultura urbana.

En una época de rápida urbanización y crecimiento poblacional, la gestión de los residuos sólidos es crucial para que las ciudades y las comunidades sean sostenibles, sanas e inclusivas. Según el Banco Mundial (2018) solo el 4% de los residuos sólidos urbanos se recicla (Banco Mundial, 2018), y los residuos orgánicos, incluido el desperdicio alimentario, representan el 44% de la generación mundial de desechos domiciliarios. Por su parte, la población de la República Argentina, altamente concentrada en zonas urbanas (90%) presenta una cobertura de recolección de RSU del 99,8%, una tasa de disposición final en Rellenos Sanitarios (RS) del 64,7% y una tasa de generación promedio de 1,15 kg/hab/día de RSU (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 2020).

Desde la perspectiva normativa sobre las políticas públicas, la gestión de RSU está regulada por la Ley Nacional 25.916. Si bien esta ley es de aplicación obligatoria, se la considera un piso a partir del cual las provincias pueden dictar normas complementarias. Los municipios, por su parte, son entes autónomos competentes en la materia de gestión de RSU. Para su implementación en el país, se elaboró la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) 2005, dentro de un horizonte temporal establecido en veinte años (2006–2025). La estrategia está basada en el criterio de integralidad (reducción en origen, segregación domiciliaria, recolección y transporte, transferencia y regionalización), procesamiento (reciclado de inorgánicos, compostaje de orgánico y otros) y centros de disposición final (CDF) (MADS, óp. cit.).

Sin embargo, y luego de la entrada en vigor de la ENGIRSU 2005, la mayor parte de los municipios enfrentan en la actualidad el mismo problema, esto es, la saturación de los sitios de disposición existentes (sean RS o basurales a cielo abierto -BCA-) donde se envían en forma oficial los RSU (Duverges, 2013). Justamente es en ese punto, con la saturación de dichos sitios y los costos asociados al transporte, donde el compostaje, como medida de prevención y tratamiento biológico de la FORSU segregados en origen, permite recuperar materia orgánica estabilizada y de calidad para reintegrarse en el suelo contribuyendo a incrementar su fertilidad (Storino, 2017: 51).

En esa dirección, la reducción de los residuos orgánicos mediante el compostaje *in situ* está considerado como medida de prevención¹ ocupando el escalón más elevado en jerarquía de gestión de residuos (European Commission DG ENV, 2012). A su vez, el compostaje descentralizado a pequeña escala, realizado en los hogares o por pequeños grupos de personas, se está afirmando como alternativa sostenible para la gestión de la fracción orgánica de biorresiduos domiciliarios” (Storino, óp. cit.).

Un estudio piloto realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en la comuna cordobesa de La Serranita entre 2012 y 2013 (Silbert Voldman, 2018:39-40), obtuvo como resultado que el compostaje hogareño es la mejor alternativa ambiental en comparación con el enterramiento sanitario. Otro de sus resultados indica que, con mayor cantidad de vecinos compostando es posible disminuir la frecuencia de recolección y la cantidad de traslados al sitio de disposición final. Los impactos ambientales de la gestión integral de los residuos se reducen significativamente en la medida que más vecinos participan del compostaje.

En tal sentido, se destacan iniciativas locales que lograron avances sobre alguna de las etapas de la gestión de los RSU: generación, recolección, tratamiento, la disposición final y re-inserción en el mercado. Schejtman y Cellucci (2014) y Ponce y Gutierrez (2015) destacan las acciones llevadas a cabo en Rosario (Santa Fe), Santa Fe (Santa Fe), Rafaela (Santa Fe) y Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco). Existen otros ejemplos, como los municipios de Unquillo (2020) y Trenque Lauquen (2020) (provincia de Córdoba y Buenos Aires respectivamente), que han incorporado a sus plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos (PTRSU) algunas actividades -como segregación en origen, planes de compostaje, entre otras- y programas -ecocanje: entrega de material reciclable a cambio de abono y plantines de aromáticas- que tienen como objetivo general promocionar y fomentar la participación individual y colectiva en el desarrollo de huertas de acuerdo a objetivos de desarrollo sostenible y soberanía alimentaria de la comunidad (Dirección de Ambiente, 2020; Dirección de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2020). Con este fin, buscan mejorar la calidad de vida de las familias a través de propuestas de formación continua que prevé fomentar, planificar y promover actividades relativas a la educación orientadas al desarrollo socio-ambiental local.

Si como bien señala Lozupone (2019:57), la información en materia ambiental en los municipios de las provincias argentinas es escasa y muchas veces contradictoria, también se evidencia una variedad de iniciativas que intentan acercarse a un modelo de gestión más sustentable y que pueden servir de inspiración para otros gobiernos municipales (Schejtman y Cellucci, óp. cit.).

De acuerdo a la Secretaría de Asuntos Municipales de la Nación (2015:12-13) los ciudadanos son propensos a participar en experiencias locales en la gestión y tratamiento de los RSU, pero que de no mantenerse en el tiempo y sin un monitoreo de las acciones y planes que se llevan a cabo, generan descontento y pérdida de interés. Por eso la educación ambiental que puedan llevar adelante los gobiernos municipales, tanto formal e informal, son críticas dando visibilidad al tema y sensibilizando a la población.

Con base en lo desarrollado, el presente trabajo de campo abordó el caso particular de la ciudad de San Andrés de Giles y su manejo de los RSU. Dicha ciudad se localiza al norte de la provincia de Buenos Aires y a unos 103 km de la Capital Federal. Es una ciudad que presenta una población total de 22.240 habitantes mientras que en su casco urbano se contabilizan 16.243 habitantes (INDEC, 2010). En cuanto a su desarrollo económico, se basa principalmente en la agricultura y ganadería, y cuenta con algunas industrias vinculadas al procesamiento celulósico (papelera) y alimentario (procesado porcino).

La Municipalidad de San Andrés de Giles, en el marco de la Ley Nacional N° 25.916 y la Ley Provincial N° 13.592 de

¹El compostaje *in situ* presenta múltiples ventajas como la reducción de los costos y emisiones asociados al transporte y recogida de residuos; y fundamentalmente, dicho tratamiento previene la generación de gas metano o su liberación en la atmósfera como así también afecta a la calidad de los lixiviados.

Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, inauguró en el año 2010 la Planta Procesadora de Residuos Sólidos Urbanos con la finalidad de tratar allí los residuos y disminuir el entierro en su BCA. Según Adesso (2015) dicha inauguración fue una buena noticia para la comunidad debido a los reiterados problemas ambientales y sanitarios que generaba el basural. Paralelamente, la ciudad fue experimentando un lento pero sostenido incremento poblacional, comercial e industrial (Honorable Concejo Deliberante de Giles, 2019), hecho que condujo al gobierno local a repensar y reorientar sus políticas públicas en relación con la generación y tratamiento de los RSU en su conjunto. En esa línea se promulgaron una serie de ordenanzas ambientales, a saber: Ordenanzas N° 1469/10 Autoriza venta de residuos; N° 1556/11 Tratamiento Integral de Residuos; N° 1799/14 Tratamiento de Residuos; y N° 2021/17 Colocación de cestos contenedores de residuos domiciliarios en puntos estratégicos de la ciudad².

En 2015, el Área de Medio Ambiente local implementó un Programa de Recolección de RSU, el cual incluyó una Campaña de Recolección de Residuos Secos en Origen, entre los que figuran: cartón y papel, plástico, vidrio y metal. Esta acción buscó incluir a nuevas unidades domiciliarias de manera progresiva. Dicha campaña, al momento de realización del trabajo de campo (mayo-junio de 2019), se encontraba en ejecución. Se recolectaban la totalidad de RSU, pero solo se procesan los residuos secos. Estos eran llevados a la planta municipal de tratamiento, donde eran separados y procesados para luego ser comercializados a empresas privadas quienes luego transforman estos residuos en materia prima para su reutilización, elaborando productos como por ejemplo sillas y mesas plásticas, papelería en general (cajas de cartón, papeles, entre otros).

El Programa mencionado cuenta con la siguiente operativa. En primera instancia, la Coordinadora de Medio Ambiente recorre personalmente los domicilios y entrega folletería, comunicando al vecino que ha sido alcanzado por el Programa. Luego, el vecino decide participar voluntariamente de una prueba piloto. Los residuos se sacan a la calle los días miércoles al mediodía. En ese horario comienza a pasar un camión de Obras y Servicios Públicos para recoger los residuos reciclables. De esta manera, se van incorporando nuevas áreas al Programa, con el objetivo de abarcar a toda la ciudad (Municipalidad de San Andrés de Giles, 2019). El programa también incluye acciones de difusión y capacitación sobre los beneficios de la segregación de los RSU y cuenta con un registro pormenorizado de los volúmenes procesados, especialmente en lo referido a residuos celulósicos, metálicos y derivados del petróleo (plásticos, gomas, etc.).

Dentro de las medidas vinculadas a la gestión de los RSU, a mediados del año 2017 se le da un cierre definitivo al BCA local, previo convenio firmado entre el Municipio y el CEAMSE para el traslado de los RSU desde la ciudad en estudio hasta el Complejo Ambiental Norte III (Decreto N° 1877/2017, SIBOM). Se intenta evitar asimismo que la FORSU se dirija a cielo abierto. Sin embargo, la ciudad no cuenta con una estrategia que contemple la gestión de dicha fracción. De hecho, esta quedó

englobada dentro del Convenio suscripto con el CEAMSE en 2017, dado que el organismo se comprometió a recibir los residuos provenientes de desperdicios de comida, del barrido de calles, poda, y comerciales sólidos que no resulten peligrosos (Ordenanza N° 2032) (Honorable Concejo Deliberante, 2017).

En lo que respecta al Programa de Recolección de Residuos, es de carácter voluntario y se desconoce el grado de participación efectiva de los hogares que están incluidos, así como el grado de segregación que realizan y si hay algún tipo de transformación de la FORSU a nivel domiciliario (a partir de prácticas como el compostaje). Dichas prácticas permitirían, por un lado, disminuir la cantidad de materiales para recolectar y la cantidad de material para ser destinado a RS, y por el otro, generar un insumo rico para las huertas de traspatio, como es el compost orgánico.

En consecuencia, resultó importante conocer la situación real acerca de las prácticas de compostaje domiciliario y las huertas traspatio ya que ambas actividades pueden colaborar de forma holística en la compleja situación de los rellenos sanitarios municipales. A su vez, un programa municipal de RSU que contemple y promueva dichas actividades de compostaje domiciliario y huertas traspatio puede potenciar una mayor participación ciudadana.

Por lo expuesto, el objetivo principal del trabajo fue realizar una caracterización de la gestión domiciliar de la FORSU en las unidades domiciliarias que participan del Programa de Separación de Residuos en San Andrés de Giles. Los objetivos secundarios consistieron en analizar la relación entre la segregación de los RSU, las prácticas de compostaje y huertas traspatio, así como la vinculación entre la segregación domiciliar de RSU y el nivel de conocimientos o formación de la población en la temática.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se analizaron las estrategias de segregación doméstica de los RSU. Se tuvo en cuenta, especialmente la FORSU y la práctica de compostaje domiciliario. El trabajo se centró en un sector de la población que habita el casco urbano del municipio de San Andrés de Giles (Buenos Aires) y que integra el Programa Municipal de Separación de Residuos Sólidos Urbanos.

Se utilizó un enfoque cuantitativo, donde las unidades de análisis fueron los domicilios que participaban del mencionado programa. Si bien el alcance de este se fue ampliando con la incorporación progresiva de nuevas áreas del casco urbano, se tomó como universo a los hogares que integraron la primera etapa de su ejecución (años 2016 y 2017). De acuerdo a información suministrada por sus referentes, el área total en la primera etapa abarcó 75 manzanas involucrando un total de 1.218 domicilios. Al momento del trabajo de campo (mayo-junio de 2019), de acuerdo a las mismas fuentes, dichos domicilios tenían entonces plena participación aunque solo 250 domicilios estaban registrados por el programa como participantes en las actividades de segregación en origen (20,5%).

Así se seleccionó una muestra estadísticamente representativa de este grupo de hogares. Para la determinación del tamaño de la muestra se utilizó un criterio de estimación de muestras a partir de variables cualitativas dicotómicas (Segregación / No segregación de RSU). Para determinar las proporciones de unidades que realizan segregación de residuos y compostaje, se utilizó como criterio la información extraída de un relevamiento que realizó el Programa ProHuerta (INTA –

²En octubre de 2020, el Honorable Concejo Deliberante de San Andrés de Giles sancionó la Ordenanza 2296/20 que crea el Programa CompostAR. Este hecho es otro indicador que da cuenta de la presencia de esta problemática en la agenda del gobierno y la ciudadanía. El modo como se viene implementando el programa no fue considerado en este trabajo, pero sin duda potencia la continuidad de investigaciones al respecto". Ordenanza disponible en <https://hcdsanandresdegiles.blogspot.com/search?q=2296%2F20>

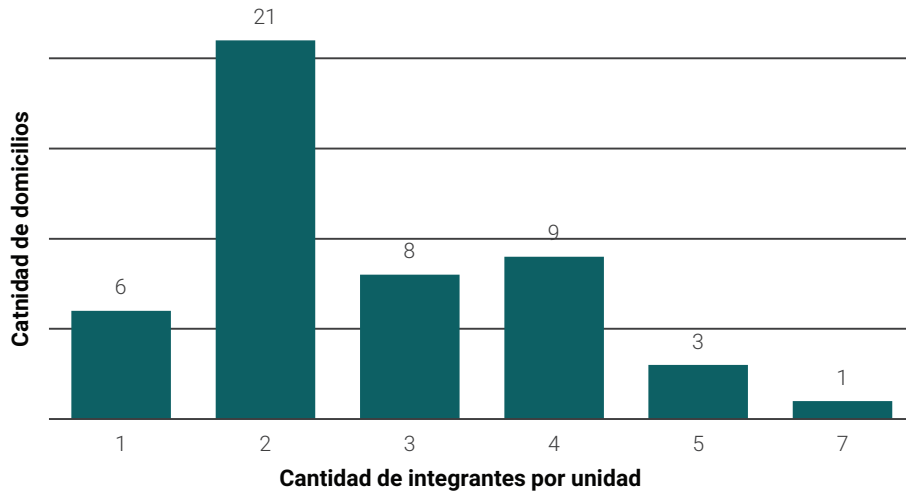


Figura 1. Cantidad de Personas que residen por Unidad.
Fuente: Elaborado a partir de datos propios.

Ministerio de Desarrollo Social) durante 2018 sobre prácticas de huerta y compostaje para el distrito de Luján (Buenos Aires) (Pescio *et al.*, 2018). Este distrito se encuentra a 36 km de San Andrés de Giles y presenta un estrato (o perfil) socioeconómico similar al del distrito en estudio³ (Álvarez, 2005). De aquel relevamiento se desprende que del total de unidades a las cuales le fueron entregadas paquetes de semillas (las unidades de relevamiento), aproximadamente un 30% de ellas realizaban segregación domiciliaria de al menos una de las fracciones orgánicas de los RSU (residuos de cocina, restos de poda, restos de huerta, etc.), y que, de esta fracción, alrededor de un 50% realizaba además compostaje con esos residuos.

Por lo tanto, para una primera aproximación siguiendo la propuesta de Rosner (2011) para el contraste de variables dicotómicas entre una muestra y una población ($\alpha = 0,05$; $\beta = 0,2$) (los cálculos aparecen en anexo 1) se calculó el número de casos mínimos que debería contener la muestra utilizando las fracciones de segregación de residuos sobre el total de unidades. En tanto no se encontraron antecedentes regionales que dieran cuenta de las proporciones de la población general que realizaban segregación domiciliaria de residuos, se consideró que esta era del 30%, y que al menos un 50% de los casos para relevar (participantes del Programa Municipal de RSU), realizaban dicha segregación. A partir de eso, se utilizó la fórmula propuesta por Rosner (2011) (ver anexo 1). La muestra resultante fue de 43 casos para relevar.

Los casos fueron seleccionados mediante un procedimiento no probabilísticos. A partir de contactos previos (domicilios que permitieran realizar las encuestas) se hizo un barrido de casos lo más amplio posible. Se terminaron relevando 48 casos con el fin de contar con casos que pudieran servir de reemplazo, ante la eventualidad que alguno de los domicilios tuviera información incompleta (no respuestas). Sin embargo, esta situación no ocurrió, con lo cual se incluyó un total de 48 casos.

El instrumento de recolección fue una encuesta semiestructurada que se aplicó durante los meses de mayo y junio de 2019 (el formulario se incluye en anexo 2). Los datos obteni-

dos fueron procesados con el software Infostat licencia estudiantil (Di Rienzo *et al.*, 2015), y la suite online Google.

RESULTADOS

Todas las unidades encuestadas se encontraban en la planta urbana de la ciudad de San Andrés de Giles, y estaban incluidas en los registros del Programa Municipal de Recolección de RSU. Al comenzar el estudio, y entre las caracterizaciones que se hicieron al respecto, la primera intención para indagar recayó sobre la cantidad de residentes por unidad domiciliaria. Por una parte la figura 1 muestra que la mayor cantidad de unidades domiciliarias tiene una mediana de 2 personas/domicilio. Hay seis casos, un 12,5% de los domicilios, que cuentan con una sola persona, y un solo caso que cuenta con siete integrantes. Por otra parte, la tabla 1 indica el máximo nivel educativo alcanzado por alguno de los miembros de dichas unidades. Esta variable es una buena referencia respecto al nivel socioeconómico poblacional. Se observa que más de la mitad de los domicilios (54,2%) contaban con estudios universitarios o terciarios, lo cual indica que se trataría de domicilios con un nivel cultural medio a medio/alto.

Con base en estos resultados (figura 1 y tabla 1) se pudo observar que los datos guardan cierta relación con respecto a lo señalado por el Banco Mundial (2018) en el sentido de que

	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Primario	10	20,8
Secundario	12	25
Terciario	12	25
Universitario	14	29,2
Total	48	100

Tabla 1. Unidades por máximo nivel de estudio alcanzado por alguno de sus integrantes.
Fuente: Elaborado a partir de datos propios.

³Véase también Índice de Calidad de Vida – IGEHCS & ISISTAN (UNCPBA & CONICET) en <https://icv.conicet.gov.ar/>

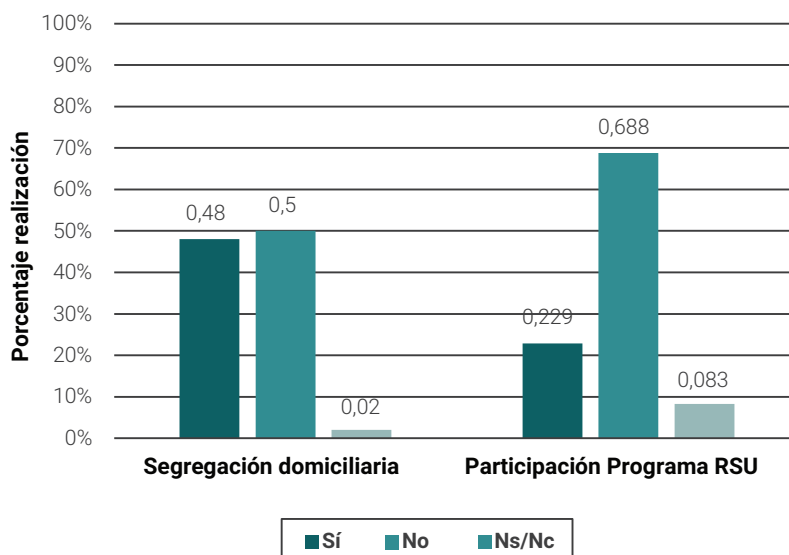


Figura 2. Segregación domiciliaria de RSU y participación en el Programa Municipal de RSU.
Fuente: Elaborado a partir de datos propios.

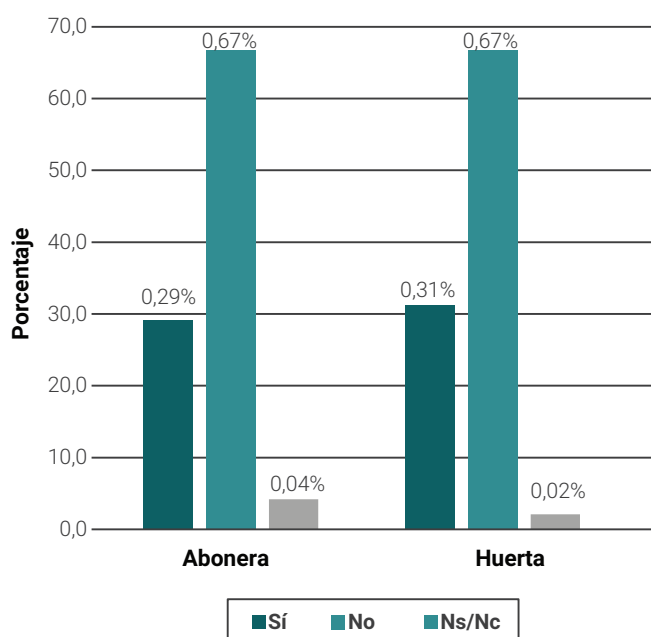


Figura 3. Realización de compostaje domiciliario y huerta traspatio.
Fuente: Elaborado a partir de datos propio.

existe relación entre la composición de los desechos orgánicos domiciliarios y el nivel socioeconómico de las unidades domiciliarias, lo que refleja patrones variados de consumo. En ese mismo sentido menciona que, por un lado, los países de ingresos medianos altos y medianos bajos (como en el caso de Argentina) generan en promedio el 53 y el 56 por ciento de desechos de alimentos y restos "verdes", respectivamente, y que la fracción de residuos orgánicos aumenta a medida que disminuyen los niveles de ingresos. Por otro lado, los países de ingresos medios bajos suelen presentar mayor número de

habitantes por unidad domiciliaria que aquellos medio o altos (Bandara *et al.*, 2007).

Se consultó (figura 2) a estas unidades si realizaban segregación domiciliaria de RSU y si participaban en el Programa Municipal de RSU. Alrededor de la mitad de los domicilios realizaban segregación de RSU, pero solo el 23% manifestó que participaban activamente del Programa. Esto puede significar tanto que participan en este y no registran específicamente a esta política pública o bien que realizan segregación más allá de no participar activamente en el Programa.

A su vez, se indagó sobre las prácticas de compostaje de la fracción orgánica y la realización de huerta traspatio (figura 3).

El 66,7% de las unidades que realizan segregación de RSU entregan dichos residuos al Programa Municipal. Un 30% de los hogares realiza prácticas de compostaje, es decir, poseen algún tipo de abonera, lo cual es similar para la huerta. Un porcentaje similar también realiza huerta.

En el caso del compostaje doméstico esta práctica permitirá disminuir la cantidad de residuos que se vuelcan al sistema público. Asimismo, la relación entre compostaje y huerta es esencial (Díaz *et al.*, 2004). Sin embargo, la tabla 2 indica que varios domicilios tienen huerta pero no hacen abonera, y tantos otros realizan compostaje pero no tienen huerta. Estos casos podrían ser los más rápidos para proponer compostaje. Esta situación podría articularse mediante el planeamiento de programas de educación ambiental.

Se profundizó sobre el tipo de residuo orgánico que se segregaba en los domicilios (figura 4) y se obtuvo que más del 80% de los casos segrega tanto los restos de cocina como los de poda y huerta y que un 65% lo hace con respecto a restos de yerba, té y café.

En el caso específico de las composteras, el Programa Municipal no preveía la entrega a los domicilios de un determinado tipo de abonera. Se pudo constatar (figura 5) que el tipo más utilizado fue mediante pozo y tacho, y solamente un caso expresó que realizaban pila.

Presencia de huerta	Realiza abonera		Total
	No	Sí	
No	26	5	31
Sí	6	9	15
Total	32	14	46

Tabla 2. Realización de huerta y abonera. Unidades que realizan segregación de RSU.

Fuente: Elaborado a partir de datos propio.

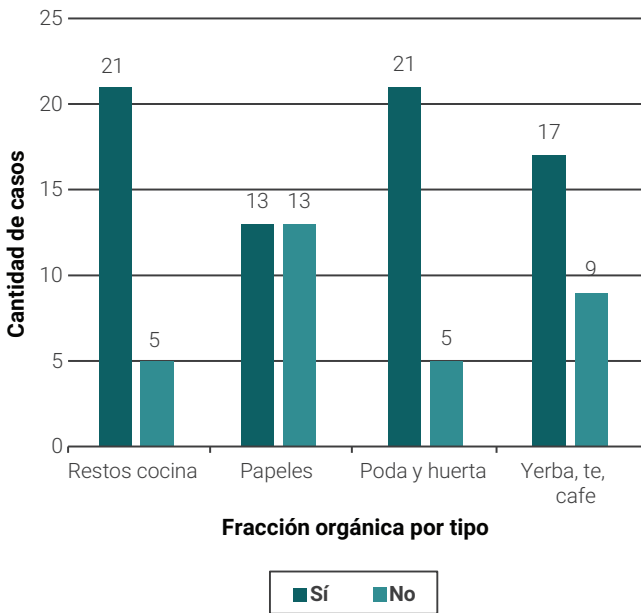


Figura 4. Segregación de RSU por Tipo. Fracción orgánica.

Fuente: Elaborado a partir de datos propios.

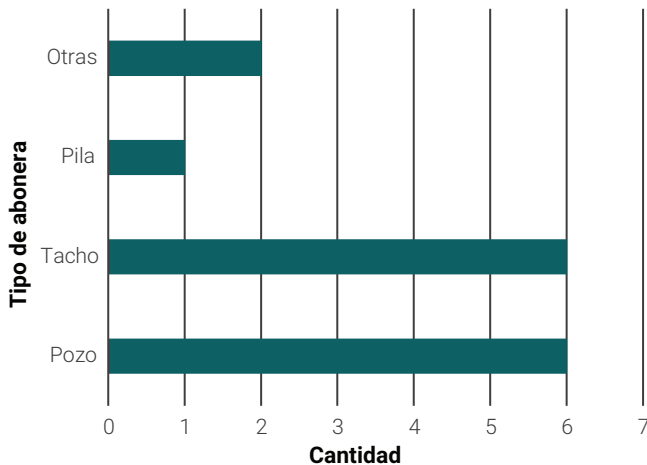
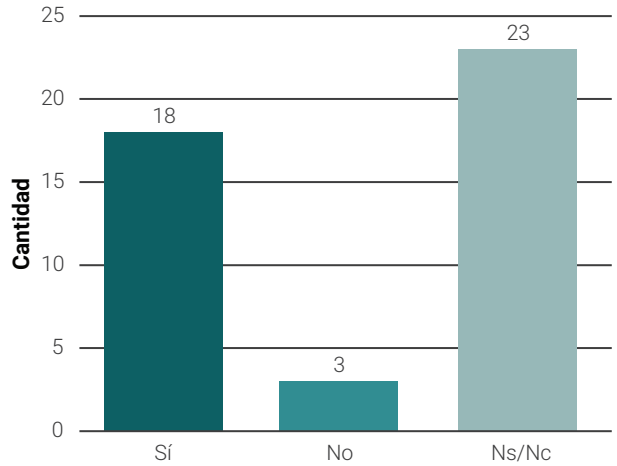


Figura 5. Abonera por tipo.

Fuente: Elaborado a partir de datos propios.



Conocimiento donde asesorarse en RSU

Figura 6. Conocimiento sobre dónde asesorarse en gestión de RSU. Fuente: Elaborado a partir de datos propios.

Otro interrogante planteado (figura 6) da una perspectiva acerca de si los entrevistados saben dónde acudir para asesorarse o capacitarse sobre RSU. Los datos proporcionan que un 52% de la población no conoce si tiene un lugar en la ciudad donde pueda asesorarse sobre sus inquietudes y un 7% directamente dice que no cuenta con tal sitio. El 41% restante menciona que cuentan con puntos de referencia para obtener asesoramiento.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una de las cuestiones centrales en este trabajo fue realizar una primera caracterización de la situación en el manejo de los RSU en la ciudad bonaerense de San Andrés de Giles, especialmente porque existía una política pública local específica en la temática. Además, se intentó ahondar sobre la relación entre las prácticas de segregación domiciliar de RSU y la realización de compostaje y huertas traspatio.

La bibliografía indica que la segregación en origen de los residuos domiciliarios es un elemento central en el buen manejo local de los RSU. En ese sentido, la ciudad de San Andrés de Giles inició en 2015 una prueba piloto voluntaria de manejo integral de los RSU secos (plástico, cartón, etc.), aprovechando las instalaciones de su propia Planta de Procesamiento de RSU inaugurada en 2010.

Las encuestas indican que un 23% de los casos relevados están participando activamente en el Programa Municipal de Recolección de RSU. A su vez, un 50% de los casos relevados no participantes del programa realiza algún tipo de segregación en origen. Esto implica que estas unidades probablemente participen de algún modo en el Programa Municipal; o bien han implementado individualmente parte de sus propuestas. Otra posibilidad para considerar es la participación de recicladores urbanos informales (cartoneros) en la recepción de las fracciones reciclables de los RSU.

Cuando se consultó acerca del contenido específico de la FORSU que se segregaba, un alto porcentaje indicó que en mayor medida se trataba de los restos de cocina, poda y huerta. Ante esta situación se podría considerar la realización de compostaje hogareño, o bien podría ser para alimentación de animales domésticos.

En relación con la presencia de aboneras y huertas traspatio, el análisis de los datos arrojó que un 30% de todos los domicilios realiza algún tipo de abonera y que un 31% desarrolla huertas domiciliarias. Sin embargo, no son la totalidad de unidades las que combinan ambos elementos. Este segmento de domicilios podría incluir ambas prácticas de manera relativamente sencilla.

Si se recorta a los domicilios que hacen segregación en origen de RSU, la mitad de ellos también realizan abonera, con las técnicas de pozo y tacho, principalmente. Además, varios casos mencionaron tener huerta, pero no abonera. También se registraron casos que segregan los RSU bajo el Programa Municipal, pero que luego no realizan procesos de compostaje. Dichos casos podrían ser los más rápidos para proponer elaboración de compost a través de sencillos sistemas hogareños.

En esta dirección, se consultó si conocen dónde acudir en caso de necesitar asesoramiento en temas relacionados con el manejo de los RSU. Mientras que un 52% de los encuestados manifestó desconocer un lugar en la ciudad a dónde dirigirse en caso de necesitarlo, otro 7% de los encuestados afirmó la inexistencia de un sitio de asesoramiento en la ciudad. Por una parte, esta situación deja un interrogante en la sociedad local, específicamente sobre aquellas personas que tengan inquietudes y no sepan qué hacer en caso de necesitar asesoramiento. Pero, por otra parte, la necesidad de reforzar las estrategias de comunicación local por parte del Programa Municipal, ya que sus alcances no son aún conocidos siquiera por los domicilios alcanzados por este.

La ciudad de San Andrés de Giles presenta una proyección que puede considerarse como positiva, en tanto se observó una serie de acciones que se orientan a una estrategia integral de manejo de RSU, que incluye a la FORSU. Estas acciones deberían contemplar al compostaje doméstico como modelo para reducir la generación de RSU. A su vez, este compostaje podría ser incorporado en la realización de huertas traspatio. A este respecto, es lógico pensar que es necesario empezar a utilizar enfoques que contemplen ciclos cerrados, basados en la denominada Economía Circular. Este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio (Lett, 2014:1-2 y Lozupone, óp. cit:8-9). En consecuencia, resulta interesante detectar a ese 19%, que realizan de manera interrelacionada la segregación en origen de RSU, compostaje y huerta traspatio. Estos casos particulares deben ser un ejemplo para el resto de la sociedad y una referencia para expandir políticas públicas como el Programa Municipal de Segregación de RSU.

BIBLIOGRAFÍA

ADDESSO, H. 2015. Crónica de un Plan: San Andrés de Giles. 1.ª ed., Vita-graf, Mercedes, Argentina.

ÁLVAREZ, G. 2005. Pobreza y comportamiento demográfico en la Cuenca del Río Luján, Buenos Aires, hacia el año 2001. VIII Jornadas Argentinas de Estudios de la Población -A-EPA-. Sesión 8 Población y territorio: Relaciones entre territorio, pobreza y procesos demográficos, Tandil, Argentina.

ÁREA DE MEDIO AMBIENTE. 2020. Municipalidad de San Andrés de Giles. (Disponible: <https://www.sanandresdegiles.gob.ar/medio-ambiente> verificado: 02 de abril de 2020).

BANDARA, N.; HETTIARATCHI, J.; WIRASINGHE, S.; PILAPIYA, S. 2007. Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: A case study. Environmental monitoring and assessment. 135. 31-39. 10.1007/s10661-007-9705-3

DÍAZ, D.; GALLI, A.; BERGES, M.; CAZORLA, C.; VELÁZQUEZ, M.; LUPI, L.; RUBIÓ, M. 2004. La huerta orgánica familiar. Pro Huerta. Material de Capacitación. INTA, Ministerio de Desarrollo Social. 84 p.

DIRECCIÓN DE AMBIENTE. 2020. Municipalidad de Unquillo. (Disponible:

<https://unquillo.gov.ar/ambiente/> verificado: 11 de septiembre de 2020).

DIRECCIÓN DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. 2020. Municipalidad de Trenque Lauquen. (Disponible: <https://www.trenquelauquen.gov.ar/ecotrenque/girsu/> verificado: 10 de septiembre de 2020).

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABALDA, M.; ROBLED, C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infostat.com.ar> verificado: julio de 2020).

DUVERGES, D. 2013. La crisis en el manejo de los residuos sólidos urbanos en el área metropolitana. Reclamo social, realidad contundente y necesidad en el compromiso de las autoridades para la implementación de una gestión integral. Informe Anual FARN, 232 p.

EUROPEAN COMMISSION (DG ENV). 2012. Use of economic instruments and waste management performances. Final Report. Unit G.4 Sustainable Production and Consumption. Contract ENV.G.4/FRA/2008/0112. (Disponible: https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final_report_10042012.pdf verificado: 21 de abril de 2019).

GUTIERREZ, G. 2015. Avances hacia la gestión integral de residuos en la región metropolitana de Buenos Aires. Escuela de Política y Gobierno. UNSAM. 81 p. (Disponible: <https://metropolitana.org.ar> verificado: 17 de septiembre de 2020).

HONORABLE CONCEJO DELIBERANTE DE SAN ANDRÉS DE GILES. 2017. (<http://hcdsanandresdegiles.blogspot.com/> verificado: 20 de septiembre de 2020).

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. World Bank. Washington D. C. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0

LETT, L. 2014. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. Revista Argentina de Microbiología, vol. 46, núm. 1, 1-2 pp.

LOZUPONE, M. 2019. El Costo de la Gestión de los RSU en los Municipios Argentinos. Un Estudio Desde la Economía Circular hacia la Sustentabilidad Integral. Centro de Estudios para el Cambio Estructural. Buenos Aires. 57 p. (Disponible: <http://fcece.org.ar/> verificado: 14 de diciembre de 2020).

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). 2020. República Argentina. 2020. (Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/preservacion-control/gestionresiduos/argentina> verificado: 05 de agosto de 2020).

PESCIO, F.J.; CASTRO, D.; FILLIPPINI, O.S.; SAMPAOLES, E.; DELFINO, H.; ESCANES, V.; OLLEAC, M.; FERRARI, J.F.; JUARES, A.; RODRIGUEZ, F. 2018. Datos Preliminares de Relevamiento en Huertas. Vinculadas al Programa ProHuerta en el Municipio de Luján (Buenos Aires). En: GIOBELLINA, B.; TITTONEL, P. (ed.). Periurbanos hacia el consenso, resúmenes ampliados libro 1. Programa Nacional de Recursos Naturales Gestión Ambiental y Ecorregiones. PF. 1.º Encuentro Nacional sobre Periurbanos e interfases críticas, 2.ª Reunión Científica del PNNAT y 3.a Reunión de la red PERIURBAN. Córdoba. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/3035>

PONCE, D. S/F. Aporte a la etapa inicial de Gestión de RSU. Hábitos que atentan contra la separación en origen. CONES. Argentina. 61 p. (Disponible: <http://www.coneschaco.org.ar/> verificado: 14 de diciembre de 2020).

ROSNER, M. 2011. Fundamentals of biostatistics. Brooks/Cole, Cengage Learning. Boston. 411 p.

SCHJEJTMAN, L.; CELLUCCI, M. 2014. Gestión integral de residuos sólidos urbanos: Políticas municipales que promueven la sustentabilidad" Serie Buenas Prácticas Municipales 3. Fundación CIPPEC (Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento), Buenos Aires.

SECRETARÍA DE ASUNTOS MUNICIPALES DE LA NACIÓN. 2015. Gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos. Ministerio del Interior y Transporte de la Nación. 12-13 pp. (Disponible: <https://www.mininterior.gov.ar/municipios/> verificado: 05 de mayo de 2020).

SILBERT VOLDMAN, S. 2018. Manual de buenas prácticas para producir compost hogareño. 1.ª ed. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Argentina. 39-40 pp.

SISTEMA DE BOLETINES OFICIALES MUNICIPALES (SIBOM). 2017. Decreto N.º 1877/2017. (Disponible: <https://sibom.slyt.gba.gov.ar/bulletins/1150/contents/1229310> verificado: 15 de octubre de 2020).

STORINO, F. 2017. Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliario a pequeña escala: estudio del proceso y del producto obtenido. (tesis doctoral), Universidad Pública de Navarra, Navarra, España. 51 p. <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/32173>

Anexo 1

Fórmula para cálculo de tamaño de muestra

$$N = \frac{p_0 q_0 \left\{ z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta} \sqrt{\frac{p_1 q_1}{p_0 q_0}} \right\}^2}{(p_1 - p_0)^2}$$

$$q_0 = 1 - p_0$$

$$q_1 = 1 - p_1$$

p0 = Proporción (incidencia) de la población
 p1 = Proporción (incidencia) de la muestra
 N = Tamaño de la muestra
 α = Probabilidad de Error tipo i
 β = Probabilidad de Error tipo ii
 z = Valor Z para un α o β dado

Anexo 2

Modelo de encuesta utilizado en el trabajo de campo

Encuesta sobre el manejo de los residuos sólidos domiciliarios y prácticas de compostaje en la ciudad de San Andrés de Giles, con fines académicos

1. Cantidad de personas que viven en el domicilio

Número:	
---------	--

2. Máximo nivel educativo (marcar con cruz)

1. Primario	
2. Secundario	
3. Terciario	
4. Universitario (completo – incompleto)	

3. Principal actividad (marcar con cruz)

1. Trabajo cuentapropista	
2. Jubilado/pensionado/asignación social	
3. Empleado	
4. Comercio	
5. Otro (especificar)	

4. ¿Eres oriundo de San Andrés de Giles?

1. Sí
0. NO

4.1 En caso negativo, ¿vienes de otra provincia?

1. Sí
0. NO

4.2 En caso afirmativo, ¿de cuál?

Nombre:

5. ¿Entiendes el significado de los Residuos Sólidos Domésticos?

1. Sí
0. NO

6. ¿Has escuchado hablar sobre ellos?

1. Sí
0. NO

7. En caso afirmativo, ¿a través de qué medio de comunicación?

Medio de comunicación	Cruz
1. Por internet	
2. Lo vi por TV	
3. Leí materiales escritos (cartilla, diarios, revistas)	
4. Radio	
5. Gobierno municipal	
6. Otros (detallar)	

8. En tu domicilio, ¿qué tipo de espacio descubierto posees?

Tipo	Cruz	Metros aproximados
1. Piso de material		
2. Piso tierra		
3. Terraza		
4. Ninguno		

9. ¿Hay presencia de animales domésticos?

1. Sí
0. NO

9.1 En caso afirmativo, ¿cuál/es?

Especificar:

10. ¿Segregas los residuos domésticos (papel/vidrio/envases)?

1. Sí
0. NO

11. ¿Y los residuos orgánicos (húmedos)?

1. Sí
0. NO

11.1 En caso afirmativo, ¿cuáles?

Materiales orgánicos que segregan	Cruz
1. Restos cocina	
2. Papeles	
3. Yerba, té, café	
4. Restos poda, huerta	

12. ¿Con qué frecuencia botas (sacas) los residuos?

Frecuencia	Cruz
1. Diario	
2. Interdiario	
3. Semanal	

13. ¿Cuánta cantidad de residuos botas (sacas) cada vez que lo haces?

Volumen:	Cruz:
1. Entre 0 y 1 kg	
2. Entre 1 y 2 kg	
3. Entre 2 y 3 kg	
4. Más de 3 kg	

14. ¿Participas en el programa municipal de recolección de RSU?

1. SÍ
0. NO

15. ¿Tienes huerta?

1. SÍ
0. NO

15.1 En caso afirmativo, ¿hace cuantos años aproximadamente tienes la huerta?

Cantidad de años:

16. Al momento de decidir iniciar la huerta, ¿contabas con conocimientos previos?

1. SÍ
0. NO

17. ¿Qué destino tiene la producción?

Destino	Cruz
1. Autoconsumo	
2. Entrega a familiares/vecinos	
3. Venta de excedentes	

18. ¿Participas del Programa ProHuerta?

1. SÍ
0. NO

19. ¿Realizas compostaje (abono) de residuos?

1. SÍ
0. NO

19.1 En caso negativo, ¿por qué no lo realizas?

Respuesta abierta.....

20. Responder solo SI REALIZA COMPOSTAJE (sino pase a la pregunta número 21):

Material que se agrega	cruz
1. Restos cocina	
2. Restos verdura	
3. Pasto y restos de poda	
4. Bosta de vaca, caballo o conejo	
5. Cama de pollo	
6. Restos de la huerta	

20.1 Tipo de abonera utilizada:

1. Pozo	
2. Tacho	
3. Pila	
4. Otro	

20.2 ¿Cómo aprendió a hacer la abonera?

Fuente	Cruz
1. Por autoaprendizaje	
2. Lo vi por TV	
3. Leí materiales escritos (cartilla, diarios, revistas)	
4. Cursos	
5. Otros	

20.3 Principales problemas que has tenido con la abonera:

Respuesta abierta.....

20.4 Usos del abono:

Usos	Cruz
1. Lo agrego a la tierra	
2. Lo vendo	
3. Lo mezclo para plantines	
4. Otros	

21. ¿Sus abuelos y/o padres hacen o hacían abonera/compostaje?

1. SÍ	
2. NO	
3. NO SABE	

22. ¿Qué motivo/s te han llevado, o te pueden llevar en un futuro, a la práctica de la segregación en origen de los residuos sólidos domiciliarios y a la posible generación de compost para la huerta?

Motivos	Cruz
1. Alimentación orgánica/saludable	
2. Cuidar el ambiente	
3. Obligación municipal	
4. Ninguna – No me interesa	
5. Otra (especificar):	

23. En caso de necesitar ayuda durante los procesos de segregación en origen de los residuos, de compostaje y/o huerta, ¿tienes donde recurrir en tu ciudad para asesorarte?

1. SÍ	
2. NO	
3. NO LO SÉ	

23.1 En caso afirmativo, ¿sobre qué tema te pueden asesorar?

Tema	Cruz
1. Segregación en origen	
2. Compostaje	
3. Huerta	
4. Todas	

24. ¿La escuela/colegio/universidad en la que has cursado tus estudios te han enseñado algo sobre dichas prácticas?

1. SÍ
0. NO

24.1 En caso afirmativo, ¿sobre cuál de los temas?

Tema	Cruz
1. Segregación en origen	
2. Compostaje	
3. Huerta	
4. Todas	

24.2 ¿Cuál de las instituciones educativas te brindó conocimientos básicos sobre los residuos sólidos urbanos y la segregación en origen? (puede marcar una o más opciones).

Institución:	Cruz
1 Primaria	
2 Secundaria	
3 Terciaria	
4 Universidad	

24.3 ¿Y sobre huerta y compostaje?

Institución:	Cruz
1. Primaria	
2. Secundaria	
3. Terciaria	
4. Universidad	

¡Gracias!

Estudio exploratorio sobre *Mycoplasma hyopneumoniae* en granjas porcinas del norte de la provincia de La Pampa, Argentina, utilizando PCR como metodología de diagnóstico

Publicado online 06 de abril de 2022

Murcia, V.N.¹; Beneitez, A.¹; Pordomingo, A.J.¹; Miranda, A.¹

RESUMEN

El *Mycoplasma hyopneumoniae* es el principal agente causal de la neumonía enzoótica porcina, enfermedad respiratoria ampliamente distribuida y conocida en el mundo por las pérdidas económicas que ocasiona en la producción. No existe información sobre la prevalencia de *M. hyopneumoniae* en la provincia de La Pampa, es por eso que el objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio exploratorio de campo a partir de muestras de hisopados nasales de cerdos de 20 a 50 kg PV. Se utilizó la técnica diagnóstica molecular PCR para detectar la presencia de ADN del agente etiológico. Se evaluaron 218 muestras que resultaron todas negativas. La información generada es valiosa para el sector porcino pampeano, aunque se remarca la necesidad de continuar con mayores estudios para cuantificar el impacto sanitario de dicha enfermedad en la provincia de La Pampa.

Palabras clave: neumonía enzoótica porcina, cerdos, PCR.

ABSTRACT

Mycoplasma hyopneumoniae is the main causal agent of Swine Enzootic Pneumonia, a chronic respiratory disease that occurs worldwide and causes major economic losses to the pig industry. There is no information about the presence of the bacteria in La Pampa province. Therefore, the aim of this study was to carry out an exploratory field research, from nasal swab samples from 20 to 50 kg BW pigs. The PCR diagnostic technique was used to detect the presence of the etiological agent DNA. 218 samples were tested, all of them were negative. Although these outcomes contribute important information for the pig sector, is necessary to continue with further studies to quantify the health impact of this disease, in La Pampa province.

Keywords: enzootic pneumomia, pigs, PCR.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Anguil. Ruta Nacional N.º 5 km 580 (6326), Anguil, La Pampa, Argentina.
Correo electrónico: murcia.vanina@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Mycoplasma hyopneumoniae (*M. hyopneumoniae*) es el agente causal de la neumonía enzoótica porcina (NEP) y es el principal agente involucrado en el complejo respiratorio porcino (Maes *et al.*, 2017; Thacker y Minion, 2012; Tamiozzo, *et al.*, 2009). Las infecciones de *M. hyopneumoniae* son ampliamente distribuidas y conocidas en el mundo por las pérdidas económicas debido a los costos sanitarios, disminución del crecimiento y desarrollo de la pira y alta mortalidad causada por la asociación de agentes etiológicos secundarios (Maes *et al.*, 2017; Holst *et al.*, 2015; Clark, 1999).

La transmisión del agente ocurre por contacto directo entre animales que comparten el mismo corral, como también indirectamente mediante el contacto con aerosoles ambientales contaminados hasta 9,5 km de distancia (Otake *et al.*, 2010). Los lechones al nacimiento son considerados libres de infección mientras que, su primer contacto con la bacteria ocurriría durante el periodo de la lactancia (Calsamiglia y Pijoan, 2000; Nathues *et al.*, 2013). Ibarra *et al.* (2000) reconocen que la mayor incidencia clínica y patológica de la NEP se da en el rango de edades 20 y 50 kg PV. Se supone que estos animales colonizados tempranamente son la fuente de infección para animales de mayor edad (Nathues *et al.*, 2013). El contagio de la bacteria en estas edades es de gran importancia en los sistemas de producción intensivos donde los animales se transfieren a instalaciones limpias para su terminación (Fano *et al.*, 2007). La dinámica de infección del *M. Hyopneumoniae* es muy variable y depende de varios factores tales como el sistema de producción, presión de infección, condiciones de manejo y época del año (Segalés *et al.*, 2012).

El monitoreo de la presencia de *M. hyopneumoniae* en cerdos vivos proporciona información útil sobre la dinámica de infección dentro de la pira, los factores influyentes y las estrategias de prevención y control empleadas correctamente (Fablet *et al.*, 2010). El aislamiento de la bacteria es complicado debido a las exigencias de preparación del medio y de control para lograr el desarrollo de colonias. Además, la posibilidad

de que otras especies contaminen el cultivo e impidan su crecimiento sería una restricción importante del método (Sibila, 2013). Fablet *et al.* (2010); Sibila *et al.* (2009); Thacker, (2006) han utilizado la técnica molecular PCR (reacción en cadena de la polimerasa) para la determinación de la presencia o no del ADN del *M. hyopneumoniae* en animales vivos.

En Argentina, estudios realizados por Tamiozzo *et al.* (2011) determinaron la presencia de varios genotipos de *M. hyopneumoniae* en diferentes granjas del país e incluso en animales de una misma granja. En la provincia de La Pampa hay un total de 145.000 cerdos de los cuales no existen registros de la existencia de la enfermedad, pero se presume su presencia por ser tan ubicua en el resto del país. El objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio epidemiológico de campo para determinar la prevalencia de *M. hyopneumoniae* en granjas porcinas de la provincia de La Pampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron al azar 20 establecimientos porcinos del norte de la provincia de La Pampa (figura 1). De acuerdo a May *et al.* (2012), fueron clasificados según la cantidad de cerdas reproductoras que integran la actividad en criaderos semiintensivos o criaderos extensivos. Los establecimientos sumaron una existencia total de 5450 cerdos (272 cerdos/granjas). Se muestrearon aleatoriamente el 10% de los animales entre 20 y 50 kg PV de cada uno de los establecimientos, obteniendo un total de 218 muestras. Los hisopados nasales se tomaron utilizando hisopos con vástago de plástico (deltalab). Las muestras se colocaron en 3 ml de PBS. Fueron conservadas en un freezer a -70 °C hasta el momento de ser procesadas en el laboratorio molecular de la EEA del INTA Anguil.

La extracción de ADN se realizó a partir de 300 µl de muestra con un método tradicional con proteinasa k de acuerdo a lo descrito por Pulido *et al.* (2006). Se corroboró la concentración del ADN extraído utilizando un espectrofotómetro de nano volumen marca Denovix.

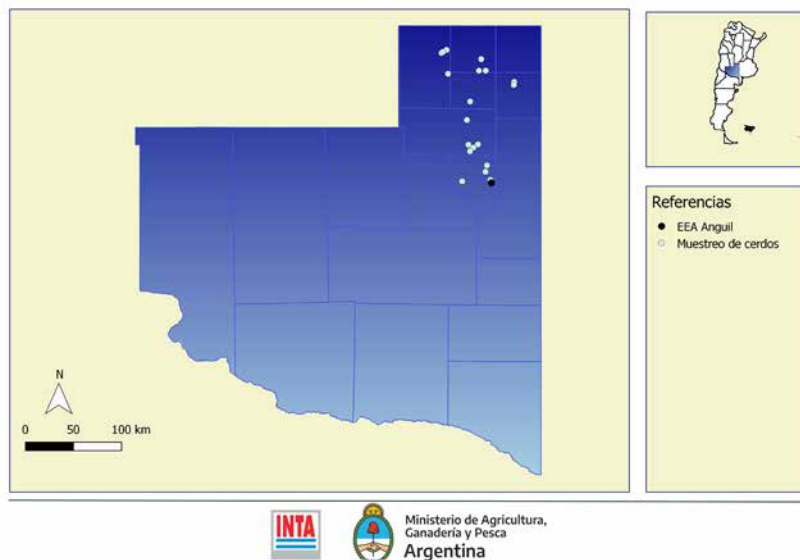


Figura 1. Localización de las granjas muestreadas en el norte de la provincia de La Pampa.

El PCR se realizó utilizando dos pares de cebadores para el gen ribosomal 16 S (16S rRNA) en el ADN del *M. hyopneumoniae*; los cebadores externos utilizados fueron los descriptos por Mattsson *et al.* (1995) y los iniciadores para la reacción interna fueron los reportados y utilizados por Calsamiglia *et al.* (1999). Las reacciones fueron llevadas a cabo de acuerdo a lo propuesto por Calsamiglia *et al.* (1999). La primera reacción amplificó un fragmento de 649 pb, y la segunda amplificó un fragmento de 352 pb (Pulido *et al.*, 2006; Ruiz y Pijoan, 2002; Calsamiglia *et al.*, 1999). El programa de ciclado fue establecido por Mattsson *et al.* (1995) y por Calsamiglia *et al.* (1999). Por último, los productos obtenidos en ambas reacciones fueron analizados por electroforesis en 1% de gel agarosa teñido con 5 µl de gel red. Se visualizó en transluminador de luz UV, Dyna Light Dual Intensity (Labnet). La siembra se realizó durante 80 min, 70 voltios. El control positivo fue donado por la Universidad Nacional de Río Cuarto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue generar información sobre *M. hyopneumoniae* en las granjas porcinas de la provincia de La Pampa bajo un estudio exploratorio de campo. Las muestras de hisopados nasales procesadas bajo la metodología utilizada arrojaron resultados negativos a la presencia de *M. Hyopneumoniae*.

Tamiozzo *et al.* (2011) determinaron la presencia de varios genotipos de *M. hyopneumoniae* en diferentes granjas de Argentina, e incluso en animales de una misma granja. Pero en los criaderos muestreados al azar en la provincia de La Pampa no se detectó la presencia del agente. Esta diferencia puede deberse a que Tamiozzo *et al.* (2011) muestrearon criaderos intensivos en zonas del país donde la distancia entre criaderos es inferior a 9,5 km entre sí, límite de distancia propicia para la diseminación de la enfermedad (Otake *et al.*, 2012). A diferencia de Tamiozzo *et al.* (2011) las granjas muestreadas en el presente estudio se caracterizaron por ser sistemas semiintensivos y extensivos y estaban ubicadas en un radio superior al establecido por Otake *et al.* (2012).

Los resultados preliminares de este estudio concuerdan con Pulido *et al.* (2006) que no lograron determinar la presencia de *M. hyopneumoniae* a partir de hisopados nasales de cerdos de 20 a 50 kg de PV con la técnica de PCR, y aseguraron que el resultado se debía a la baja carga bacteriana de las muestras clínicas obtenidas. Estos resultados coinciden con el reporte de Pieters *et al.* (2017) quienes han demostrado que el diagnóstico por PCR tiene baja sensibilidad en muestras de hisopados nasales en comparación con muestras de lavajes bronquio traqueales. Sin embargo, Zeeh *et al.* (2008) reportan que la detección de *M. hyopneumoniae* por PCR se caracteriza por tener alta sensibilidad y arroja resultados positivos con poca carga bacteriana en la muestra. Por un lado, Nathues *et al.* (2012) lograron determinar la presencia de la bacteria por medio de PCR en hisopados de mucosa nasales de operarios de galpones de posdestete de granjas porcinas ubicadas en el norte-oeste de Alemania. Por otro lado, Pieters *et al.* (2014) correlacionaron los animales de 5 a 8 semanas de vida positivos con el porcentaje de cerdas positivas. La prevalencia a *M. hyopneumoniae* al destete aumentó con la edad del animal en los grupos donde al menos una cerda era positiva. En el presente estudio se remarca la necesidad de reforzar las muestras tomadas como también ampliar el rango de cate-

gorías animales muestreadas. Los resultados presentados se remiten solo a la metodología utilizada.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio brindan información preliminar al sector porcino de la provincia de La Pampa sobre la prevalencia de una enfermedad de importancia mundial para la producción porcina. Si bien, este estudio abarca un número limitado de muestras, remarca la necesidad de continuar con una investigación más exhaustiva en cuanto a categorías de animales y muestras tomadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta comunicación agradecen a los productores porcinos del norte de la provincia de La Pampa por su colaboración en la realización de los muestreos del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- CALSAMIGLIA, M.; PIOJAN, C.; TRIGO, A. 1999. Application of a nested polymerase chain reaction assay to *Mycoplasma Hyopneumoniae* from nasal swabs. *Vet Diagn Invest* 11: 246-251.
- CALSAMIGLIA, M.; PIJOAN, C. 2000. Colonization state and colostral immunity to *Mycoplasma hyopneumoniae* of different parity sows. *Vet Rec* 29; 146 (18): 532-2.
- CLARK, K. 1999. *Mycoplasma hyopneumoniae*: Serology/Vaccinology. Proceedings of the American Association of Swine Practitioners. Annual Meeting. 1999:365-369.
- FABLET, C.; MAROIS, C.; KOBISCH, M.; MADEC, F.; ROSE, N. 2010. Estimation of the sensitivity of four sampling methods for *Mycoplasma hyopneumoniae* detection in live pigs using a Bayesian approach. *Veterinary microbiology*,143(2-4), 238-245.
- FANO, E.; PIJOAN, C.; DEE, S.; DEEN, J. 2007. Effect of *Mycoplasma hyopneumoniae* colonization at weaning on disease severity in growing pigs. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 71(3), 195.
- HOLST, S.; YESKE, P.; PIETERS, M. 2015. Elimination of *Mycoplasma hyopneumoniae* from breed-to-wean farms: A review of current protocols with emphasis on herd closure and medication. *Journal of Swine Health and Production*, 23, 321-330.
- IBARRA, M.; NOÉ, N.; ALVARADO, A.; PERALES, R. 2000. Evidencia de la presencia de anticuerpos de *Mycoplasma hyopneumoniae* en cerdos provenientes de granjas de crianza artesanal del sur de Lima. *Rev. Inv. Vet. Perú*, 11(2), 164-168.
- MAES, D.; SIBILA, M.; KUHNERT, P.; SEGALÉS, J.; HAESBROUCK, F.; PIETERS, M. 2018. Update on *Mycoplasma hyopneumoniae* infections in pigs: knowledge gaps for improved disease control. *Transboundary and emerging diseases*, 65, 110-124.
- MAY, M.P.; SEIBANE, C. 2012. Cadena agroalimentaria de porcinos. Curso de Introducción a las Ciencias Agrarias y Forestales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/43024>
- MARMUR, J. 1961. A procedure for the isolation of deoxyrinucleic acid from micro-organisms. *Journal Mol Biol* 3: 208-218.
- MATTSSON, J.G.; BERGSTROM, K.; WALLGREEN, P.; JOHANSSON K.e. 1995. Detection of *Mycoplasma hyopneumoniae* in nose swabs from pigs by in vitro amplification of the 16S rRNA gene. *J Clin Microbiol* 33: 893-897.
- NATHUES, H.; WOESTE, H.; DOERING, S.; FAHRION, A.S.; DOHERR, M.G.; GROSSE BEILAGE, E. 2012. Detection of *Mycoplasma hyopneumoniae* in nasal swabs sampled from pig farmers. *Veterinary record* 170(24):623.
- NATHUES, H.; WOESTE, H.; DOERING, F.; FAHRION, A.; DOHERR, M.; BEILAGE, E. 2013. Herd specific risk factors for *Mycoplasma Hyopneumoniae* infections in suckling pigs at the age of weaning. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 55:30.
- OTAKE, S.; DEE, S.; CORZO, C.; OLIVEIRA, S.; DEEN, J. 2010. Long-distance airborne transport of infectious PRRSV and *Mycoplasma hyopneumoniae*

from a swine population infected with multiple viral variants. *Veterinary Microbiology*, 145, 198-208.

PIETERS, M.; CLINE, G.S.; PAYNE, B.J.; PRADO, C.; ERTL, J.R.; RENDAHL, A.K. 2014. Intra-farm risk factors for *Mycoplasma hyopneumoniae* colonization at weaning age. *Veterinary microbiology*, 172(3-4), 575-580.

PIETERS, M.; DANIELS, J.; ROVIRA, A. 2017. Comparison of sample types and diagnostic methods for in vivo detection of *Mycoplasma hyopneumoniae* during early stages of infection. *Veterinary microbiology*, 203, 103-109.

PULIDO, A.; MOGOLLÓN, J.D.; MORALES, H.J.; RINCÓN, M.A. 2006. Estandarización y aplicación de la técnica de PCR-Anidado para la detección de *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 53(1), 22-32.

RUIZ, A.; PIJOAN, C. 2002. Use and interpretation of N-PCR from nasal swabs for *Mycoplasma hyopneumoniae* diagnosis. *Proceedings of the 17th IPVS Congress*, vol. 2, Iowa. 79 p.

SEGALÉS, J.; MARTINEZ, J.; CASTELLA, J.; DARWICH, L.; DOMINGO, M.; MA-TEU, E.; MARTIN, M.; SIBILA, M. 2013. Capítulo 5: Diagnóstico laboratorial de trastornos respiratorios. En: SEGALÉS, J.; MARTINEZ, J. (coord.). *Manual de diagnóstico laboratorial porcino*. Grupo ASIS Biomédica S.L. España. 44-52 pp.

SIBILA, M. 2013. *Mycoplasma Hyopneumoniae*: puntos críticos de la epidemiología y del diagnóstico. *Avances tecnológicos porcinos X (9)*:25-30.

TAMIOZZO, P. 2009. Rol, uso e importancia de la nPCR en la detección de *Mycoplasma hyopneumoniae* en cerdas y su progenie luego de la aplicación de un programa de despoblación parcial (Doctoral dissertation, Tesis para optar al grado de Magister en salud y Producción Porcina).

TAMIOZZO, P.; LUCCHESI, P.; AMBROGI, A. 2011. Diversidad genética de *Mycoplasma Hyopneumoniae* en granjas porcinas de la Argentina. *In vet*, 13 (1):27-35.

THACKER, E. 2006. Mycoplasmal disease. En: STRAW, B.E.; ZIMMERMAN, J.J.; D'ALLAIRE, S.; TAYLOR, D.J. (Eds.). *Diseases of Swine*. Iowa State University Press, Ames. 701-717 pp.

THACKER, E.; MINION, F. 2012. Mycoplasmosis. En: ZIMMERMAN, J.J.; RAMIREZ, A.; SCHWARTZ, K.J.; STEVENSON, G.W. (Eds.). *Diseases of Swine*, 10th ed. Ames: Wiley-Blackwell Publishing. 779-798 pp.

ZEEH, F.; KUHNERT, P.; MISEREZ, R.; DOHERR, M.G.; ZIMMERMANN, W. 2005. Feldvalidierung einer real-time PCR zum Nachweis von *Mycoplasma hyopneumoniae* in Nasentupfermaterial von lebenden Schweinen. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 147(9), 373-379.

Prospección del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del Cinturón Hortícola de La Plata

Publicado online 06 de abril de 2022

Rolleri, J.; Romero, A.M.²

RESUMEN

El tomate es la principal hortaliza de consumo fresco de la Argentina y el cultivo con mayor superficie destinada bajo invernadero. La provincia de Buenos Aires concentra el 34% de esa superficie, la mayor parte de la cual está ubicada en el Cinturón Hortícola Platense (CHP). En esta zona, el marchitamiento y cancro bacteriano del tomate (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) afecta seriamente los cultivos; en recorridos previos hemos observado casos en los que la mayoría de las plantas enfermas. El conocimiento del alcance real del problema es necesario para tomar decisiones fundadas tanto para los productores individuales, sus asociaciones u otros organismos privados o públicos. Los objetivos de este trabajo consistieron en establecer el tipo de infección más común (sistémica o localizada) de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en el cultivo, evaluar los parámetros de incidencia y prevalencia, y establecer el rol del tipo de tomate y el cultivo antecesor sobre esta enfermedad en cultivos de invernadero del CHP. Con este fin se realizaron muestreos en 60 invernaderos comerciales de las principales localidades productoras de tomate bajo cubierta del CHP. Se registró el tipo de tomate, híbrido y cultivo predecesor, y se tomaron muestras de plantas con síntomas de la enfermedad para posteriormente confirmar el diagnóstico en el laboratorio. Si bien se observaron síntomas localizados en hojas, tallos y frutos, el síntoma predominante en todos los invernaderos muestreados fue el de tipo sistémico, observando principalmente marchitamiento generalizado. La prevalencia de la enfermedad fue del 86,7% y la incidencia promedio de plantas afectadas del 26,1%. Los cultivos provenientes de descanso tuvieron una menor prevalencia que los que provenían de monocultivo de tomate. En relación con el tipo comercial, todos fueron susceptibles al marchitamiento y cancro bacteriano del tomate, registrando valores de prevalencia similares, entre 80 y 87%, mientras que la incidencia fue menor en el tomate cherri seguido por los tomates tipo perita y redondo con valores de 6,3%, 20,5 y 24,5%, respectivamente. A partir de los resultados concluimos que la enfermedad está muy difundida en el CHP. En aquellos lotes con antecedentes de la enfermedad sería importante incorporar la práctica del descanso o hacer rotaciones con otros cultivos; de no poder hacerse una rotación, los tomates de tipo cherri serían la mejor opción.

Palabras clave: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, incidencia, prevalencia, rotación de cultivos, *Solanum esculentum* L., monocultivo de tomate.

¹Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Centro de Investigaciones de Fitopatología. Ministerio de Desarrollo Agrario (PBA). Correo electrónico: jorgelinaroller@gmail.com

²Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal. Cátedra de Fitopatología, Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

Tomato is the most important fresh vegetable consumed in Argentina and the crop with the largest area produced under cover. The province of Buenos Aires concentrates 34% of that surface, most of which is located in the horticultural belt of La Plata (CHP). In this area, tomato bacterial canker and wilt (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) seriously affects the crops. In previous visits we observed greenhouses in which most of the plants were affected by the disease. However, it is unknown whether they were just isolated cases or, conversely, a general problem; also, the average incidence of diseased plants is unknown. Knowledge of the real scope of the problem is necessary to make sound decisions, both for individual growers, growers associations or other private or public organizations. The objectives of this research were to determine the most common type of infection (systemic or localized) of *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* in the crop, to evaluate the incidence and prevalence, and to establish the role of the type of tomato and the preceding crop on this disease in greenhouse crops of the CHP. For this purpose, samples were taken in 60 commercial greenhouses in the main production areas of tomato of the CHP. The type of tomato, hybrid and predecessor were recorded, and samples of plants with symptoms of the disease were taken to confirm the diagnosis in the laboratory. Although localized symptoms were observed in leaves, stems and fruits, the predominant symptom in all the sampled greenhouses was of the systemic type, mainly observed as generalized wilting. The prevalence of the disease was 86.7% and the average incidence of affected plants was 26.1%. Crops that came from fallow had a lower prevalence than those coming from monoculture of tomato. All commercial cultivars were susceptible to wilting and bacterial canker of tomato, registering values of prevalence between 80 and 87%, while the incidence was lowest in the cherry, followed by the plum and round types of tomato with values of 6.3%, 20.5% and 24.5%, respectively. From these results we conclude that the disease is widespread in the CHP. In those fields with a history of the disease, it would be important to incorporate the fallow practice or rotations with other crops; if a rotation cannot be done, planting cherry tomatoes would be the best option.

Keywords: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, incidence, prevalence, crop rotation, *Solanum esculentum* L., monoculture of tomato.

INTRODUCCIÓN

El Cinturón Hortícola Platense (CHP), caracterizado por tener un sistema de producción intensivo con una gran incorporación de invernaderos, es considerado como uno de los más tecnificados del país (García, 2011) siendo el tomate (*Solanum esculentum* L.) el principal cultivo en la zona. En este esquema, la producción se ha vuelto compleja debido al confinamiento de los cultivos y la continua sucesión de una misma especie durante todo el año, lo que genera un microclima favorable para el establecimiento y desarrollo de plagas y enfermedades (García et al., 2005; Strassera, 2006).

En el CHP, el marchitamiento y cancro bacteriano, causado por *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm), afecta seriamente los cultivos de tomate en invernadero. En relevamientos informales previos hemos observado casos en los que la mayoría de las plantas estaban afectadas. La enfermedad puede producir grandes pérdidas de rendimiento que se reflejan en importantes daños económicos en la producción (Hausbeck et al., 2000). La reducción de rendimiento varía con el año, el lugar y el estado fenológico del cultivo en el momento de la infección (Chang et al., 1992; Poysa, 1993; Sen et al., 2015), y si las infecciones son sistémicas o localizadas. El primer caso ocurre cuando las infecciones provienen de semillas infectadas/infestadas o si la bacteria ingresa por una herida que llega al tejido vascular, de manera que el patógeno rápidamente alcanza los vasos del xilema, los que son degradados por acción enzimática. Como consecuencia, en un principio los folíolos de un lado de la hoja, o las hojas de un lado de la planta pierden turgencia y se marchitan; luego, toda la planta puede morir. Por el contrario, cuando las bacterias

ingresan por heridas superficiales o aberturas naturales las infecciones son localizadas. En este caso, por lo general se produce una necrosis marginal en los folíolos; solo ocasionalmente esas infecciones se vuelven sistémicas (Gleason et al., 1993; Carlton et al., 1998; EPP0, 2013).

Actualmente no existen híbridos o cultivares comerciales con resistencia genética a Cmm (Nandi et al., 2018), aunque en algunas especies, como *S. pimpinellifolium* L., *S. peruvianum* L. y en menor medida *S. habrochaites* S. Knapp y D.M. Spooner (syn. *L. hirsutum* Humb. y Bonpl.), se han encontrado genes de resistencia parcial con niveles de expresión muy influenciados por las condiciones del medio (Francis et al., 2001; Kabelka et al., 2002; Blancard et al., 2011).

Pese a la importancia del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en el CHP, se desconoce su difusión y con qué nivel afecta a los cultivos. Para conocerlos se pueden utilizar distintos parámetros epidemiológicos (Madden et al., 2007). Los más utilizados son la severidad, la incidencia y la prevalencia. Tanto la incidencia como la severidad aportan información a nivel cultivo, y por lo tanto son de gran utilidad para la toma de decisiones de los productores. La incidencia, por un lado, se refiere a la proporción de los individuos relevados que están afectados por una enfermedad en un lote o invernadero y la severidad representa el porcentaje del tejido enfermo. En este caso, por tratarse de una enfermedad sistémica, que causa el marchitamiento y muerte de las plantas, es más útil evaluar la incidencia de la enfermedad. La prevalencia, por otro lado, se aplica en una escala mayor, ya que se refiere a la proporción de lotes o invernaderos donde la enfermedad está presente entre los relevados en una zona (Madden et al., 2007).

Dada la importancia que tiene el cultivo de tomate en el CHP y la relevancia del marchitamiento y cancro bacteriano, los objetivos de este trabajo fueron: 1) establecer el tipo de infección más común (sistémica o localizada) de Cmm en el cultivo, 2) evaluar la incidencia y la prevalencia y 3) establecer el rol del tipo de tomate y el cultivo antecesor sobre esta enfermedad en los invernaderos del CHP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Relevamiento de plantas para determinar incidencia y prevalencia

Entre los años 2008-2011 y en el 2014 se realizaron muestreos en invernaderos comerciales de las principales zonas productoras de tomate bajo cubierta del CHP. Se hicieron relevamientos en las localidades de Abasto, Arana, Echeverry, Berazategui, Colonia Urquiza, El Peligro, Joaquín Gorina, Lisandro Olmos y Los Hornos, pertenecientes al partido de La Plata (figura 1).

En el período 2008-2011 se visitaron entre 6 y 10 invernaderos por año y en el año 2014 se aumentó a 30 el número de invernaderos muestreados. En cada uno se relevaron todas las plantas presentes en 40-60 m de surco lineal (aproximadamente 160-230 plantas/surco), registrándose el total de plantas y de aquellas que manifestaban síntomas de marchitamiento y cancro bacteriano. Se evaluaron 5 surcos elegidos al azar por invernadero, totalizando entre 800 y 1150 plantas/invernadero. En cada caso, se registró el tipo de tomate, híbrido y cultivo predecesor, y se tomaron muestras de plantas con síntomas de la enfermedad para posteriormente confirmar el diagnóstico en el laboratorio.

El diagnóstico de campo se corroboró mediante el aislamiento e identificación del patógeno por técnicas microbiológicas convencionales, que incluyen la tinción de Gram, forma de las células y características morfológicas de las colonias y por técnicas moleculares usando los cebadores específicos PSA-4 y PSA-R, que amplifican la región intergénica 16S-23S del rARN (EPPO, 2013; Pastrik y Rainey, 1999; Schaad *et al.*, 2001), como fue descrito previamente (Rolleri, 2015).

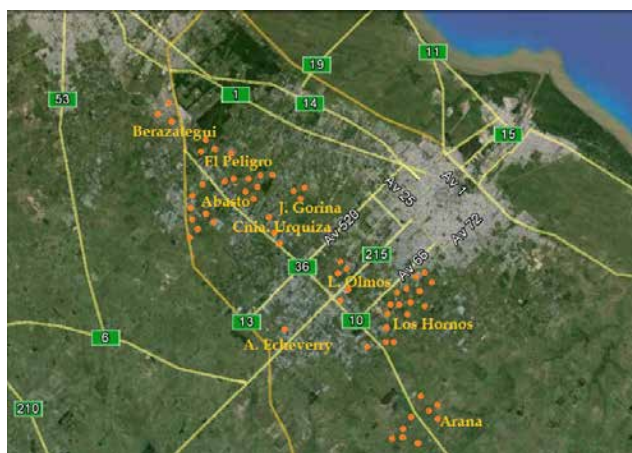


Figura 1. Localidades muestreadas en el Cinturón Hortícola Platense, los puntos de colores representan los invernaderos visitados (Adaptado de Google maps). Fuente: elaborado para la presente edición.

Los datos cuantitativos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA), y cuando los datos no cumplieron con los supuestos del modelo, se hizo un análisis no paramétrico (Test de Kruskal-Wallis). Para los datos cualitativos se realizó un análisis de Chi cuadrado. Se utilizó el software Infostat (Infostat, 2009).

RESULTADOS

Descripción de los síntomas

En el 97% de las muestras sintomáticas se verificó la presencia de Cmm. El síntoma predominante fue el de tipo sistémico, donde en general las plantas enfermas aparecían distribuidas en las líneas de cultivo (figura 2). En un principio, en las hojas se presentaban manchas acuosas o de aspecto oleoso entre las nervaduras, en algunos casos con pérdida de turgencia y aspecto deshidratado, síntoma conocido entre los productores como "hoja de trapo", permaneciendo el resto de la planta verde. Esta flaccidez de las hojas era seguida por un marchitamiento generalizado, tanto en plantas verdes como en aquellas con clorosis generalizada, culminando con la muerte de la planta (figura 3). En el interior de los tallos, los vasos presentaron distintas coloraciones desde amarillentas a marrón y en estados avanzados de la enfermedad también la médula se vio desintegrada, de color marrón o blanco harinoso. En los tallos aparecieron canchros, pero con baja frecuencia (figura 4, izq.). En los frutos se observaron manchas necróticas pequeñas con un halo blanco (conocidas como "ojo de pájaro"), principalmente en plantas de tipo perita ubicadas en las hileras del borde lateral del invernadero (figura 4, der.).

En algunas hojas se observaron lesiones localizadas que aparecían como manchas necróticas internervales o, con menor frecuencia, marginales (figura 5). Esas lesiones, de coloración marrón clara, aspecto desecado y de diversos tamaños, en algunos casos se unían resquebrajando la hoja y plegando los folíolos hacia abajo.

Relevamiento de invernaderos

En los muestreos realizados entre el 2008 y el 2011 y en el 2014, el marchitamiento y cancro bacteriano del tomate fue detectado en las nueve localidades relevadas del CHP. El porcentaje de invernaderos afectados, es decir, la prevalencia de



Figura 2. Síntoma sistémico del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en las hileras de cultivo (CHP). Fuente: elaborado para la presente edición.



Figura 3. Síntomas sistémicos: a la izquierda folíolos que pierden turgencia por la infección vascular (“hoja de trapo”). A la derecha marchitamiento y necrosis unilateral de la hoja. Síntomas observados durante los muestreos en el CHP. Fuente: elaborado para la presente edición.



Figura 4. Síntomas en tallo y fruto. A la izquierda, canchros en tallo que dan el nombre a la enfermedad. A la derecha se observan los síntomas típicos en fruto llamados “mancha en ojo de pájaro”. Síntomas observados durante los muestreos en el CHP. Fuente: elaborado para la presente edición.



Figura 5. Síntomas localizados a la izquierda, manchas necróticas internavales. A la derecha, manchas necróticas marginales en los folíolos. Síntomas observados durante los muestreos en el CHP. Fuente: elaborado para la presente edición.

Localidad	2008	2009	2010	2011	2014
Abasto	2/2 ^a	3/3	1/1		10/10
Arana		2/2	2/2		5/5
A. Echeverry			1/1		
Berazategui			1/3		
Cnia.Urquiza					2/3
J. Gorina			1/1		2/2
L. Olmos		1/1		1/2	2/2
Los Hornos	2/2		1/2	3/4	7/8
El Peligro	4/4				
N	8	6	10	6	30
Prevalencia (%)	100	83,3	70	67	93,3
Incidencia (%)	47,9±12,5 ^b	19,2±5,8	27,4±7,9	21±7,1	15,4±3,9

Tabla 1. Prevalencia de invernaderos afectados con marchitamiento y cancro bacteriano del tomate, por año y localidad de relevamiento, e incidencia promedio de plantas enfermas por año.

^a número de establecimientos afectados/número de establecimientos relevados.

^b Promedio ± error estándar.

la enfermedad, para todo el período fue del 86,7% (52 invernaderos de 60 evaluados), con un mínimo de 67% en 2011 y un máximo de 100% en 2008 (tabla 1). La incidencia promedio de plantas afectadas por la enfermedad fue del 26,1%; no hubo diferencias entre años (Kruskall-Wallis, $H=5,575$; $p=0,3497$).

Cultivo antecesor

El 70% de los invernaderos muestreados habían tenido tomate como cultivo antecesor, el 18,3% provenía de cultivos de hoja, apio y otros cultivos y el 11,7% restante había tenido descanso durante al menos tres meses (tabla 2).

Los cultivos provenientes de invernaderos que habían estado en descanso tuvieron una prevalencia de marchitamiento y cancro bacteriano menor que los que habían tenido un cultivo inmediatamente antes; esta diferencia fue significativa cuando el antecesor fue tomate (X^2 ; $p=0,05$) (tabla 2). Una tendencia similar, aunque no significativa, se observó en la incidencia de plantas enfermas (ANOVA; $p=0,3239$).

Tipo comercial de tomate

El tipo de tomate más plantado en los invernaderos muestreados fue del tipo redondo (tabla 3). En el período 2008-2011,

Antecesor	N	Prevalencia (%)	Incidencia (%)
Cultivo			
Tomate	42	92	25 ± 4,3 ^a
Otro cultivo	11	81	20,4 ± 5,3
Descanso	7	57	13 ± 6,1

Tabla 2. Prevalencia e incidencia promedio de marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del CHP según el cultivo antecesor, años 2008-2011 y 2014.

^a Promedio ± error estándar.

el redondo (87%) estuvo seguido por perita (13%); en el 2014 se incorporó el tipo cherri (*S. lycopersicum* var. *ceraciforme* Dunal) (17%), además de redondo (77%) y perita (6%). Todos fueron susceptibles al marchitamiento y cancro bacteriano; la prevalencia de la enfermedad fue de entre el 80 y el 87% para los tres tipos de tomate (tabla 3). Aunque la incidencia promedio fue menor en los cherri que en los tipo redondo y perita, no se detectaron diferencias significativas entre los tipos (tabla 3) (Kruskall-Wallis $H=1,25$, $p=0,5014$; $x^2 p<0,05$).

En relación con los genotipos de tomate, en los invernaderos analizados se plantaron tres híbridos de tomate tipo cherri, tres de perita y 10 genotipos de tipo redondo (nueve híbridos y una variedad). Entre los redondos, en el 71,4% de los casos correspondió a un solo híbrido, Elpida.

DISCUSIÓN

En los muestreos realizados entre el 2008 y el 2011 y en el 2014, el marchitamiento y cancro bacteriano del tomate fue detectado en las nueve localidades relevadas, que corresponden a las de mayor importancia en la producción de tomate del CHP.

Los diversos síntomas observados en hojas, tallos y frutos, tanto locales como sistémicos, coinciden con los descriptos para Cmm (Gleason *et al.*, 1993; Poissenier y Rat, 1993; Carlton *et al.*, 1998; EPP0, 2013; Tancos *et al.*, 2013), principalmente el

Tipo comercial	N	Prevalencia (%)	Incidencia (%)
Redondo	49	87	24,5 ± 3,8 ^a
Perita	6	83	20,5 ± 5,8
Cherri	5	80	6,3 ± 2,5

Tabla 3. Prevalencia e incidencia promedio del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del CHP según el tipo comercial de tomate; años 2008-2011 y 2014.

^a Promedio ± error estándar.

marchitamiento generalizado en grupos pequeños de plantas o abarcando hileras completas. Un pequeño porcentaje (3%) de plantas con síntomas similares a los de esta enfermedad no dieron resultados positivos en las pruebas microbiológicas. Los síntomas que produce la bacteria Cmm pueden confundirse con los causados por otros patógenos vasculares de origen bacteriano y fúngico (Alippi *et al.*, 2003; Janse, 2006; Alippi y López, 2010; March *et al.*, 2010), por lo cual se considera que el diagnóstico basado exclusivamente en síntomas no es suficiente; es necesario realizar las pruebas de laboratorio correspondientes.

Cmm está ampliamente difundida en los invernaderos del CHP, con una prevalencia de entre el 67 y 100%, según el año considerado. Los niveles de incidencia promedio de plantas enfermas por invernadero variaron con los años, entre 15 y 48% (llegando a 100% en casos individuales), posiblemente debido a diferentes condiciones ambientales que resultaron más o menos predisponentes para el marchitamiento y cancro bacteriano, y al manejo que se realizó en el cultivo. Cmm se dispersa fácilmente durante las labores de conducción que implican cortes que llegan al tejido vascular, particularmente la poda de brotes y hojas. La dispersión secundaria dentro del lote se puede reducir aplicando medidas sanitarias como la desinfección de las cuchillas o tijeras de poda entre cortes (Rolleri, 2015).

Los períodos de descanso entre cultivos resultaron ser sumamente beneficiosos para reducir la aparición de la enfermedad, tal como ocurre en otros casos (García *et al.*, 2005; Strassera, 2006). En el 43% de los lotes que venían de descanso no se detectó la enfermedad, mientras que, si venían de otro cultivo o de monocultivo de tomate ese valor fue solo del 18 y 7%, respectivamente (tabla 2). Además, en los casos en los que la enfermedad fue detectada, los invernaderos que habían tenido un período de descanso entre cultivos tuvieron una tendencia a una menor incidencia del cancro bacteriano, respecto de aquellos lotes sin descanso (reducción del 41-48%). Posiblemente esto esté relacionado con la actividad microbiana en el suelo y la descomposición de los rastrojos infestados (Bibi *et al.*, 2019). Cmm puede sobrevivir durante dos a 10 meses en invernaderos en esta zona, según la época del año y si los rastrojos están enterrados o en superficie (Vega y Romero, 2016). Se ha propuesto que esta es la principal fuente de inóculo primario en países como Japón e Israel, y en las Islas Canarias (España) (Kleitman *et al.*, 2008; De León *et al.*, 2009; Kawaguchi *et al.*, 2010; 2014), donde determinaron que en un mismo invernadero siempre aparece el mismo haplotipo del patógeno, independientemente del año y del híbrido del que fue aislado. Algo similar ocurrió en un estudio con un número limitado de cepas del CHP, en el que Wassermann *et al.* (2017) sugirieron que la fuente de inóculo primario está constituida por semillas y rastrojos infectados/infestados. Apoyando esta hipótesis, en Abasto, Arana, J. Gorina y Lisandro Olmos, hubo invernaderos que fueron muestreados en distintos años: una vez que el patógeno fue detectado en un invernadero, siguió siéndolo en años posteriores. Para confirmar si los rastrojos son la principal fuente de inóculo en el CHP, tal como ocurre en otros lugares, sería conveniente profundizar en los estudios relacionados con la diversidad poblacional de Cmm.

En relación con el tipo de tomate, los muestreos incluyeron 16 genotipos entre tomate redondo, perita y cherri. Todos fueron susceptibles al cancro. Esto era esperable ya que no hay materiales con resistencia genética importante a esta enfermedad (Sen *et al.*, 2015; Martínez Castro *et al.*, 2018). Por una

parte, durante el período evaluado hubo una tendencia a reducir el número de genotipos de tomate redondo plantados: en el 2008 el híbrido Elpidia representó el 14% de los casos, en 2009 el 75%, en 2010 el 100% y en 2011 el 83% (Rolleri, 2015). La tendencia se revirtió parcialmente en 2014; en ese año Elpidia representó el 74% de los genotipos redondos plantados en los invernaderos muestreados. Por otra parte, aumentó la proporción de otros tipos de tomate (perita y cherri). En este trabajo, los híbridos del tipo cherri tuvieron una tendencia a presentar una incidencia menor de plantas con marchitamiento y cancro bacteriano que los tipos redondo y perita. Esto coincide con lo observado por Romero *et al.* (2003), quienes notaron que las plantas de tomate redondo inoculadas con Cmm fueron más susceptibles y murieron anticipadamente respecto a las de tomate cherri. Estos valores inferiores de incidencia en el tomate cherri también podrían deberse a cierta resistencia morfológica. Sen *et al.* (2015) describieron que *S. habrochaites* y tomates tipo cherri presentan haces vasculares de mayor tamaño, con sus paredes más gruesas y el crecimiento vascular es más rápido respecto a otros tipos comerciales. Estas características podrían jugar un papel en la resistencia a las enzimas producidas por el patógeno en la degradación de las paredes celulares, y por lo tanto las diferencias morfológicas entre especies silvestres resistentes de tomate y cultivares comerciales podrían estar involucradas en la resistencia bacteriana (Sen *et al.*, 2015). Sería importante verificar la menor susceptibilidad del tomate tipo cherri haciendo una evaluación con un mayor número de híbridos.

CONCLUSIONES

El marchitamiento y cancro bacteriano del tomate es una enfermedad prevalente en las principales localidades productoras del Cinturón Hortícola Platense, con una alta incidencia en los invernaderos donde se presenta, cuyo nivel varía según años.

El síntoma que se encuentra con mayor frecuencia en los invernaderos del CHP es de tipo sistémico: un marchitamiento generalizado ya sea en plantas verdes o cloróticas, que generalmente termina con la muerte. Con menor frecuencia también se presentan síntomas de tipos locales: manchas necróticas en hojas, ramas y frutos.

La observación de los síntomas en el campo no es suficiente para diagnosticar la enfermedad, es necesario recurrir a pruebas de laboratorio.

El período de descanso entre cultivos disminuye la incidencia de la enfermedad.

Los tomates de tipo redondo y perita que se cultivan en el CHP son todos susceptibles al cancro.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIPPI, A.M.; DAL BO, E.; RONCO, L.E.; LOPEZ, M.V.; AGUILAR, M. 2003. *Pseudomonas* populations causing pith necrosis of tomato and pepper in Argentina are highly diverse. *Plant Pathology* 52, 287-302.
- ALIPPI, A.M.; LOPEZ, M.V. 2010. First report of *Pseudomonas mediterranea* causing pith necrosis in Argentina. *Plant Pathology* 59, 1163.
- BIBI, A.; JUNAID, M.J.; AHMAD, M.; ALI SHAH, S.F.; KHALIL, I.H. 2019. Study of population dynamics of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in exposed and buried crop debris. *Novel Research in Microbiology Journal* 3 (1), 243-251.
- BLANCARD, D.; LATERROT, D.E.H.; MARCHOUX, G.; CANDRESSE, T. 2011. Enfermedades del Tomate: Identificar, conocer, controlar. Ed. Quae, Mundi-Prensa.

- CARLTON, W.M.; BRAUN, E.J.; GLEASON, M.L. 1998. Ingress of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* into tomato leaves through hydathodes. *Phytopathology* 88, 525-529.
- CHANG, R.J.; RIES, S.M.; PATAKY, J.K. 1992. Reductions in yield of processing tomatoes and incidence of bacterial canker. *Plant Disease* 76, 805-806.
- DE LEON, L.; LLOP, P.; LOPEZ, M.M.; SIVIERO, F. 2009. Comparative study of genetic diversity of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* isolates from the Canary Islands by RAPD-PCR, BOX-PCR y AFLP. *Plant Pathology* 58, 862-871.
- DI RIENZO J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDO C.W. 2009. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- EPP0 2013. Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes European and Mediterranean Plant Protection Organization. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Diagnostics PM* 7/42. *Bulletin OEPP/EPP0* 43, 46-67.
- FRANCIS, D.M.; KABELKA, E.; BELL, J.; FRANCHINO, B.; DINA, S.C. 2001. Resistance to bacterial canker in tomato (*Lycopersicon hirsutum* LA407) and its progeny derived from crosses to *L. esculentum*. *Plant Disease* 85,1171-1176.
- GARCIA, M. 2011. El Cinturón hortícola platense: Ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política. *Theomai* 23, 35-53.
- GARCIA, M.; STRASSERA, M.E.; LUNA, M.G.; POLACK, L.A.; MEZQUIRIZ, N. 2005. Monitoreo de plagas: Análisis técnico-económico en una producción de tomate bajo invernáculo del Cinturón Hortícola Platense. *Boletín Hortícola* 10 (31), 31-37.
- GLEASON, M.L.; GITAITIS, R.D.; RICKER, M.D. 1993. Recent progress in understanding and controlling bacterial canker of tomato in Eastern North America. *Plant Disease* 77, 1069-1076.
- GOOGLE MAPS. Google. (s.f) [Mapa del Cinturón Hortícola Platense en Google maps] (Disponible: https://earth.google.com/web/@-34.91548468,-57.97565847,47965.37084907a,0d,35y,0.0199h,0t,0r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419 verificado: marzo de 2015).
- HAUSBECK, M.K.; BELL, J.; MEDINA-MORA, C.; PODOLSKY, R.; FULLBRIGHT, D.W. 2000. Effect of Bactericides on population sizes and spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on tomatoes in the greenhouse and on disease development and crop yield in the field. *Phytopathology* 90, 38-44.
- JANSE, J.D. 2006. *Phytopathology, Principles and Practice*. Plant Protection Service-Wageningen-The Netherlands. CABI Publishing. 368 p.
- KABELKA, E.; FRANCHINO, B.; FRANCIS, D.M. 2002. Two loci from *Lycopersicon hirsutum* LA407 confer resistance to strains of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Phytopathology* 92, 504-510.
- KAWAGUCHI, A.; TANINA, K.; INOUE, K. 2010. Molecular typing and spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in greenhouses in Japan. *Plant Pathology* 59,76-83.
- KAWAGUCHI, A.; TANINA, K. 2014. Genetic groups of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* identified by DNA fingerprinting and the effects of inoculation methods on disease development. *European Journal of Plant Pathology* 140, 399-406.
- KLEITMAN, F.; BARASH, I.; BUERGER, A.; IRAKI, N.; FALASH, Y.; SESSA, G.; WEINTHAL, D.; CHALUPOWICS, L.; GARTEMAN, K.H.; EICHENLAUB, R.; SASSON, S. M. 2008. Characterization of a *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* population in Israel. *European Journal of Plant Pathology* 121, 463-475.
- MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; VAN DER BOSCH, F. 2007. *The Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press. 421 p.
- MARCH, J.G.; ODDINO, C.M.; MARINELLI, A.D. 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. Edición INTA-UNRC. 193 p.
- MARTINEZ-CASTRO, E.; JARQUIN-GALVEZ, R.; ALPUCHE-SOLIS, A.G.; VALLEJO-PEREZ, M.R.; COLLI-MULL, J.G.; LARA-AVILA, J.P. 2018. Bacterial wilt and canker of tomato: fundamentals of a complex biological system. *Euphytica* 214 (4), 72.
- NANDI, M.; MACDONALD, J.; LIU, P.; WESELOWSKI, B.; Yuan, Z.C. 2018. *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*: bacterial canker of tomato, molecular interactions and disease management. *Molecular Plant Pathology* 19 (8), 2036-2050.
- PASTRIK, K.H.; RAINEY, F.A. 1999. Identification and differentiation of *Clavibacter michiganensis* subspecies by polymerase chain reaction based techniques. *Journal of Phytopathology* 147, 687-693.
- POISSENIER, J.; RAT, B. 1993. Le chancre bactérien de la tomate. *Infos-Techniques*, Centre Technique Interprofessionnel des fruits et légumes (Ctifl) 96, 29-32.
- POYSA, V. 1993. Evaluation of tomato breeding lines resistant to bacterial canker. *Canadian Journal of Plant Pathology* 25, 301-314.
- ROLLERI, J. 2015. Cancro bacteriano del tomate: diagnóstico y prevención de su dispersión en el cultivo. M. Sc. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 77 p. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/57635>
- ROMERO, A.M.; CORREA, O.S.; MOCCIA, S.; RIVAS, J.G. 2003. Effect of *Azospirillum*-mediated plant growth promotion on the development of bacterial diseases on fresh-market and cherry tomato. *Journal of Applied Microbiology* 95, 832-838.
- SCHAAD, N.W.; JONES, J.B.; CHUN, W. 2001. *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- SEN, Y.; VAN DER WOLF, J.; VISSER, R.; VAN HEUSDEN, S. 2015. Bacterial canker of tomato: Current knowledge of detection, management, resistance and interactions. *Plant Pathology* 99, 4-13.
- STRASSERA, M.E. 2006. Características bioecológicas de *Bemisia tabaci* (Gennadius) y su peligrosidad como plaga en el cultivo de pimiento. *Boletín Hortícola* 11, 35-39.
- TANCOS, M.A.; CHALUPOWICS, L.; BARASH, I.; MANULIS-SASSON, S.; SMART, C.D. 2013. Tomato fruit and seed colonization by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* through external and internal routes. *Applied and Environmental Microbiology* 79, 6948-6957.
- VEGA, D.; ROMERO, A.M. 2016. Survival of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato debris under greenhouse conditions. *Plant Pathology* 65 (4), 545-550.
- WASSERMAN, E.; MONTECCHIA, M.S.; CORREA, O.S.; VEGA, D.; ROMERO, A.M. 2017. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* strains virulence and genetic diversity. a first study in Argentina. *European Journal of Plant Pathology* 149 (1), 35-42.

Suppression of *Lolium multiflorum* Lam. with *Vicia villosa* Roth combined with residual herbicides

Publicado online 06 de abril de 2022

Renzi, J.P.^{1,2}; Pérez Aagaard, C.²; Chantre, G.R.^{2,3}; Gigón, R.⁴; Reinoso, O.¹; Quintana, M.¹; Ducos, I.⁵; Cantamutto, M.A.^{1,2,3}

ABSTRACT

Lolium multiflorum Lam. (annual ryegrass) is a problematic weed species especially in no-tillage systems of the southern region of Buenos Aires province (Argentina). Increasing herbicide resistance cases have exacerbated the problem, requiring alternative control options based on an Integrated Weed Management approach (IWM). Field experiments were conducted in the south area of Buenos Aires province during 2017-2019 in order to evaluate both the suppressive effect of *Vicia villosa* (hairy vetch) over annual ryegrass when combined with residual herbicides, and the tolerance of the former to such herbicides. Annual ryegrass stand density and biomass at crop termination were reduced from 2 - 98% in response to combined hairy vetch plus herbicide treatments. Among the best chemical options, pyroxasulfone, acetochlor and S-metolachlor should be mentioned, reaching weed biomass control values of 97, 81 and 76%, respectively. Hairy vetch was partially affected by herbicides with a plant stand reduction $\leq 48\%$. No significant effect on biomass at crop termination was observed, except for diflufenican and trifluralin. The inclusion of hairy vetch as cover crop combined with residual herbicides could be a practical IWM practice for suppression of annual ryegrass populations resistant to ACCase, ALS and EPSPS inhibitors.

Keywords: cover crops, weed management, legumes, chemical control.

RESUMEN

Lolium multiflorum Lam. (raigrás anual) es una especie de maleza problemática, especialmente en los sistemas de labranza cero en el sur de Buenos Aires (Argentina). El aumento de los casos de resistencia a los herbicidas ha exacerbado el problema, requiriendo opciones de control alternativas basadas en un enfoque de manejo integrado de malezas (MIM). Los experimentos a campo se llevaron a cabo en el área sur de la provincia de Buenos Aires durante 2017-2019 con el fin de evaluar tanto el efecto supresor de *Vicia villosa* (vicia villosa) sobre raigrás cuando se combinan con herbicidas residuales y la tolerancia de la vicia villosa a tales herbicidas. La densidad de plantas y la biomasa al final del raigrás anual se redujeron del 2 al 98% en respuesta al cultivo de vicia villosa combinado con los tratamientos con herbicidas. Entre las mejores opciones químicas, se debe mencionar a pyroxasulfone, acetochlor y S-metolachlor, alcanzando valores de control de biomasa de raigrás del 97, 81 y 76%, respectivamente. La vicia villosa se vio parcialmente afectada por los herbicidas con una reducción del stand de implantación de $\leq 48\%$. No se observó ningún efecto significativo sobre la biomasa en el momento de terminación del cultivo, excepto con diflufenican y trifluralina. La inclusión de vicia villosa como cultivo de cobertura combinado con herbicidas residuales podría ser una práctica de MIM para la supresión de poblaciones de raigrás anual resistentes a los inhibidores de ACCase, ALS y EPSPS.

Palabras clave: cultivos de cobertura, manejo de malezas, leguminosas, control químico.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Hilario Ascasubi, ruta 3 km 794 (8142) Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: renzipugni.juan@inta.gob.ar

²Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Agronomía, San Andrés 800 (8000) Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

³Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS-CONICET), 8000 Bahía Blanca, Argentina.

⁴Private Advisor.

⁵Criadero El Cencerro, 7540 Coronel Suárez, Argentina.

INTRODUCTION

Lolium multiflorum Lam. (annual ryegrass) is one of the most conspicuous and invasive weed species in winter cereal crops worldwide. In Argentina, this weed affects more than 1.7 million ha of wheat fields producing yield losses of 20-30% at a density of 100 to 250 plants m⁻² (Scursioni *et al.*, 2012, 2014). In Argentinian wheat crops, annual ryegrass management is strongly dependent on pre and post-emergent herbicides, such as diclofop-methyl, clodinafop-propargyl, pinoxaden, iodosulfuron-mesosulfuron plus metsulfuron-methyl, pyroxulam plus cloquintocet-mexyl, flucarbazone sodium and flumioxazin (Gigón *et al.*, 2017). In addition, chemical-based management has become increasingly complex and expensive due to the occurrence of multiple resistance biotypes, mainly to EPSPS, acetyl-CoA carboxylase (ACCase) and/or acetolactate-synthase (ALS) inhibitors (Heap, 2019). In addition, herbicide 'escapes' or delayed emergence of annual ryegrass can easily replenish the soil seedbank due to its high fecundity (González-Andujar and Fernández-Quintanilla, 2004). Chiefly, as a result of the increment of resistance cases, Argentinian farmers are urgently seeking for alternative management options to reduce both economic losses and environmental externalities (Gigón *et al.*, 2017; Scursioni *et al.*, 2019).

From an Integrated Weed Management (IWM) perspective, cultural management practices can help to increase crop competitiveness (Cornelius and Bradley, 2017). In this context, the inclusion of cover crops (CC) is a viable alternative for weed suppression in agricultural rotations. Cover crops can potentially generate two distinct weed suppressive effects, by competition during their active growing period, and also due to allelopathic and/or mulching effects generated by vegetal residues that could inhibit or delay germination of many weed species in the field (Pittman *et al.*, 2019).

Hairy vetch (HV; *Vicia villosa* Roth) is an annual legume, very well adapted to temperate areas of Argentina (Renzi *et al.*, 2019). The inclusion of HV within cereal crops rotations could benefit soil fertility due to its nitrogen fixation capacity. In addition, HV has been proposed as a 'good CC candidate' for weed suppression in semiarid environments (Renzi and Cantamutto, 2013; Akbari *et al.*, 2019). A negative aspect for the use of HV as CC is its low initial growth rate (Holderbaum *et al.*, 1990) which might derive into an incomplete suppression of highly invasive weeds, such as annual ryegrass. Thus, the use of HV could be improved if combined with the application of residual herbicides during autumn before wheat sowing. So far, no studies have been conducted to evaluate neither the suppressive effect of HV nor its tolerance to commonly used residual herbicides for annual ryegrass control in the southern region of Buenos Aires province (SBA). Therefore, the objectives of this study were to evaluate: (i) annual ryegrass suppression by HV combined with autumn-applied residual herbicides, and (ii) the tolerance of HV to such herbicides.

MATERIALS AND METHODS

Study sites

Field experiments were conducted on cereal crop fields of the SBA from 2017 till 2019. The experiments were performed at Coronel Dorrego (-38.832°S, -61.267°W) during 2017, Coronel Suárez (-37.444°S, -61.811°W) in 2018 and at Coronel Suárez, Coronel Pringles (-38.074°S, -61.158°W) and Claromecó (-38.803°S, -60.164°W) during 2019.

The soils at the experimental area are Typic argiudolls. Soils samples (0-20 cm) were taken in each experimental field and subjected to typical soil routine analysis. For C. Dorrego, the soil was a sandy loam, slightly alkaline (pH = 7.5), low organic matter (2.0%) and high in phosphorus (P) content (17.2 ppm P Bray & Kurtz). For C., the soil was a silty clay loam, neutral (pH = 6.8), medium OM (4.0 %), and high in phosphorus (P) content (18.0 ppm). For C. Pringles, the soil was a silty clay loam, neutral (pH = 7.2), medium OM (3.0 %), and high in phosphorus (P) content (19.0 ppm). For Claromecó, the soil was a sandy clay loam, neutral (pH = 6.4), medium OM (3.8 %), and high in phosphorus (P) content (26.2 ppm).

Experimental design

Hairy vetch cultivar 'Patagonia INTA' was sown at 25 kg pure live seed ha⁻¹ in rows 17.5-cm apart at a seeding depth of 20-30 mm under no tillage system. Such a sowing rate is the typical density used by farmers. HV sowing was performed during autumn at all experimental fields, on June 7th, 2017 (C. Dorrego), March 3rd, 2018 (C. Suárez) and March 25th, 27th and 29th 2019 in C. Suárez, C. Pringles and Claromecó, respectively. Seeds were inoculated with the appropriate (commercially available) rhizobium group in a peat-based inoculum (*Rhizobium leguminosarum* bv *viciae*). Herbicides were applied one week before crop sowing in all pre-sowing cases.

The specificity of each experiment is provided below:

Experiment 1. A factorial design including twelve residual herbicides applied on HV pre-sowing (May 30th, 2017) (table 1) under high and medium annual ryegrass infestations (867 and 373 plants m⁻²) was evaluated in C. Dorrego.

Experiment 2. A factorial design including seven residual herbicides applied at HV pre-sowing or pre-emergence (February 26th and March 3rd, 2018 respectively) (table 1) under a low annual ryegrass infestation level (66 plants m⁻²) were studied in C. Suárez.

Experiment 3. A completely randomized design (n=3) was implemented to study the tolerance of HV to the three most promising pre-emergent herbicides selected from EXP 1 and 2 (table 1). This experiment was performed during 2019 at three localities (C. Suárez, C. Pringles and Claromecó).

Experiments 1 and 2 were designed following a randomized complete block design with a split-plot arrangement (EXP 1: herbicides x *L. multiflorum* densities; EXP 2: herbicides x application timing). Main plots were herbicide treatments. Subplots were annual ryegrass densities and application timing in EXP 1 and 2 respectively. EXP 1 and 2 were carried out in 4 × 20 m plots, and EXP 3 in 3 × 5 m. Eleven herbicides were evaluated in EXP 1, seven in EXP 2, and three in EXP 3 (table 1) plus the untreated control (without herbicide). In addition, in EXP 1 a treatment without HV nor herbicide was included under a high level of weed infestation.

Herbicides were applied using self-propelled sprayers equipped with XR 8002 flat-fan nozzle tips (140 L ha⁻¹ at 117 KPa and 6 km h⁻¹). HV was terminated with a rolled crimper previous to corn sowing in mid-November (EXP 1) and with glyphosate+2.4-D amine previous to sunflower seeding in mid-September (EXP 2).

Data collection

In Experiments 1-2, the stand of both HV and annual ryegrass established plants were assessed 4-5 weeks after sow-

Herbicide	Trade name	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	EXP	Application Time
Acetochlor	Trophy	90%, EC	900	1,2,3	PRES/PREE
Diflufenican	Brodal 50 SC	50%, SC	75	2	PRES/PREE
Flumioxazin	Sumisoya Flo	48%, SC	48	1,2	PRES/PREE
Imazamox	Sweeper 70DG	70%, WG	56	1	PRES
Imazapyr + Imazethapyr	Lightning	52,5% + 17,5%, WG	52	1	PRES
Imazethapyr	Pivot	10%, SL	100	1	PRES
Linuron	Linuron 50	50%, SC	500	1	PRES
Metribuzin	Sencorex 48	48%, SC	240	1	PRES
Oxyfluorfen	Koltar EC	24%, EC	192	1	PRES
Pendimethalin	Armadox 33E	33%, EC	660	1	PRES
Pyroxasulfone	Yamato	85%, WG	85	2,3	PRES/PREE
Pyroxasulfone + Flumioxazin	Yamato + Sumisoya Flo		48 + 85	2	PRES/PREE
S-metolachlor	Dual gold	96%, EC	960	1,2,3	PRES/PREE
Sulfentrazone	Authority	50%, SC	200	1	PRES
Trifluralin	Premerge	60%, EC	1080	2	PRES/PREE

Table 1. List of pre-sowing and pre-emergent herbicides used in the different experiments PRES: pre-sowing and PREE: pre-emergent.

ing (WAS) using 0.5 m² quadrats randomly distributed in each plot (n=4). HV and annual ryegrass biomass at crop termination were assessed at random using 0.16 m² quadrats (n=3). In Experiment 3, HV stand and biomass were evaluated after five and thirteen weeks after herbicide application (WHA). Samples were oven-dried at 65°C for 72 h. Percent stand and biomass reduction values were calculated by dividing the differences between treated and untreated plots by the untreated plot values.

The *L. multiflorum* seedling densities and biomass were plotted as a function of *L. multiflorum* and HV biomass, respectively. A regression analysis was performed using GraphPad Prism Software version 6.0 (GraphPad, San Diego, California, USA).

Weather data from each experiment were recorded with a meteorological station located < 1 km. Monthly rainfall totals and average monthly temperature for each year are presented in table 2.

Statistical analysis

The analyses of variance (ANOVA) were performed using InStat software (Di Rienzo *et al.*, 2013). For analyses, the percent stand and biomass reduction were arcsine-square root transformed, and the untransformed data are presented in the tables for clarity. Regression analysis was performed to determine the significance of the relationship between *L. multiflorum* density and biomass, and between annual ryegrass and HV biomass. Goodness of fit values was performed using the normalized root mean square error (NRMSE) (Araya *et al.*, 2017).

RESULTS

As observed in table 2, registered rainfall in 2017 was higher than the average historical value (+11%). The high amount of precipitation registered during late summer and autumn did not allow for HV early sowing, thus the growing period was shortened to winter-spring seasons in EXP 1. During 2018-2019, rain-

fall values were lower than historic records; however, no detrimental effects on HV establishment were observed (EXP 2-3).

Evaluation of annual ryegrass and HV stand densities

For untreated controls, annual ryegrass densities were more than 5-fold greater in EXP 1 (867 and 373 plants m⁻² for high and medium infestation respectively) compared to EXP 2 (66 plants m⁻²) (P<0.05) (figure 1). HV densities of untreated controls were 61, 83 and 52 plants m⁻² in EXP 1, EXP 2 and EXP 3, respectively.

As observed in table 3, during 2017 (EXP 1) no significant interactions were observed between weed infestation level and herbicides treatments for both annual ryegrass (P = 0.92) and HV stand densities (P = 0.85). Among the evaluated herbicides, oxyfluorfen and acetochlor reduced ryegrass stand compared to the untreated control (table 3). The former also reduced the HV stand (P<0.01) not affecting its biomass (P>0.05). Neither acetochlor, imazamox, imazethapyr, imazapyr+imazethapyr, S-metolachlor, metribuzin nor pendimethalin affected HV stand (table 3).

The interaction between herbicide treatment and application timing was highly significant for HV stand (EXP 2, table 4). Annual ryegrass density was reduced by > 95% compared to the untreated control except for the case of diflufenican. Stand reductions of HV were < 25% (compared to the untreated control) using acetochlor, diflufenican, pyroxasulfone+flumioxazin or trifluralin (in pre-sowing) or pyroxasulfone, acetochlor and S-metolachlor (in pre-emergence) (table 4 and figure 2). However, both acetochlor and trifluralin applied in pre-emergence increased the damage over HV compared to pre-sowing applications (table 4).

Evaluation of annual ryegrass and HV biomass at crop termination

Annual ryegrass biomass increased with plant density. A polynomial model was adjusted to describe weed biomass related

Monthly	Rainfall (mm)					Temperature (°C)				
	EXP 1		EXP 2		EXP 3	EXP 1		EXP 2		EXP 3
	C. Dorrego	C. Suarez	C. Suarez	C. Pringles	Claromeco	C. Dorrego	C. Suarez	C. Suarez	C. Pringles	Claromeco
January	24	52	88	4	139	26.4	22.3	21.4	23.1	21.4
February	120	28	69	0	82	20.6	22.1	20.3	21.8	20.5
March	140	42	90	74	58	19.3	17.9	17.0	17.9	17.6
April	129	73	16	25	26	14.7	16.2	15.8	15.9	16.0
May	62	56	48	37	47	11	9.3	10.5	10.8	11.9
June	52	0	44	32	13	7.9	6.7	8.0	8.7	10.7
July	15	33	0	1	57	7.5	6.1	6.5	6.4	7.7
August	47	16	1	3	44	8.6	7.6	7.9	8.6	9.2
September	101	112	8	21	38	10.4	11.6	11.2	11.5	10.7
October	30	47	40	53	86	15.5	13.0	13.7	14.6	12.7
HV Growing season	720	459	404	250	451	14.2	13.3	13.2	13.9	13.8
30 yr avg	527	652	652	585	623	13.2	11.8	11.8	12.3	13.6

Table 2. Accumulated monthly rainfall (mm), average monthly temperatures (°C) and sum/average of precipitation/temperature during the hairy vetch (HV) growing season (Jan-to-Oct) compared to the historic average values.

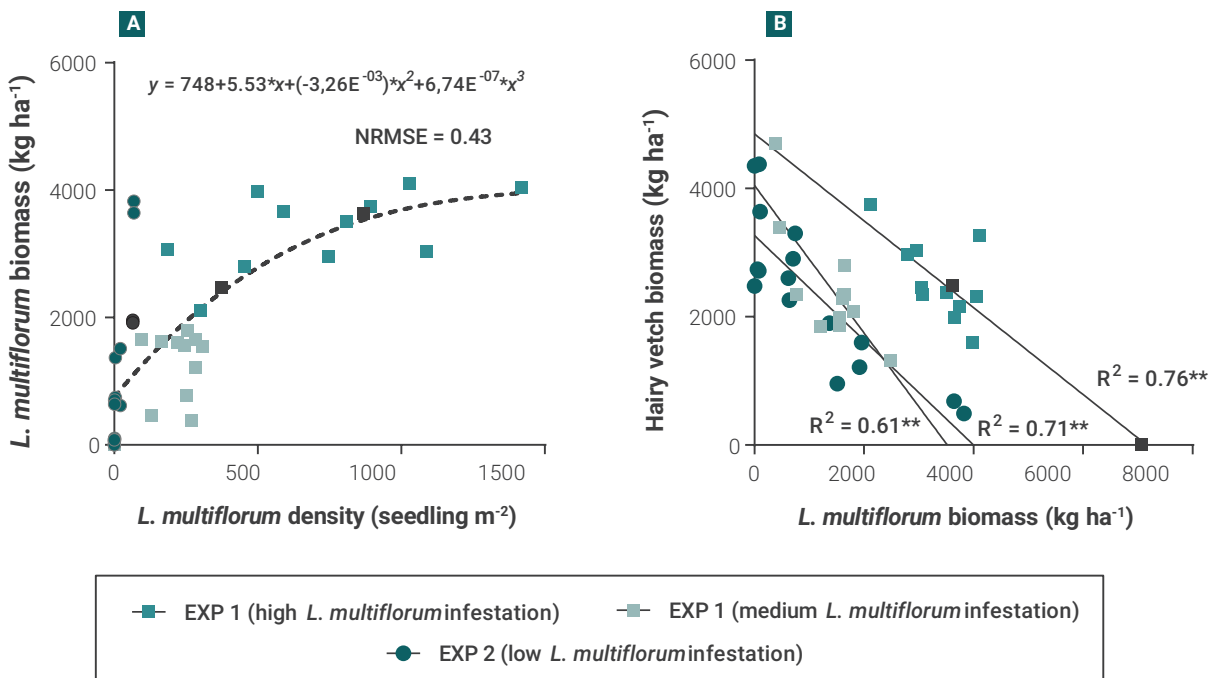


Figure 1. *Lolium multiflorum* biomass (kg ha⁻¹) as a function of seedling density evaluated at hairy vetch (HV) termination (a), and HV biomass related to *L. multiflorum* biomass (b). Black indicates the untreated controls.

to seedling density (figure 1a). Annual ryegrass biomass was significantly influenced by herbicides and it was negatively correlated to HV biomass (figure 1b). Under a high ryegrass infestation, HV reduced the weed biomass by half (7060 vs 3627 kg ha⁻¹; P<0.01) without the application of herbicides. HV biomass at medium and high ryegrass infestation levels were not affected by herbicides' treatments (P = 0.62, 2503 kg ha⁻¹).

Among the evaluated herbicides, acetochlor significantly reduced ryegrass biomass compared to the control (table 3, 4). For the rest of the cases, the reduction was on average

< 50% in 2017 (EXP 1) but higher than 65% in 2018 (EXP 2). Acetochlor, S-metolachlor, pyroxasulfone and flumioxazin plus pyroxasulfone reduced annual ryegrass biomass > 85%, in both application timing, compared to the untreated control (table 4). The herbicides were more effective at a low-medium ryegrass infestation compared to the highest infestation level (table 3, 4). No significant differences in HV biomass among herbicide treatments, except for pre-sowing and pre-emergent applications of diflufenican or trifluralin in pre-emergence (table 3, 4; figure 2).

Herbicide	annual ryegrass		hairy vetch	
	Stand	Biomass	Stand	Biomass
	% Reduction [†]			
Acetochlor	65**	62**	5 ^{ns}	0 ^{ns}
Flumioxazin	44*	21 ^{ns}	47**	8 ^{ns}
Imazamox	20 ^{ns}	45*	11 ^{ns}	6 ^{ns}
Imazethapyr	26 ^{ns}	28*	14 ^{ns}	7 ^{ns}
Imazapyr + Imazethapyr	30 ^{ns}	16 ^{ns}	10 ^{ns}	5 ^{ns}
Linuron	33*	29*	22*	6 ^{ns}
S-metolachlor	32*	39*	3 ^{ns}	3 ^{ns}
Metribuzin	33*	21 ^{ns}	6 ^{ns}	1 ^{ns}
Oxyfluorfen	76**	26*	44**	7 ^{ns}
Pendimethalin	44*	30*	4 ^{ns}	6 ^{ns}
Sulfentrazone	42*	26*	21*	16 ^{ns}
Herbicide x ryegrass infestation	ns	ns	ns	ns
High ryegrass infestation	30	14	10	6
Medium ryegrass infestation	43	48	21	6
LSD (0.05)	*	**	**	ns

Table 3. Percent reduction of hairy vetch (HV) and annual ryegrass stand densities (seedling m⁻²) and biomass at crop termination as a result of residual herbicide treatments applied at pre-sowing of HV (EXP 1, 2017). Epigraph: '**' indicates significance at p<0.01, '*' at p<0.05 and 'ns' not significant difference (p > 0.05). † Relative to untreated control.

Herbicide	Application timing	annual ryegrass		hairy vetch	
		Stand	Biomass	Stand	Biomass
		% Reduction [†]			
Acetochlor	pre-sowing	96**	95**	23*	0 ^{ns}
Diflufenican		8 ^{ns}	3 ^{ns}	16 ^{ns}	68**
Flumioxazin		94**	65**	32*	0 ^{ns}
Pyroxasulfone		98**	97**	33*	0 ^{ns}
Pyroxasulfone + Flumioxazin		98**	98**	20*	0 ^{ns}
S-metolachlor		98**	96**	35**	0 ^{ns}
Trifluralin		68**	68**	16 ^{ns}	0 ^{ns}
Acetochlor	pre-emergence	97**	85**	35*	0 ^{ns}
Diflufenican		3 ^{ns}	2 ^{ns}	40**	61**
Flumioxazin		96**	53**	48**	10 ^{ns}
Pyroxasulfone		98**	97**	12 ^{ns}	0 ^{ns}
Pyroxasulfone + Flumioxazin		96**	96**	39*	0 ^{ns}
S-metolachlor		97**	93**	33*	0 ^{ns}
Trifluralin		82**	32*	40**	47**
Herbicide x Application timing		ns	*	**	*
pre-sowing		80	75	28	10
pre-emergence		81	65	35	17
LSD (0.05)		ns	**	ns	ns

Table 4. Percent reduction of hairy vetch (HV) and annual ryegrass stand densities (seedling m⁻²) and biomass at crop termination as a result of residual herbicide treatments applied at pre-sowing or pre-emergence of HV (EXP 2, 2018). Epigraph: '**' indicates significance at p<0.01, '*' at p<0.05 and 'ns' not significant difference (p>0.05). † Relative to untreated control.

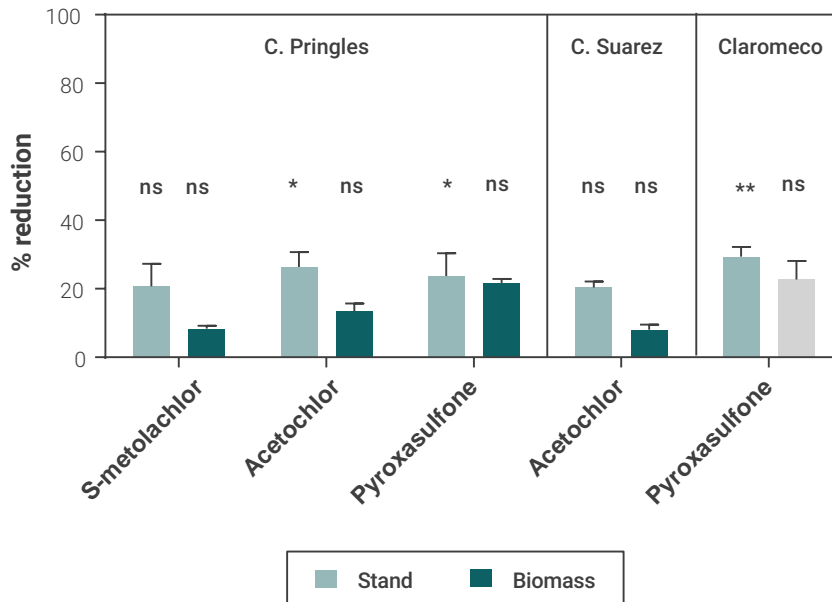


Figure 2. Influence of residual herbicide on hairy vetch (HV) stands densities (seedling m⁻²) 3 to 4 weeks after sowing and biomass reduction at 90 days after application (mean±SE) in EXP 3. ‘**’ indicates significance at p<0.01, at p<0.05, and ‘ns’ not significant difference (p>0.05) compared to the untreated control.

DISCUSSION

For the environmental conditions of the SBA, annual ryegrass densities at high, medium or even low infestation levels can reduce wheat yield in more than 60, 30 and 10% respectively (Gigón *et al.*, 2017).

Pre-sowing and pre-emergent herbicides applied under adequate soil conditions and with low level of residues (\approx 30% cover) were capable of reducing annual ryegrass stand by 65-76% (acetochlor and oxifluorfen) in 2017, and more than 95% (acetochlor, S-metolachlor, flumioxazin, pyroxasulfone and pyroxasulfone plus flumioxazin) compared to the control in 2018 (table 4).

Our findings agree with Boutsalis *et al.* (2014), Cornelius and Bradley (2017), and Khalil *et al.* (2019) who reported that pyroxasulfone provided substantial control on annual ryegrass. Tharp and Kell (2000) observed reductions of 94% on annual ryegrass stands with S-metolachlor applications. Observed differences between suppression levels with acetochlor and S-metolachlor in 2017 and 2018 were possibly due to contrasting infestation levels. As indicated by Boutsali *et al.* (2014), a lower annual ryegrass density resulted in better overall control with pyroxasulfone applied at pre-sowing and pre-emergence in south-eastern Australia wheat fields.

No significant differences in the HV biomass between medium and high *L. multiflorum* infestation levels ($P = 0.62$, 2503 ± 1020 kg ha⁻¹) could be explained by the principle of ‘facilitation’ (Vandermeer, 1989). The presence of tendrils allows HV to climb over ryegrass plants thus improving competition for light (Aarssen *et al.*, 1986). Highly competitive species and/or cultivars generally have better ability to access resources such as light, soil moisture and nutrients, thus suppressing the growth of weed species (Latif *et al.*, 2019; Akbari *et al.*, 2019).

HV was less sensitive to the evaluated herbicides than annual ryegrass. Cornelius and Bradley (2018) showed that HV proved to be one of the CC species least affected by herbicide carryover applied in soybean (e.i. S-metolachlor, acetochlor, pyroxasulfone, flumioxazin, sulfentrazone, and imazethapyr). As observed in our work, only diflufenican (at pre-sowing and pre-emergence) and trifluralin (at pre-emergence) reduced HV biomass. However, no phytotoxic effects on HV were mentioned with diflufenican in post-emergence (Renzi and Cantamutto, 2013) and trifluralin in pre-sowing (Graham, 2006). Despite some herbicides reducing the HV stand, no biomass reduction was observed at crop termination compared to the untreated control (table 3, 4; figure 2). This response may have occurred due to the compensatory growth of HV and also to some extent by the sowing density typically used by farmers in the SBA. This sowing rate almost doubles the minimal seedling densities recommended by previous study conducted by Renzi *et al.* (2017). Therefore, further studies should be performed to evaluate the sowing density effect on HV compensatory behaviour.

HV as cover crop plus residual herbicides provided acceptable suppression of annual ryegrass. Thus, it could be a valid alternative for cereals and summer crops rotations of the SBA. Our results point out an opportunity for growers and farmers to select HV as cover crop based on additional ecosystem benefits, mainly nitrogen fixation (Renzi *et al.*, 2019). A weed-suppressive cover crop can limit weed seed rain, reducing population growth and ultimately weed pressure in future cash crop (Baraibar *et al.*, 2018). Annual ryegrass seedbank viability is no more than two years (Narwal *et al.*, 2008), so CC+residual herbicides could be a highly effective management strategy to reduce the presence of dense ryegrass infestations in the short-term.

CONCLUSIONS

Among the evaluated alternatives, acetochlor, S-metolachlor and pyroxasulfone showed the best performance without significant HV biomass reductions. Despite the remaining chemical options provided partial controls (30-40%) of annual ryegrass, as well as, affecting the HV stand they should not be discarded as they may allow the selection of wide spectrum of herbicides with different modes of actions (MOAs) mainly when a typical high sowing density is adopted by farmers. Alternative MOAs combinations with HV could also be used for managing 'difficult to control weeds' that are actually emerging in the southern region of Buenos Aires province.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work reported in this manuscript was supported by the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (PE-E4-I086; PE-E6-I142), Criadero el Cencerro (TT 25092), Albertina S.A, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, MINCYT (PICT-2016-1575) and Universidad Nacional del Sur (PGI 24/A225). Appreciation is extended to Julián Castillo and Agustín Gurruchaga for assistance in establishing the field experiments.

CONFLICTS OF INTEREST

None.

REFERENCES

- AARSSSEN, 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. Can. J. Plant Sci. 66, 711-737.
- AKBARI, P.; HERBERT, S.T.; HASHEMI, M.; BARKER, A.V.; ZANDVAKILI, O.R.; 2019. Role of Cover Crops and Planting Dates for Improved Weed Suppression and Nitrogen Recovery in No till Systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis, doi: 10.1080/00103624.2019.1631338
- 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. Agric. Syst. 150, 86-98.
- BARAIBAR, B.; HUNTER, M.C.; SCHIPANSKI, M.E.; HAMILTON, A.; MORTENSEN, D.A. 2018. Weed Suppression in Cover Crop Monocultures and Mixtures. Weed Technol. 66, 121-133.
- BOUTSALIS, P.; GILL, G.S.; PRESTON, C. 2014. Control of Rigid Ryegrass in Australian Wheat Production with Pyroxasulfone. Weed Technol. 28, 332-339.
- CORNELIUS, C.D.; BRADLEY, K.W. 2017. Influence of Various Cover Crop Species on Winter and Summer Annual Weed Emergence in Soybean. Weed Technol. 31, 503-513.
- CORNELIUS, C.D.; BRADLEY, K.W. 2018. Carryover of Common Corn and Soybean Herbicides to Various Cover Crop Species. Weed Technol. 31, 21-31.
- DI RIENZO, J.A. CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2013. InfoStat version 2013 Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Available at: <http://www.info-stat.com.ar> verified: September 2020).
- GIGÓN, R.; VIGNA, M.; YANNICCARI, M. 2017. Manejo de malezas problema Raigrás (*Lolium* spp.) Bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM – AAPRESID. 15 p.
- GONZÁLEZ-ANDUJAR, J.L.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C., 2004. Modeling the population dynamics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) under various weed management systems. Crop Protect. 23, 723-729.
- GRAHAM, C. 2006. Managing weeds in vetch rotation crops. A guide to integrated weed management in cotton. WeedPak 13, 1-6.
- HEAP, I.M. 2019. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. (Available at: <http://www.weedscience.org> verified: July 2019).
- HOLDERBAUM, J.F.; DECKER, A.M.; MEISINGER, J.J.; MULFORD, F.R.; VOUGH, L.R. 1990. Fall-Seeded Legume Cover Crops for No-Tillage Corn in the Humid East. Agron. J. 82, 117-124.
- KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. 2019. Pyroxasulfone efficacy for annual ryegrass control is affected by wheat residue height, amount, and orientation. Pest Manag. Sci. doi: 10.1002/ps.5590
- NARWAL, S.; SINDEL, B.M.; JESSOP, R.S. 2008. Dormancy and longevity of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) as affected by soil type, depth, rainfall, and duration of burial. Plant Soil 310, 225-234.
- LATIF, S.; GURUSINGHE, S.; WESTON, P.A.; BROWN, W.B.; QUINN, J.C.; PILTZ, J.W.; WESTON, L.A. 2019. Performance and weed-suppressive potential of selected pasture legumes against annual weeds in south-eastern Australia. Crop Pasture Sci. 70, 147-158.
- PITTMAN, K.B.; BARNEY, J.N.; FLESSNER, M.L. 2019. Horseweed (*Conyza canadensis*) Suppression from Cover Crop Mixtures and Fall-Applied Residual Herbicides. Weed Technol. doi: 10.1017/wet.2018.111
- 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. 299 p.
- 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 Forage Sci. 72, 535-544.
- RENZI, J.P.; CHANTRE, G.R.; GONZÁLEZ-ANDUJAR, 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 Res. 235, 79-86.
- SCURSONI, J.A.; DUARTE VERA, A.C.; OREJA, F.H.; KRUK, B.C.; DE LA FUENTE, E.B. 2019. Weed management practices in Argentina crops. Weed Technol. 33, 459-463.
- SCURSONI, J.A.; GIGÓN, R.; MARTÍN, A.N.; VIGNA, M.; LEGUIZAMÓN, E.S.; ISTILART, C.; LÓPEZ, R. 2014. Changes in Weed Communities of Spring Wheat Crops of Buenos Aires Province of Argentina. Weed Sci. 62, 51-62.
- SCURSONI, J.A.; PALMANO, M.; DE NOTTA, A.; DELFINO, D. 2012. Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) density and N fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. Crop Prot. 32, 36-40.
- THARP, B.E.; KELLS, J. 2000. Effect of Soil-Applied Herbicides on Establishment of Cover Crop Species. Weed Technol. 14, 596-601.
- VANDERMEER, J.H. 1989. The Ecology of Intercropping, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Feed sorting behavior and performance of Argentinian Creole, Braford and crossbred steers during the growing and fattening phases

Publicado online 06 de abril de 2022

Della Rosa, M.M.¹; Corva, P.M.²; Royo, V.¹; Zimmerman, M.¹; Bottegal, D.¹; Nasca, J.A.¹

ABSTRACT

Local Latin American cattle breeds are considered highly adapted to grazing systems in harsh environments, but their potential in more intensified beef production systems, particularly when compared to imported breeds, is still a matter of debate. Argentinian Creole (CRA), Braford (BRA) and Creole x Braford (CXB) steers were evaluated in the growing (Experiment 1) and fattening phases (Experiment 2). In Experiment 1, 12 animals from each genetic group were allocated after weaning to four pens and fed a total mixed ration for 57 days. In Experiment 2, six 17-month old steers of each genetic group were allocated each to a single pen and fed a high concentrate diet for 55 days. Several traits associated with animal performance, feed intake and feed sorting were recorded. Experiment 1: CRA had lower daily weight gain than the other two groups ($P < 0.01$) and also lower feed conversion ratio than BRA ($P < 0.01$). BRA tended to sort against long particles (> 19 mm, $BRA < CXB$, $P = 0.03$) preferring short particles (4 - 8 mm, $BRA > CRA = CXB$, $P = 0.06$). Experiment 2: CRA had lower initial body weight ($P < 0.01$) and the difference with BRA was maintained at the end of the experiment ($P < 0.01$). CRA had lower initial and final back fat thickness ($P < 0.01$) but initial and final rib eye area did not differ among groups. Feed sorting was similar among groups ($P \geq 0.21$). Considered overall, CRA steers performed poorly compared to BRA and CXB under unrestricted feeding in both experiments.

Keywords: Beef cattle, native breeds, crossbreeding, nutrition, growth, feed intake.

RESUMEN

Las razas autóctonas latinoamericanas se consideran muy adaptadas a sistemas pastoriles en ambientes adversos. Sin embargo, su real potencial de producción en sistemas más intensificados y en particular en comparación con razas exóticas introducidas es todavía tema de debate. Se evaluó el desempeño de los novillos Criollo Argentino (CRA), Braford (BRA) y Criollo x Braford (CXB) en las etapas de crecimiento y engorde intensivo (Experimento 1 y Experimento 2, respectivamente). En el Experimento 1, 12 animales de cada grupo genético se asignaron a cuatro corrales y se alimentaron con una ración totalmente mezclada durante 57 días. En el Experimento 2, seis novillos de 17 meses de edad de cada grupo genético se alojaron en corrales individuales y se alimentaron con una dieta concentrada durante 55 días. Se evaluó el comportamiento productivo y la selección de dieta. Experimento 1: CRA tuvo una ganancia diaria de peso más baja que los otros dos grupos ($P < 0.01$) y su conversión (kg/kg) fue menor que BRA ($P < 0.01$). Se observaron diferencias para seleccionar partículas largas (> 19 mm, $BRA < CXB$, $P = 0.03$) y una tendencia para seleccionar partículas cortas (4-8 mm, $BRA > CRA$ y CXB , $P = 0.06$). Experimento 2: el peso vivo inicial de CRA fue más bajo que en BRA y CXB ($P < 0.01$) y la diferencia con BRA también fue significativa al final del experimento

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido, Chañar Pozo s/n, (4111) Leales, Argentina. Correo electrónico: nasca.jose@inta.gov.ar

²Universidad Nacional de Mar del Plata (UNdMP), Facultad de Ciencias Agrarias, Ruta Nac. 226 km 73.5, (7620) Balcarce, Argentina.

($P < 0.01$). CRA tuvo menor espesor de grasa dorsal ($P < 0.01$). El área inicial y final del ojo de bife fue similar entre grupos en ambos experimentos. La clasificación de las partículas en alimento fue similar entre grupos ($P \geq 0.21$). Todos los resultados sugieren que CRA tuvo un desempeño productivo inferior a BRA y CXB en ambos experimentos.

Palabras clave: bovinos para carne, razas autóctonas, cruzamientos, crecimiento, alimentación, consumo.

INTRODUCTION

The advantage of imported versus locally adapted breeds for beef production in harsh environments has been a matter of debate for a long time, and it is still a controversial issue in Latin American countries. Among the breeds that have become popular among farmers from semi-arid regions in Argentina, the Argentinian Creole is the only recognized autochthonous breed, which originated from cattle brought to America by Spaniards in the XV century (Anderson *et al.*, 2015). One of the breeds that have been introduced to improve beef production in semi-arid regions is Braford (a composite 5/8 Hereford -3/8 Brahman). In the semi-arid regions from the Northwestern area of Argentina, crosses between these breeds are also produced when Creole sires are mated with 15-month old Braford heifers to avoid calving problems in heifers (Anderson *et al.*, 2015).

Together with the initiatives that aim for the conservation of genetic resources, there is also ongoing research to assess the potential contribution of local breeds to the improvement of

beef production. A recent study has shown that Argentinian Creole cows have a higher ability to modify their grazing patterns throughout the year, adjusting their exploration strategy in response to seasonal changes in forage availability and nutritional value (Herrera Conegliano, 2018). Also, the Creole would be able to harvest forage with higher digestibility and protein content than a British breed (Angus) when grazing natural grasslands, particularly with low forage availability (Miñón *et al.*, 1984 a; b).

Despite the potential advantages of the Creole in cow-calf operations under extensive production systems, studies conducted to characterize the productivity of grazing Creole steers showed that they had lower average daily weight gain and also produced lighter carcasses with less fat than British breeds and their crosses (Moralejo *et al.*, 2003; Orellana *et al.*, 2009). To the best of our knowledge, there are no experimental results evaluating Argentinian Creole steers in the post-weaning phase without restrictions in feed availability or in the fattening phase when fed a high-energy diet. Also, little is known about feed sorting strategies in Creole and their potential effects on beef productivity. Different adaptive strategies between Creole and Braford, which include feed sorting, could justify differences in productive performance in more intensified beef production systems. Therefore, the aim of this study was to evaluate feed intake, feed sorting behavior and productive performance of Creole, Braford and Creole x Braford steers fed high energy diets during the growing and fattening phases.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at the Animal Research Institute of the Semi-arid Chaco ("Instituto de Investigación Agropecuaria del Chaco Semiárido", Leales, Tucumán, Argentina; 27.2° S, 65.3° W). The animals were handled in accordance with regulations for animal welfare of the National Institute for Agricultural Technology (INTA).

Experiment 1. Growing phase

Twelve steers of the following genetic groups: Braford (BRA), Creole (CRA) and Creole x Braford (CXB) were used in this experiment. Dams and calves grazed on native grasslands and implanted *Chloris gayana* pastures. After weaning, the calves were kept on *Chloris gayana* pastures. At the beginning of the experiment (mean age = 9.4 ± 0.64 mo.) the steers were randomly allocated to semi-covered pens equipped with feeders and waterers (4 pens of 64 m² for each genetic group with three steers/pens). After an adaptation period of 15 d to the new environment and diet (table 1), the steers were evaluated for an experimental period of 57 d.

Experiment 2. Fattening phase

Six steers of each genetic group (BRA, CRA and CXB) were selected at random from a group of grazing steers supplied

Composition	Growing	Fattening
Dry matter (%)	49.8	57.5
Crude protein (% DM)	14.0	14.0
Metabolizable energy (Mcal kg DM ⁻¹)	2.4	2.8
Ingredient composition (% DM)		
Corn silage	63.8	28.8
Grounded corn grain	17.5	34.3
Whole corn grain	-	23.0
Soybean meal	17.5	-
Sunflower meal	-	12.2
Urea	-	0.5
Mineral supplement ^A	1.2	1.2
Particle size (% DM)		
Long (>19.0 mm)	6.1	2.5
Medium (8.0 ≤ x < 19.0 mm)	50.8	46.2
Short (4 ≤ x < 8.0 mm)	13.1	17.0
Fine (< 4.0 mm)	30.0	34.3

Table 1. Chemical composition and particle size (%) of diets offered to Creole, Braford and Creole x Braford steers during the growing and fattening phases.

DM: dry matter; ^A Composition of mineral supplement: vit A: 105000UI, vit D3: 2100UI; Vit E: 140 UI; calcium: 26%; chloride: 8%; sodium: 5.10%; iron: 2156 ppm; Zinc: 1,856 ppm; magnesium: 1,512 ppm; copper: 420 ppm; monensin: 1,400 ppm; iodine: 20.7 ppm; selenium: 9.24 ppm; cobalt: 4.7ppm.

mented with grounded maize grain and soybean meal (50/50, at 1.2% live weight) when they were approximately 17 months of age. The steers were randomly allocated to single pens and they had an adaptation period, as described for Experiment 1. A high energy diet (table 1) was offered *ad libitum* for 55 d. To facilitate the expression of different feed sorting strategies among genetic groups, a mixed ration composed by whole and grounded maize grain, sunflower meal and a mineral supplement was top-dressed on whole crop maize silage (i.e., ration was not mixed).

Dry matter intake, body weight and ultrasound measurements

In both experiments, feed was delivered once daily (07.30 - 08.30 AM) on an *ad libitum* basis. Offered and refused feed was recorded daily in order to estimate feed intake. Feedstuffs were dried at 60°C for 24 h.

In the last 15 days of each experiment, feed samples were collected every three days to analyze feed sorting. The amount of feed at 0 and 24 h post-delivery (offered and refused, respectively) was recorded and sampled in five different points of the feed bunk to ensure an accurate representation of the diet. Care was taken that each grab sample represented the top, middle, and bottom sections of the feed along the feed bunk. Concurrent with feed sampling, fecal samples from each steer were collected by grab sampling along the day. All samples were frozen at -20°C for subsequent analysis.

Live body weight (LW) was recorded every 21 days (08.30 - 09.30 AM) before feeding. Individual average daily gain (ADG) was estimated by linear regression. Feed conversion was estimated as the ratio between daily feed intake and ADG.

On days 0 and 57 of Experiment 1 and days 0 and 55 of Experiment 2, the steers were scanned with a Pie Medical Aquila ultrasound instrument (Esaote Vet, Maastricht, Netherlands) equipped with an 18-cm, 3.5MHz linear array transducer. The ultrasound rib eye area (ULMA) and subcutaneous back fat thickness (USFT) were measured on the *Longissimus thoracis* muscle between the 12th and 13th ribs.

Particle size analysis and sorting behavior

Feedstuffs collected at 0 and 24 h were thawed and particle size separation was performed with a three-screen separator to obtain four different fractions: a) long (> 19.0 mm), b) medium (8.0 ≤ x < 19.0 mm), c) short (4 ≤ x < 8.0 mm) and d) fine (< 4.0 mm; Heinrichs, 2013). After separation, dry matter (DM) of each fraction was determined by oven-drying at 60 °C for 48 h. Particle size distribution (%) was calculated on a DM basis by dividing the weight of each dried fraction by the total weight of the dried sample. After drying, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined for each food fraction offered in Experiment 2 in an Ankom 200 fiber extractor (Ankom Technologies, Fairport, NY, USA) according to Van Soest *et al.* (1991). Also, crude protein (CP) concentration was determined in samples with the combustion method in a Leco FP-2000 N analyzer (Leco Corp., St. Joseph, MI, USA).

Crude protein, NDF and ADF intake were calculated according to the actual intake of each fraction, as the difference between the amount of each fraction in the offered feed and that in the refused feed. Sorting behavior was calculated as the actual total dry matter intake (DMI) of each fraction size

expressed as a percentage of the predicted DMI, where predicted intake of each fraction was equal to the product of DMI and fraction in the offered diet, also expressed on a DM basis. The three possible outcomes are: < 100%, = 100% and > 100%, which indicate selective refusals, no sorting and preferential consumption, respectively (Leonardi and Armentano, 2003).

Particle size and corn kernels in faeces

The particle size in faeces was determined following the procedure of Leiber *et al.* (2015) with modifications. Briefly, a 100 g sub-sample of thawed faeces were sieved through three vertically arranged wire-mesh screens (diameter = 20 cm) with pore sizes of 4.0 mm, 2.0 mm and 1.0 mm, respectively. The material retained in each screen was oven dried, and the percentage of each was calculated. The fractions evaluated in faeces were a) long particles (LPF, >4 mm); b) medium particles (MPF, 2.0 mm ≤ x < 4.0 mm); c) short particles (SPF, 1.0 mm ≤ x < 2.0 mm), and d) fine particles (FPF, <1 mm). A second sub-sample of 50 g was dried at 60 °C for 48 h to determine dry matter of the original material.

In Experiment 2, a third sub-sample (250 g) was wet-sieved and grain particles retained on a 4.0-mm screen were collected. The corn grains retained in the screen were classified in two categories: whole kernels (no visible damage to the pericarp) and damaged kernels (pericarp damaged but kernel intact or kernel fractured into pieces; Beauchemin *et al.* 1994). Subsequently, the separated corn kernels were dried for 48 hours at 60°C. The percentages of both whole and damaged recovered grains were calculated considering the total dry matter in faeces.

Statistical analysis

All the data were analyzed in a completely randomized design including the genetic group as a fixed effect. The pen was the experimental unit, with n = 4 and n = 6 for growing and fattening phases, respectively. For individually recorded traits in Experiment 1, each steer in a pen was considered a sub-sample. Significant differences were found between diets by using α = 0.05; differences with 0.05 < α < 0.10 were considered suggestive. When ANOVA showed significant differences (P<0.05), Tukey multiple comparison tests were performed.

RESULTS

Experiment 1. Growing phase

Animal performance

No significant differences were detected in initial and final body weights (P = 0.51 and P = 0.15, respectively) among genetic groups in the growing phase (table 2). However, average daily gain was lower in CRA than in the other two groups (P<0.01). Total dry matter intake (kg DM d⁻¹; P<0.01) differed among the three genetic groups being the highest in CXB and the lowest in BRA. However, when feed intake was expressed as a percentage of live body weight, it was higher in CRA and CXB than in BRA (P<0.01). The feed conversion ratio was significantly higher (less efficient) in CRA when compared to BRA (P<0.01). Both initial and final rib eye area and initial fat thickness were not different between genetic groups. However, final fat thickness was higher in the crossbreds (CXB) than in CRA (P = 0.02), whereas BRA did not differ with the other two groups.

	CRA	BRA	CXB	SEM	P
Growing phase					
LW Initial (kg)	157	168	166	7.1	0.51
LW Final (kg)	215	238	238	2.4	0.15
ADG (kg d ⁻¹)	1.05 ^a	1.22 ^b	1.27 ^b	0.03	0.03
DMI (kg d ⁻¹)	5.86 ^b	5.49 ^a	6.30 ^c	0.09	< 0.01
DMI (%LW)	3.15 ^b	2.71 ^a	3.11 ^b	0.05	< 0.01
FC (kg kg ⁻¹)	5.59 ^b	4.51 ^a	4.98 ^{ab}	0.18	< 0.01
ULMA initial (cm ²)	27.1	27.9	25.8	1.6	0.63
ULMA Final (cm ²)	36.8	39.0	36.4	1.6	0.48
USFT Initial (mm)	2.4	2.4	2.4	0.1	0.99
USFT Final (mm)	3.4 ^a	4.0 ^{ab}	4.3 ^b	0.2	0.02
Fattening phase					
LW Initial (kg)	322 ^a	358 ^b	344 ^b	6.3	<0.01
LW Final (kg)	392 ^a	433 ^b	417 ^{ab}	8.44	0.01
ADG (kg d ⁻¹)	0.90	1.08	1.03	0.09	0.41
Intake (kg d ⁻¹)					
DMI	10.23 ^a	10.85 ^{ab}	11.20 ^b	0.25	0.04
CP	1.51	1.59	1.59	0.04	0.36
NDF	4.38	4.62	4.64	0.13	0.36
ADF	2.27	2.41	4.41	0.07	0.31
DMI (%LW)	2.86	2.74	2.95	0.07	0.12
FC (kg kg ⁻¹)	11.85	10.43	11.43	1.17	0.67
ULMA initial (cm ²)	51.06	51.74	46.92	2.37	0.32
ULMA Final (cm ²)	57.56 ^{ab}	62.82 ^b	54.29 ^a	2.60	0.09
USFT Initial (mm)	4.1 ^a	4.9 ^b	5.5 ^c	0.2	<0.01
USFT Final (mm)	4.5 ^a	7.8 ^b	7.5 ^b	0.6	<0.01

Table 2. Productive traits and feed intake of Creole (CRA), Braford (BRA) and Creole x Braford (CXB) steers during the growing and fattening phases.

LW: live weight; ADG: average daily gain; DMI: dry matter intake; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; CP: Crude Protein; FC: feed conversion; ULMA: ultrasound rib eye area; USFT: ultrasound subcutaneous fat thickness.

^{a,b,c} Values within a row with different superscripts differ significantly (P < 0.05). SEM: standard error of the mean.

Sorting behavior and particle size in faeces

Variability among groups in sorting behavior during the growing phase was detected through the differential intake of particles of different sizes. In the case of medium, short, and fine particles, the intake of the three genetic groups (kg d⁻¹) was CXB > CRA > BRA (P<0.01) (table 3). In the case of long particles, the only significant difference was that between CXB and BRA (P<0.01). The three genetic groups tended to sort against long particles (< 100%), and differences were statistically significant for CXB and BRA (P = 0.03); also a trend was observed in the preferential consumption of short particles (BRA > CRA and CXB; P = 0.06). Considered together, the results of the sorting behavior index (%) in this phase suggest that BRA

would have a comparatively higher intake of smaller particles than the other two groups.

The fecal excretion of LPF (% dry matter) in CRA was below the other two groups (P < 0.01) (table 4). For MPF, BRA had a lower value than either CRA or CXB (P = 0.06). When LPF and MPF are considered together, these fractions represent approximately 48.5%, 45.9% and 52.0% of DM in faeces of CRA, BRA and CBX, respectively. No effect of the genetic groups was detected for the other two size classes (SPF and FPF) (table 4).

Experiment 2. Fattening phase

Animal performance

The initial body weight of CRA steers in this phase was below CXB and BRA steers (P<0.01); and because there were no significant differences in ADG, final body weight showed similar variation (P = 0.01); BRA was heavier than CRA, and CXB was similar to the other two genetic groups (table 2). Dry matter intake of CRA was significantly lower only when compared to CXB (P = 0.04). No significant differences were detected for initial ULMA (P = 0.32). However, final ULMA tended to be higher in BRA (P = 0.09). Crossbred steers had the highest initial USFT compared to purebreds at the beginning of the experiment (P<0.01) but at the end of the fattening period BRA and CXB had similar USFT that was around 70% higher than in CRA (P<0.01).

Sorting behavior and particle size in faeces

In this phase, daily feed intake (kg d⁻¹) discriminated by particle size showed variation only in the case of long particles, with CXB above the other two groups (P < 0.01). However, no statistically significant differences in sorting behaviour were detected as statistically significant across the four particle size classes (table 3).

As for the proportion of particle sizes in faeces, only LPF tended to differ among genetic groups, with CRA above BRA (P = 0.09; table 4). Although the presence of both whole and damaged corn kernels tended to be lower in BRA than in the other two groups of steers, the differences did not reach statistical significance (table 4).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Braford breed and its crossbred with CRA showed better productive performance than CRA during the growing phase. The higher dry matter intake of CRA and CXB was not directly associated with higher ADG, particularly in the pure breed, resulting in CRA steers with a poorer feed conversion ratio than BRA. These findings were previously reported when Creole was compared with other British breeds such as Angus cattle raised in grazing systems (Moralejo *et al.*, 2003). Neither lean tissue accretion estimated by rib eye area measurement nor subcutaneous back fat thickness differed between BRA and CRA. Therefore, these are not a feasible explanation for animal productive performance in the growing phase. However, differences in the amount of fat stored in other body sites, e.g. omental fat, cannot be ruled out as a potential explanation for differences in feed conversion.

This study found creole steers began their fattening phase at a similar age to other breeds, but with lower body weight and less fat cover. These characteristics are more obvious when

	CRA	BRA	CXB	SEM	P
Growing phase					
Dry matter intake (kg) ^B					
Fractions ^A					
Long	0.31 ^{ab}	0.24 ^a	0.38 ^b	0.03	.01
Medium	3.47 ^b	3.23 ^a	3.67 ^c	0.05	<0.01
Short	0.92 ^b	0.86 ^a	0.96 ^c	0.01	0.01
Fine	2.18 ^b	2.00 ^a	2.23 ^c	0.01	<0.01
Sorting behavior (%) ^C					
Long	76.18 ^{ab}	64.54 ^a	89.66 ^b	5.76	0.03
Medium	99.32	100.35	99.76	0.49	0.36
Short	102.31 ^a	104.19 ^b	101.50 ^a	0.70	0.06
Fine	105.50	105.24	102.46	0.99	0.10
Fattening phase					
Dry matter intake (kg) ^B					
Long	0.35 ^a	0.30 ^a	0.44 ^b	0.01	0.01
Medium	4.48	5.24	5.15	0.20	0.34
Short	2.02	2.12	2.02	0.04	0.23
Fine	3.99	4.16	4.21	0.13	0.46
Sorting behavior (%) ^C					
Long	102.99	101.70	105.81	4.42	0.80
Medium	96.05	95.93	97.46	1.87	0.80
Short	103.78	105.56	105.56	1.31	0.21
Fine	102.95	102.63	102.63	2.14	0.90

Table 3. Feed sorting behavior of Creole, Braford and Creole x Braford (CXB) steers during the growing and fattening phases.

^A Long: >19.0 mm; Medium: 8.0 ≤ x < 19.0 mm; Short: 4 ≤ x < 8.0 mm; Fine: < 4.0 mm.

^B Dry matter intake measured during feed sample collection.

^C 100% = no sorting; < 100% = selective refusal; > 100% = preferential consumption.

^{ab} Values within a row with different superscripts differ significantly (P < 0.05). SEM: standard error of the mean

steers come from grazing systems (Moralejo *et al.*, 2003). In their fattening phase, the three genotypes had similar performance, unlike the results obtained in the growing phase when animals should have been more efficient due to the contribution to weight gain of lean tissue growth. The results in the fattening phase did not agree with those found under grazing conditions with supplementation, where Creole steers gained only ~300 g per day in the last 30 d of fattening (Moralejo *et al.*, 2003). The initial differences in body weight and fat thickness, generated during a short period on pastures before starting the fattening phase, were maintained until the end of the experiment, despite the three genetic groups having similar ADG and FC in the fattening phase. This indicates a high-concentrate diet would be essential to counterbalance the lower productivity of CRA, but it was not enough to obtain a carcass from Creole steers with the same fat cover at the same age as the other genetic groups.

When cattle were fed with a total mixed ration, BRA tended to select for shorter feed particles than CRA, which may lead to differences in nutrient intake or ruminal fermentation. The quality of feed particles of different sizes was not analyzed in

	CRA	BRA	CXB	SEM	P
Growing phase					
Dry matter (%)					
Fraction ^A					
LPF	6.79 ^a	11.70 ^b	13.50 ^b	0.86	< 0.01
MPF	41.87 ^b	34.21 ^a	38.46 ^b	1.92	0.06
SPF	1.76	1.34	1.49	0.46	0.46
FPF	49.57	52.75	47.00	1.89	0.15
Fattening phase					
Dry matter (%)					
LPF	26.33 ^b	19.41 ^a	23.92 ^{ab}	2.11	0.09
MPF	32.23	36.84	34.35	1.57	0.15
SPF	2.87	3.02	2.55	0.34	0.62
FPF	38.57	40.73	39.18	2.72	0.34
Corn kernels (% DM)					
Whole (%)	14.38	11.60	15.15	2.32	0.53
Damaged (%)	3.44	2.76	3.25	0.61	0.71

Table 4. Particle fractions and corn kernels detected in faeces of Creole (CRA), Braford (BRA) and Creole x Braford (CXB) steers during the growing and fattening phases.

^A LPF: Long, >4 mm; MPF: Medium, 2.0 mm ≤ x < 4.0 mm; SPF: Small, 1.0 mm ≤ x < 2.0 mm; FPF: Fine, <1 mm.

^{ab} Values within a row with different superscripts differ significantly (P < 0.05). SEM: standard error of the mean.

the growing phase, but small and fine fractions are supposed to have better quality than long and medium size fractions because they were composed mostly by grounded corn grain and soybean meal. Regardless of the nutritional value, particles < 8 mm length in feed have high relative surface area, which promotes rapid fermentation by ruminal bacteria (Leonardi *et al.*, 2005; Clauss and Hummel, 2017).

The genetic groups did not show any differences in sorting behavior in the fattening phase, which is consistent with similar CP, NDF and ADF intakes as well as ADG. A possible explanation is that the top dressing of concentrate on whole-plant maize silage forces the animal to eat concentrate first. However, when the animal reaches silage at the bottom of the feed bunk, it sorts for silage to balance its diet. In this study, the refused feed was sampled 24 h after delivery; therefore, the sorting behavior that took place during the first hours after feed delivery could have passed undetected. DeVries and Von Keyserlingk (2009) observed that when feed is delivered as a top-dressing, concentrate is preferentially consumed during the period right after feed delivery, while in the last hours before a new delivery, forage is preferred. Therefore, when a high amount of concentrate was offered on top of the ration, slight feed sorting differences observed in the growing phase between genetic groups could have gone unnoticed.

Faecal particle size is an indicator of both degradation and passage rate in the rumen (Rustas *et al.*, 2010) and is also related to DMI (Okine and Mathison, 1991). The proportion of particles of > 2.0 mm in cattle faeces increases linearly as DMI increases, while particles > 1 mm decreases (Okine and Mathis-

son,1991). CRA steers which showed the lower percentage of retained LPF (long particles) had an intermedium DMI during the growing phase, while both BRA and CXB had a similar proportion of LPF particles but differed in feed intake. Conversely, in the fattening phase, BRA showed a lower percentage of LPF in the fattening phase, but DMI was similar to the other two genotypes. The sum of fractions longer than 2 mm in faeces, i.e., LPF plus MPF (table 4), showed that in both phases studied, BRA had a lower proportion of this fraction than CRA, while particles in CXB behaved variably depending on the phase considered. These results indicate better particle reduction throughout the gastrointestinal tract in BRA when animals were mostly fed with a grain-based diet. In addition, DMI differences between genetic groups did not drive differences in particle size in faeces and other digestive processes, which may differ between genetic groups, and could be involved in particle size reduction in gastrointestinal tract and nutrients utilization.

Free-ranging Creole cattle could have developed grazing and browsing strategies to cope with a restrictive environment, but they do not provide a comparative advantage under more intensive conditions. Creole steers reared under intensive conditions or those reared under grazing systems and fattened in a feedlot have a poorer performance than other foreign breeds such as Braford.

Although a consistent advantage due to heterosis in crossbred steers was not noticed, they did outperform Creole in several traits. In this case, the relative performance of crossbred versus purebred steers is biased due to potential maternal effects, given that the reciprocal cross was not evaluated. Future experiments should include crossbred steers sired by Braford bulls in order to confirm the combining ability and ultimately the convenience of this particular cross between Creole and Braford.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Project PNPA-1126023 and the Cooperative Association, IIACS. The authors also thank Professor L. Montivero for his assistance in manuscript proofreading.

REFERENCES

- ANDERSON, D. M.; ESTELL, R. E.; GONZALEZ, A. L.; CIBILS, A. F.; TORELL, L. A. 2015. Criollo cattle: Heritage genetics for arid landscapes. *Rangelands*. 37: 62-67. doi. 10.1016/j.rala.2015.01.006
- BEAUCHEMIN, K.A.; MCALLISTER, T.A.; DONG, Y.; FARR, B.I.; CHENG, K.J. 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72: 36-246. doi. 10.2527/1994.721236x
- CLAUSS, M.; HUMMEL, J. 2017. Physiological adaptations of ruminants and their potential relevance for production systems. *Rev. Bras. Zootec.* 46: 606-613. doi. 10.1590/s1806-92902017000700008
- DEVRIES, T.J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. 2009. Feeding method affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92: 1161-1168. doi. 10.3168/jds.2008-1314
- HEINRICH, J. 2013. The Penn State Particle Separator. (Available at <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator#section-1> verified: 3 July 2018).
- HERRERA CONEGLIANO, O.A. 2018. Comportamiento en pastoreo del ganado bovino Criollo Argentino y Aberdeen Angus ecotipo riojano, en pastizales naturales del Chaco Árido. Tesis Magister en Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina. 79 p.
- LEIBER, F.; IVEMEYER, S.; PERLER, E.; KRENMAYR, I.; MAYER, P.; WALKENHORST, M. 2015. Determination of feces particle proportions as a tool for the evaluation of the influence of feeding strategies on fiber digestion in dairy cows. *J. Anim. Plant Sci.* 25: 153-159.
- LEONARDI, C.; ARMENTANO, L.E. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 557-564.
- LEONARDI, C.; GIANNICO, F.; ARMENTANO, L.E. 2005. Effect of water addition on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88: 1043-1049.
- MIÑÓN, D.P.; CAUHEPÉ, M.A.; LORENZO, M.S.; COLOMBO, I.; BRIZUELA, M.A.; MIQUEL, M.C. 1984a. Análisis comparativo de las dietas de dos razas vacunas en un pastizal de la depresión del Salado (Buenos Aires). I-Composición botánica del alimento. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4: 789-801.
- MIÑÓN, D.P.; CAUHEPÉ, M.A.; LORENZO, M.S.; COLOMBO, I.; BRIZUELA, M.A.; MIQUEL, M.C. 1984b. Análisis comparativo de las dietas de dos razas vacunas en un pastizal de la depresión del Salado (Buenos Aires). II-Composición química del alimento. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4: 803-814.
- MORALEJO, R.; PEÑA BLANCO, F.; GARCÍA MARTÍNEZ, A.; MARTOS PEINADO, J.; ACERO DE LA CRUZ, R.; DOMENECH GARCÍA, V. 2003. Evaluación productiva de terneros Aberdeen Angus y criollo argentino en dos sistemas de alimentación en el nordeste de la pampa argentina. *Archiv. Zoot.* 52: 327-337.
- OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. 1991. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. *J. Anim. Sci.* 69: 3435-3445. doi. 10.2527/1991.6983435x
- ORELLANA, C.; PEÑA BLANCO, F.; GARCÍA, A.; PEREA, J.; MARTOS, J.; DOMENECH, V.; ACERO DE LA CRUZ, R. 2009. Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of Criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semi-tropical region of Argentina. *Meat Science* 81: 57-64. doi.10.1016/j.meatsci.2008.06.015
- RUSTAS, B.O.; NØRGAARD, P.; JALALI, A.R.; NADEAU, E. 2010. Effects of physical form and stage of maturity at harvest of whole-crop barley silage on intake, chewing activity, diet selection and faecal particle size of dairy steers. *Anim* 4: 67-75. doi. 10.1017/S1751731109990887
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583- 3597. doi. 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Tipburn en hortalizas de hoja en hidroponía: posibles causas y control
Castañares, J.L.

Combinación de tratamientos con fungicidas y nitrato de calcio para el control de la mancha marrón (*Alternaria alternata*) y su efecto en la producción de tangor 'Murcott'
Alayón Luaces, P.; Chabbal, M.D.; Piccoli, A.B.; Yfran Elvira, M.M.; Gaiad, J.E.; Giménez, L.I.

Implementación y resultados de un programa de mejora genética en ovinos
Mueller, J.P.; Aranguren, E.M.

Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales
Rattin, J.; Echarte, M.; Barrera, L. (*ex aequo*); Tognetti, J.; Di Benedetto, A.

Efecto del control estratégico de la garrapata común del bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* sobre la ganancia de peso en vaquillas Braford en el noreste de Argentina
Rossner, M.V., Torrents, J., Morel, N., Prieto, P.N., Lottero, F., Mangold, A.J., Nava, S.

Recuperación de embriones en hembras de alpacas y llamas con ovulación única o múltiple
Huanca Mamani, T.

Situación de las virosis del cultivo de papa en el Sudeste Bonarense
Salvalaggio, A.E.; Bruno, C.; Huarte, M.A.; López Lambertini, P.M.

Impacto de la densidad de siembra en el establecimiento de *Bromus auleticus* Trin ex Nees en un campo natural de Basalto (Uruguay)
Franco, R.; Jaurena, M.; Reyno, R.

Uso de monensina y virginiamicina en el engorde a corral de vaquillonas basado en maíz entero
Pordomingo, A.J.; Gelid, L.; Pordomingo, A.B.; Baliño, P.; Bressan, E.

Combinación de monensina y virginiamicina en engorde y eficiencia de novillos terminados a corral
Pordomingo, A.J., Bressan, E., Apa, F.J.

Efecto del nivel de suplementación con harina de algodón sobre el consumo y el aumento de peso en bovinos en recría alimentados con silaje de sorgo
Chiossone, J.L.; Balbuena, O.

Análisis de manejo de Residuos Sólidos Urbanos y elaboración de aboneras para huertas traspatio en San Andrés de Giles (Bs. As.)
Cóppola, J.; Pescio, F.; Schamber, P.

Estudio exploratorio sobre *Mycoplasma hyopneumoniae* en granjas porcinas del norte de la provincia de La Pampa, Argentina, utilizando PCR como metodología de diagnóstico
Murcia, V.N.; Beneitez, A.; Pordomingo, A.J.; Miranda, A.

Prospección del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del Cinturón Hortícola de La Plata
Rolleri, J.; Romero, A.M.

Suppression of *Lolium multiflorum* Lam. with *Vicia villosa* Roth combined with residual herbicides
Renzi, J.P.; Pérez Aagaard, C.; Chantre, G.R.; Gigón, R.; Reinoso, O.; Quintana, M.; Ducos, I.; Cantamutto, M.A.

Feed sorting behavior and performance of Argentinian Creole, Braford and crossbred steers during the growing and fattening phases
Della Rosa, M.M.; Corva, P.M.; Royo, V.; Zimerman, M.; Bottegal, D.; Nasca, J.A.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina