

# ROBOTS: LA PRÓXIMA REVOLUCIÓN

Inteligencia artificial en la agroindustria

**PRODUCTIVOS Y SUSTENTABLES**  
Tecnología de rolado selectivo

**SEMILLAS CONSERVADAS**  
Para un futuro sostenible

**ENTREVISTA A DIEGO MORENO**  
Secretario de Política Ambiental



ISSN edición impresa 0325-8718  
ISSN en línea 1669-2314

Institución Editora:  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 42 N.º 1  
Abril 2016, Buenos Aires, Argentina

**Propiedad Intelectual**  
Propiedad Intelectual N.º 5231354- IMPRESO

#### SEDE EDITORIAL

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

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.

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción sin autorización expresa de sus editores, en cuyo caso se agradecerá citar la fuente.

Lo expresado por autores, corresponsales o columnistas no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial, de la revista o de su institución editora.

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

Errege y asociados  
[erregeyasoc@aol.com](mailto:erregeyasoc@aol.com)  
Carolina Muzilli 5422  
C.P. 1440 - CABA

#### MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

**Presidente:**  
Méd. Vet. Amadeo Nicora

**Vicepresidente:**  
Ing. Mariano Miguel Bosch

**Consejeros Nacionales:**  
Méd. Vet. Daniel Gustavo Garello MAGyP  
Ing. Agr. Oscar Arellano - Facultades de Agronomía  
Ing. Agr. Horacio Abel Alippe - AACREA  
Ing. Agr. Elbio Néstor Laucirica - CONINAGRO  
D. Alejandro Lahitte - CRA  
Dr. Alejandro Paredes - FAA  
Sr. Bruno Quintana - SRA

**Director Nacional:**  
Ing. Agr. Héctor Espina

**Directores Nacionales Asistentes:**  
DNA Sistemas de Información, Comunicación y Calidad  
Lic. Juan Manuel Fernández Arocena

DNA de Relaciones Institucionales  
Dra. Ana Cipolla

DNA Planificación, Seguimiento y Evaluación  
Dra. Susana Mirassou

DNA Organización y RR.HH.  
Dra. Hebe Julián

DNA de Desarrollo Organizacional y de las Personas:  
Ing. Agr. Julio Elverdín

DNA Administración CPN  
Lic. Rosendo Tarsetti

DNA de Innovación  
Ing. Agr. Enrique Bedascarrasbure

**Coordinadores Nacionales:**  
CN de Transferencia y Extensión  
Ing. Ftal. Diego Ramilo

CN de Investigación y Desarrollo  
Dr. Fernando Fernández

CN de Vinculación Tecnológica  
Ing. Adolfo Luis Cerioni

#### COMITÉ EDITORIAL

**Presidente:**  
Dr. Carlos Di Bella - INTA - CONICET

**Vocales:**  
Ing. Agr. Jorge Mariotti - UNSa  
Dr. Roberto J. Fernández Aldúncin - UBA - CONICET  
Ing. Agr. M.Sc. María Eugenia Beget - INTA  
Dr. Miguel Ángel Taboada - INTA - CONICET  
Dr. Marcelo Rosmini - UNL  
Dr. Carlos Hernán Moscuza - UNICEN

#### COMITÉ ASESOR

Ing. Agr. M.Sc. María Di Filippo - INTA  
Dra. Luciana Couso - UBA  
Ing. Agr. M.Sc. Alejandro Rago - INTA  
Lic. Gabriela Marina Iturrioz - INTA  
Dr. Martín Durante - INTA  
Dr. Alejandro Constantini - INTA

#### STAFF

**Dirección:**  
Dra. Norma Pensel  
Lic. Máximo Bontempo

**Coordinación editorial:**  
Giselle Miquet

**Asistente editorial:**  
Lic. y Mg. Clarisa Campora  
Lic. Mario Migliorati

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

**Diseño y Edición:**  
Comunicación Visual, Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional

**Fotografía:**  
Audiovisual, Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional

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



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación

## Agrobótica

El avance tecnológico de las últimas décadas es innegable y por completo tangible incluso en nuestra vida cotidiana. Permanentemente se desarrollan dispositivos electrónicos más complejos, pequeños y económicos, que se utilizan para facilitar todas las actividades humanas. El sector agropecuario no fue indiferente a estos avances. Por el contrario, ya en la década del 90 comenzaron a aparecer tecnologías que permitían no solo automatizar diferentes tareas, sino también brindar importantes herramientas para medir y controlar distintas variables del entorno en el cual se desarrollaba la actividad. Estos cambios permitieron además poner en agenda la necesidad del uso racional de los recursos.

Partir del concepto de agroelectrónica (entendida como la técnica que se centra en el desarrollo de soluciones electrónicas para el sector agroindustrial) es posible determinar diferentes interdisciplinas que se desarrollan en el marco de la misma. Entre ellas se encuentran las agrotICs, la agroinformática y la agrobótica, un término de reciente aparición que hace referencia al desarrollo e implementación de la robótica al servicio de las problemáticas agropecuarias. La agrobótica es una interdisciplina que involucra a la robótica, la mecatrónica, que conjuga las ingenierías en electrónica, mecánica y de control, y la informática, con foco en la inteligencia artificial.

En la actualidad, prácticamente todas las maquinarias agrícolas se encuentran dotadas de algún automatismo electrónico que facilita su uso y, al mismo tiempo, mejora la eficiencia. La tendencia actual se orienta hacia la automatización, para llegar al punto de que el operador deje de serlo y pase a supervisar el funcionamiento de uno o varios equipos autónomos, que toman decisiones y actúan en base a las variables que pueden captar en tiempo real. En este escenario la agrobótica tendrá un papel preponderante.

La perspectiva de esta nueva disciplina se potencia por otros avances que ya son una realidad. Las telecomunicaciones tienen un gran impacto en los dispositivos y en los servicios que se vienen. La posibilidad de tener un control remoto *on-line* de maquinarias e instalaciones ya es una realidad y se

intensifica con la adopción de nuevas y más veloces redes de datos.

En pocas palabras, automatismos, precisión, eficiencia, uso racional de insumos... a esto se apunta con estas nuevas disciplinas y es ahí donde la agrobótica tiene mucho para ofrecer.

Si bien en la actualidad la oferta internacional de sistemas electrónicos e informáticos es abundante, generalmente estos dispositivos no se adaptan adecuadamente a las condiciones productivas de nuestro país, ni tampoco a las necesidades específicas del sector. Muchas veces estas costosas tecnologías tienen un impacto menor para la inversión que representan, lo que desalienta su uso y priva a los productores de un posible incremento de su productividad.

En base a estas reflexiones, ¿cómo se posiciona el INTA ante estos nuevos desafíos? La realidad indica que la Institución acompaña estos procesos desde sus inicios. Incorpora en su agenda distintos temas emergentes –entre los que se destaca la agrobótica–, forma profesionales y enfrenta el gran desafío que implica el desarrollo de nuevas tecnologías.

Cualquier proceso de innovación lleva en sí mismo un alto grado de incertidumbre y riesgo que, en muchos casos, el sector privado no está dispuesto a correr. Es allí donde la investigación del sector público es fundamental como puntapié inicial y apoyo al sector privado.

En este sentido, el INTA juega un rol central al desarrollar y acercar nuevas tecnologías al sector agroindustrial. Actualmente la institución posee diversos grupos avocados a la temática distribuidos en el territorio, que atienden las demandas regionales.

Contar localmente con el conocimiento de estas disciplinas permite no solo el desarrollo nacional de tecnologías innovativas, sino también posibilita tener recursos humanos especializados en el análisis de las nuevas tecnologías que se desea incorporar al ambiente productivo. Esto último permite disminuir el riesgo de incorporar dispositivos no apropiados o pensados para otro tipo de ambiente, a la par que crea capacidades internas para el desarrollo genuino de tecnologías.

## Actualidad en I+D

### Editorial

#### 4 Agrobótica

Se trata de una interdisciplina que involucra a la robótica y la mecatrónica, conjuga las ingenierías y centra su campo de desarrollo en la inteligencia artificial.

### Notas

#### 8 Robots: la próxima revolución del campo

La incorporación de la inteligencia artificial en el sector agroindustrial permite tomar mejores decisiones y optimizar aún más las prácticas agrícolas.



#### 14 Ser productivos y sustentables, es posible

Para potenciar ambas actividades productivas, el INTA propone una nueva tecnología de rolado selectivo de baja intensidad con innumerables ventajas.

#### 19 Legumbres: la conservación de lo ancestral

El INTA preserva desde hace 30 años cerca de 700 entradas de porotos primitivos y silvestres en el Banco de Germoplasma del NOA.

#### 23 Renovar el vínculo entre ambiente y CyT

El Secretario de Política Ambiental de la Nación, Diego Moreno, reconoce que tiene la tarea de articular la gestión ambiental con los organismos que ejecutan la política nacional.



#### 28 Pastillas

Un breve resumen de las noticias más sobresalientes.

## Trabajos

### Artículos

#### 29 Relación del uso del nitrógeno y calidad de Trigo

Lerner, S. E.; Arata, A. F.; Arrigoni, A. C.



#### 41 Primer registro de *Tetranychopsis horridus*

Martin, D.M.; Regonat, M.E.; Gallo, S.L.; Baffoni, P.A.; Mongabure, A.P.

#### 47 Variabilidad espacial de suelo

Córdoba, M.; Bruno, C.; Costa, J.; Balzarini, M.

#### 54 Resistencia a la roya común

Simón, G.; Collavino, N.; Gray, L.; Mariotti, J.

#### 66 Variabilidad climática

Tiscornia, G.; Cal, A.; Giménez, A.

#### 72 Calidad de carne en cerdos de la raza Landrace

Fassa, V.B.; Carden, T.R.; Goenaga, P.R.; Marini, S.J.; Carduza, F.J.; Grigioni, G.; Marrube, G.; Lloveras, M.R.

#### 79 Producción de biomasa

Pesqueira, J.; Huarte, H.R.; García, M.D.

#### 87 Crianza artificial de terneros

Juliano, N.; Danelon, J.L.; Fattore, R.O.; Cantet, J.M.; Martínez, R.; Miccoli, F.; Palladino, R.A.

#### 93 Agregado de fósforo y nitrógeno

Sevilla, G.H.; Agnusdei, M.G.

#### 102 Estructura genética

Iribarren, M.J.; Borassi, C.; Ferri, A.; González, B.; Steciow, M.; Guillín, E.





## Robots: la próxima revolución del campo

La Argentina se ubica entre los países más tecnificados del mundo para la producción de granos. El futuro y la toma de decisiones en el campo plantean que sean las propias máquinas quienes decidan. Sembrar, cosechar y pulverizar, ya es cosa de robots. Más conocimiento y procesos innovativos apuntan a alcanzar mayor eficiencia.

Para especialistas del INTA, la revolución llega de la electrónica, el software, las comunicaciones, la conectividad y la robotización a partir del desarrollo y aplicación de sensores, y con la información de satélites y nanosatélites. Disciplinas como agrobótica y mecatrónica son brújulas que marcan el norte en agroindustria.

(Actualidad en I+D p. 8)



## Ser productivos y sustentables, es posible

Décadas de sobrepastoreo, exceso de fuego y sobreexplotación desmesurada en la región chaqueña dan como resultado que, en la actualidad, se observen cambios en la vegetación original que homogeneizaron los ecosistemas de la región. A fin de revertir este daño, como así también, con el objetivo de aumentar la eficiencia y rentabilidad en los sistemas silvopastoriles, el INTA propone la implementación del rolado selectivo de baja intensidad (RBI), una propuesta tecnológica con numerosas ventajas para actividades ganaderas y forestales. Además, colabora con la biodiversidad y los hábitats de fauna. El desafío es lograr una producción sostenible en los ecosistemas naturales.

(Actualidad en I+D p. 14)

## Relación del uso del nitrógeno y calidad de Trigo Pan

El uso eficiente del nitrógeno en los cultivos permite minimizar los riesgos ambientales y maximizar los ingresos de los productores. Esto se puede lograr ajustando el manejo de la fertilización y utilizando la variabilidad genética existente. Además de su efecto sobre el rendimiento, el N ejerce un importante efecto sobre la calidad de los granos de trigo. Este último también es influenciado por la composición proteica del gluten y el ambiente. El objetivo de este trabajo fue estudiar la relación entre la eficiencia de captura de N y su partición entre grano y rastrojo con atributos de calidad industrial en variedades argentinas de trigo pan.

(Trabajos p. 29)

## Legumbres: la conservación de lo ancestral

Mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de quienes habitan este mundo cada vez más poblado, es una prioridad para los 42 países miembro de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés).

Las legumbres resultan esenciales para la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición, mejorar la salud humana y acrecentar la sostenibilidad agrícola.

Se destacan por tratarse de un alimento primitivo y nutritivo. Así lo entendieron los especialistas del INTA que conservan hace 30 años cerca de 700 entradas de porotos silvestres y primitivos en el Banco de Germoplasma del NOA.

(Actualidad en I+D p. 19)

## Primer registro de *Tetranychopsis horridus*

En Argentina, la información sobre los agentes perjudiciales presentes en avellanos es escasa. En la temporada 2014-2015, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria llevó a cabo el monitoreo en plantaciones comerciales localizadas en el Valle Inferior de Río Negro. Al examinar a campo el material vegetal afectado se relacionó la sintomatología con la actividad alimentaria de un ácaro. Se tomaron muestras y se las envió al Laboratorio de Referencia del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria para su análisis. Se confeccionaron preparados microscópicos de 23 ejemplares en distintos estados de desarrollo.

(Trabajos p. 41)

## Renovar el vínculo entre ambiente y CyT

Profundizar el lugar de la política ambiental nacional llevó al gobierno a promover un Ministerio de Ambiente. Con competencias asumidas sobre temas como bosques nativos, cambio climático y producción extractiva minera, el flamante Secretario de Política Ambiental, Diego Moreno, explicó la necesidad de trabajar una agenda ambiental interministerial como parte de los desafíos que asumió su gestión.

La decisión de integrar y articular el diálogo con los organismos que integran el sistema de ciencia y técnica, se reconoce en el lugar destacado que tienen para la definición y gestión de políticas públicas nacionales, y las soluciones para resolver los conflictos ambientales.

(Actualidad en I+D p. 23)

## Variabilidad espacial de suelo

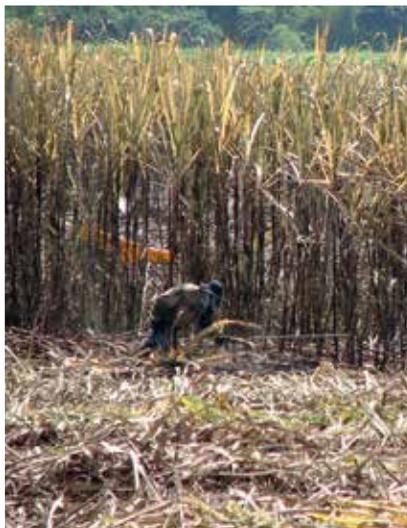
El manejo sitio-específico dentro de un lote requiere delimitar zonas homogéneas. Múltiples variables son usadas para la zonificación. El análisis de "cluster fuzzy k-means" (CFK) es aquí utilizado para la delimitación de zonas. El CFK puede aplicarse sobre las variables originales o sobre variables sintéticas derivadas del análisis de componentes principales (PCA). Sin embargo, PCA no considera la presencia de correlaciones espaciales. Proponemos el uso del método MULTISPATI-PCA, una nueva forma de PCA que contempla la información espacial. El método es usado para cuantificar la magnitud de la relación lineal entre variables de suelo y rendimientos.

(Trabajos p. 47)

## Resistencia a la roya común

La caña de azúcar es una especie cultivada de gran complejidad genética. Se postula que la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow) tendría base poligénica u oligogénica con efectos principalmente aditivos y de interacción génica. El empleo de variedades resistentes es el método de control más eficaz, por lo que resulta importante investigar el mecanismo genético que determina la expresión de este atributo. La finalidad de este trabajo fue estimar en poblaciones híbridas la heredabilidad de la resistencia a la roya común, como la regresión de las medias de las progenies sobre las medias de los padres.

(Trabajos p. 54)



## Variabilidad climática

La variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos resultan en perjuicios importantes para la producción agropecuaria requiriendo de varios años para la recuperación económica y financiera del deterioro ocasionado. Un ejemplo es la precipitación registrada a nivel nacional en diciembre de 2013 con anomalías negativas de 100 mm a 200 mm en contraste con las ocurridas al mes siguiente, enero de 2014, cuando se registraron anomalías positivas de 300 mm a 400 mm. El análisis y caracterización de la variabilidad climática en Uruguay, como factor relevante para la producción agropecuaria, resulta de importancia para la gestión de riesgos asociados al clima.

(Trabajos p. 66)

## Calidad de carne en cerdos de la raza Landrace

El progreso genético alcanzado durante las últimas décadas en los caracteres de productividad y, en especial, en el aumento del contenido de magro en las canales, ha desembocado en un deterioro en los caracteres intrínsecos de la calidad de carne, tanto en sus componentes físico-químicos como así también en los sensoriales, en parte debido a la existencia de correlaciones genéticas negativas entre ambos grupos de caracteres. El objetivo del presente trabajo fue corroborar mediante un nuevo experimento los resultados obtenidos previamente por nuestro grupo con relación al efecto del SNP IGF2 3702 G>A sobre los caracteres de crecimiento.

(Trabajos p. 72)

## Producción de biomasa

La producción estival de biomasa forrajera de La Pampa deprimida bonaerense resulta muchas veces deficitaria para la alimentación del ganado. Una alternativa para incrementarla es cultivar especies perennes de origen subtropical. Algunas de estas especies, además de producir cantidades importantes de biomasa, han mostrado buena adaptación a condiciones ambientales similares a las de esta área. Los estudios realizados hasta ahora en la zona generalmente abarcan solo los dos primeros años de crecimiento del cultivo. Los objetivos de este estudio fueron evaluar la productividad de especies forrajeras perennes subtropicales en comparación con la del pastizal natural.

(Trabajos p. 79)

## Crianza artificial de terneros

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta productiva de terneros machos enteros alimentados con 3 dietas líquidas diferentes más un alimento balanceado comercial. Los sustitutos lácteos utilizados fueron: 1) sustituto lácteo tradicional, de composición similar a los comúnmente encontrados en el mercado (20% PB y 15% EE), y 2) sustituto lácteo alta energía (20% PB y 20% EE). Como testigo se alimentó un grupo con leche proveniente del tambo. Se evaluó el tiempo al desleche, ganancia diaria de peso vivo (GDPV), estimación de consumo de materia seca (CMS) y nutrientes, y eficiencia de conversión. Se utilizaron 21 terneros machos de raza Holando-Argentino.

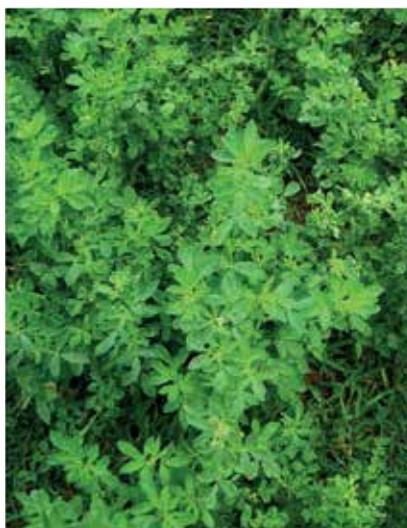
(Trabajos p. 87)

## Agregado de fósforo y nitrógeno

Se analizó el efecto de P y N sobre la acumulación de biomasa (AB) primavera-estival (pri06-ver07) de alfalfa (grado de reposo 6) en un suelo vertisol en la provincia de Entre Ríos. En un diseño en bloques completos al azar (n= 2) se aplicaron cada otoño 0 o 100 kg P ha<sup>-1</sup> y a principio de pri06 y ver07 0 o 150 kg N ha<sup>-1</sup>, resultando las combinaciones: 0P0N (condición natural), 100P0N (P no limitante) y 100P150N (P-N no limitantes).

Se determinó: AB aérea total y de las fracciones hoja y tallo mediante cortes desfasados sobre parcelas independientes y porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%RFAi).

(Trabajos p. 93)



## Estructura genética

*Phytophthora capsici* causa enfermedades destructivas en todo el mundo. El patógeno es heterotálico y los dos tipos de apareamiento (TAs) son requeridos para la reproducción sexual. La razón de TAs varía entre regiones geográficas y también la chance para reproducirse sexualmente. La durabilidad de las medidas de control depende de la variación genética. Se debe considerar la cantidad y la distribución de variación genética dentro y entre poblaciones de especies, es decir, la estructura genética. Esta está determinada por factores que influyen la evolución poblacional como la mutación, la deriva genética, el sistema de reproducción y de selección.

(Trabajos p. 102)



## AGROBÓTICA

# ROBOTS: la próxima revolución del campo

En un futuro cercano, la incorporación de la inteligencia artificial a lo agropecuario permitirá tomar mejores decisiones y optimizar aún más las prácticas agrícolas. Desarrollos argentinos que transformaron el trabajo en el campo.

Por Cecilie Esperbent

La literatura y el cine de ciencia ficción contribuyeron a que las palabras "robots" y "robótica" quedaran asociadas al futuro, a la suplantación de tareas humanas y a la conquista de territorios inexplorados en nuestro imaginario más cercano, aunque la realidad nos muestre algo muy diferente. La robótica cuenta con numerosas dimensiones y una infinidad de aplicaciones en el horizonte de la investigación, el desarrollo y la innovación agroindustrial; y ocupa espacios en casi todos los rubros de la actividad económica, las comunicaciones y el arte.

La implementación de electrónica, software, geoposicionamiento y mecánica tanto para la siembra, monitoreo o cosecha de un campo, es hoy una realidad. De hecho, con casi ocho millones de hectáreas sembradas con tecnología de precisión, la Argentina se ubica entre los países más tecnificados del mundo para la producción de granos.

Por ahora, muchos de los procesos para toma de decisiones en el campo se encuentran en fase experimental mientras se avanza rápidamente en la transferencia de los resultados científicos. Los debates acerca del sentido



de la tecnología acompañan el desarrollo de nuevos enfoques y disciplinas, donde surgen las preguntas acerca de cómo integrar conocimientos y saberes de diversas culturas a las costumbres tradicionales de las prácticas agrícolas a partir de perspectivas interdisciplinarias y sistémicas.

Esto lleva a pensar que en el futuro cercano no serán las máquinas quienes decidirán, claro está, aunque la Inteligencia Artificial ayudará a tomar mejores decisiones. Desde aquí el complejo entramado de la generación de conocimiento y tecnología, donde las instituciones del sistema científico y tecnológico argentino enfrentan un importante desafío en profundizar la investigación y la innovación agroindustrial. Éste definirá el alcance de los dispositivos en los sistemas productivos que acompañan su adopción, más allá de la mera utilización de las tecnologías. Aquí el rol del Estado resulta preponderante e insustituible.

La frontera en materia de desarrollos agrícolas ubica a los robots cada vez más cerca de que puedan sembrar, cosechar y pulverizar; es decir, realizar acciones más complejas donde intervendrán actores del mundo agropecuario, de las TIC y la robótica. Por tanto, con información precargada podrán **hacer el seguimiento de un cul-**

**tivo, anticiparse al ataque de plagas y enfermedades, identificar zonas de malezas, detectar fallas de siembra o fertilización y realizar la tarea para remediar la situación.**

Al principio, el concepto de agricultura de precisión (AP) en la Argentina se refirió al “manejo de insumos variables por ambientes y de datos extraídos del lote”, recordó Juan Pablo Vélez, especialista en agricultura de precisión del INTA Manfredi –Córdoba– y siguió: “Luego incluyó a los **equipos y al control y medición de la eficiencia de las máquinas**”.

A todo esto, le siguieron los desarrollos de software con inteligencia precargada para que la máquina tome decisiones sin depender del operario, con alta eficiencia en el curso de las acciones y trazabilidad de los procesos. Esto se logró mediante el uso de un chip y con la ayuda de un sistema de lectura. Así, **“un fardo, por ejemplo, puede proporcionar información**

**“CONOCER CUÁL ES EL GRADO DE VARIABILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS PARA TOMAR DECISIONES DE MANEJO”.**  
**(JUAN PABLO VÉLEZ)**



acerca de su procedencia –no sólo la zona, sino las coordenadas que permiten establecer exactamente de dónde salió–, el día en que se armó y su contenido de humedad”, indicó Vélez.

El primer paso de la AP es “conocer cuál es el grado de variabilidad en el rendimiento de los cultivos para tomar decisiones de manejo que impacten en términos de beneficio económico”, destacó Vélez. Por ejemplo, al ahorrar insumos en las zonas del campo donde la productividad está limitada por algún factor –áreas de suelos salinos o degradados por erosión– y potenciar aquellas donde es mayor, con incremento del uso de fertilizantes o densidad de semillas.

Sin embargo, lo más revolucionario para el campo vendrá de la mano de la electrónica, el software, las comunicaciones, la conectividad y la robotización a partir del desarrollo y aplicación de sensores capaces de identificar objetos, plantas, estado de humedad y nutrición del suelo; variables climáticas como humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, lluvia, evapotranspiración actual y potencial; capacidad para escanear granos y detectar daño mecánico, impurezas, contenido de aceite y proteína sobre una cosechadora; sensores que detectan hormonas que guían cosechadoras para sólo recoger la fruta madura, sensores de insectos en grano almacenados, satélites y nanosatélites de alta resolución espacial y temporal.

“Todos estos sensores ayudarán a recoger datos que se analizarán en software instalados en las máquinas o en la nube (*big data*)”, indicó Vélez, quien advirtió que “la máquina podrá, en tiempo real, transformar esos datos en información agronómica



útil para modificar su comportamiento en fracciones de segundo a escala de cada metro cuadrado”.

#### Una nueva agricultura

Disciplinas como **agrobótica y mecatrónica son como brújulas** que marcan el norte en una institución dedicada al agro y demuestra que el organismo puede trabajar en robótica aplicada al sector agroindustrial.

De hecho, un documento titulado *Agrobótica* –escrito por Marcelo Bosch, coordinador de Observación y Promoción de Áreas Emergentes y Transversales del INTA– analiza el uso cada vez más cotidiano de la tecnología en el campo agropecuario. “Muy pocos piensan cuánto software y electrónica hay embebida en una sembradora de precisión o en una estación meteorológica automática. El foco de atención se lo lleva el principal portador, la máquina”.

La robótica en el mundo “se desarrolló principalmente al servicio de la automatización de las industrias avanzadas, en especial la automotriz y la aeroespacial, pero en la actualidad ocupa espacios en casi todos los rubros de la actividad económica”, apuntó Bosch y replicó: “Los avances en tecnologías de sensores, materiales, micro y optoelectrónica, inteligencia artificial, servomecanismos, posicionamiento satelital y telecomunicaciones han producido una inmensa cantidad de tecnologías, métodos, dispositivos

y experiencias suficientes como para resolver cada vez más problemas en menos tiempo, con más precisión, seguridad y con menos utilización de recursos y daño ambiental”.

Para escalas pequeñas, robots como Inau –voz que en mapuche significa encuentro–, desarrollado por el equipo de robótica e inteligencia artificial del INTA Anguil –La Pampa–, hoy es capaz de desplazarse por el invernadero, diseñar sus actividades, hacer mapas 3D, aplicar fitosanitarios y fertilizar; pero pronto podrá cosechar, cortar y podar, entre otras actividades. Su autonomía le permite eludir obstáculos, transportar insumos y, además, medir humedad, temperatura y radiación.

Ricardo Garro, coordinador del laboratorio de robótica –que funciona en el INTA Anguil desde el 2010–, señaló

---

**“MUY POCOS PIENSAN CUÁNTO SOFTWARE Y ELECTRÓNICA HAY EMBEBIDA EN UNA SEMBRADORA DE PRECISIÓN O EN UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA”.**  
**(MARCELO BOSCH)**

---

## UN ROBOT PARA ORDEÑAR A LAS VACAS

El INTA Rafaela –Santa Fe– instaló el primer tambo robotizado del país y el primero de Latinoamérica, vinculado a una institución de investigación. La unidad ordeña 40 vacas en un sistema pastoril intensificado con tres sectores de alimentación: dos de pastoreo directo y uno donde se distribuirá una dieta TMR –ración totalmente mezclada–.

Miguel Taverna, referente en lechería de esa unidad del INTA, explicó que el sistema tiene la tecnología conocida internacionalmente de “ordeño voluntario” (VMS, por sus siglas en inglés), la que incluye el uso de la robótica, la teleinformática y tecnologías de precisión.

El componente central de esta tecnología es “un robot que realiza las prácticas de rutina, ordeña las vacas en forma automática, mide la producción, detecta problemas de mastitis y suministra alimentos”, expresó Taverna, quien además afirmó: “El desafío es lograr una alta frecuencia de ordeño, de dos a tres veces por día y de forma voluntaria”.

El uso de incentivos, como diferentes sectores de pastoreo, suministro de TMR, concentrado, confort en determinadas horas y agua hace que las vacas se movilen solas entre los tres sectores del tambo. “Dentro de esas trayectorias pasan por puertas inteligentes y, en función de la decisión técnica, son derivadas al ordeño o a la zona de pastoreo y suministro de raciones”, detalló el referente del INTA.

Si son ordeñadas, un robot realiza todos los trabajos de la rutina: lavado de pezones, colocación de pezoneras, retiro y desinfección. Además, mide parámetros como producción, calidad y salud. Todos los datos son guardados, procesados y analizados para la gestión y toma de decisiones.

“Esta tecnología no reemplaza a la gente, sino que modifica favorablemente las condiciones de trabajo”, aseguró Taverna. El trabajo de las personas es “imprescindible para el buen funcionamiento del sistema pero, gracias al uso de la tecnología, el operario puede advertir, mediante el uso de un celular o computadora personal, si existe algún problema, el tipo y nivel de gravedad”.

Si bien la robótica aplicada al ordeño cuenta con más de 20 años de desarrollo y actualmente es adoptada por 30.000 tambos comerciales, Taverna señaló que “además de la dimensión productiva, la incorporación de innovaciones a los procesos del agro resulta valiosa para atraer la participación de los jóvenes”.

Este proyecto de investigación se lleva a cabo a partir de un convenio de vinculación tecnológica firmado entre el INTA y la empresa DeLaval S.A. y, además, cuenta con el apoyo de la Cooperadora de esa unidad del INTA.

que “uno de los desafíos más grandes con los que nos enfrentamos cuando encaramos este tipo de proyectos, tiene que ver con **la accesibilidad y el manejo**; es decir, que a **un productor no le resulte difícil programarlo para las tareas que necesite**”, indicó.

Inau es totalmente autónomo y se adapta a diseños de invernáculos para trabajar con cada planta. Las identifica, determina qué tipo de cultivo y decide la aplicación de las dosis de fertilizantes, por ejemplo, de acuerdo a la necesidad de cada ejemplar. El robot puede ir una y otra vez al lugar

asignado y recordar lo que hizo; una función fundamental para la toma de decisiones.

A fines de 2015, Garro y su equipo comenzaron las primeras pruebas de otra plataforma multipropósito: R4INTA. “El desafío ahora, es **avanzar sobre la visión artificial y, fundamentalmente, la comunicación entre diferentes dispositivos interconectados**”, expresó el coordinador del laboratorio de robótica del INTA Anguil.

De acuerdo con Garro, “para obtener respuestas más integrales a las

**“TENEMOS QUE PENSAR SISTEMAS COMPLEJOS DONDE EL ROBOT NO SEA EL CENTRO, SINO PARTE DEL CONJUNTO”.  
(RICARDO GARRO)**

problemáticas, tenemos que pensar sistemas complejos donde el robot no sea el centro, sino parte del conjunto”. En este sentido, aseguró que “la mirada holística, integradora, tiene que exceder a cualquier desarrollo único para hacerlo actuar en sistemas complejos, como *data loggers*, sensores externos, estaciones meteorológicas e, incluso, otros robots”.

El documento escrito por Bosch reflexiona sobre todas las disciplinas que participan para que un robot autónomo funcione. Ese tipo de dispositivos “**presenta un altísimo grado de**

**integración tecnológica y de conocimiento científico de base”.**

En la búsqueda permanente de mayor competitividad en el campo, el Instituto de Ingeniería Rural (IIR) del INTA desde el 2004 cuenta con un laboratorio de electrónica, cuyo principal objetivo es el desarrollo de nuevas tecnologías demandadas por el sector agroindustrial.

Andrés Moltoni, responsable de ese laboratorio del INTA, señaló que “una de las políticas del IIR es **generar procesos, productos y herramientas que beneficien directamente al productor**”. Así surgió el robot Trakür -significa niebla en Mapuche-, un sistema autónomo, equipado con inteligencia artificial diseñado para cultivos bajo cobertura.

“En los invernáculos existe un ambiente controlado y las aplicaciones requieren dispositivos de bajo costo que permitan su rápida difusión y adopción”, explicó Moltoni y agregó: “Esta tecnología está destinada a proteger la salud del operario mediante la reducción de su exposición a las aplicaciones de fitosanitarios en espacios confinados, el operario supervisa al robot desde el exterior del invernáculo y no es necesario que ingrese al mismo”.

Moltoni reflexionó acerca de que **“la electrónica en el agro cobra cada vez más relevancia en los equipos de mecanización agropecuaria** y, desde el INTA priorizamos esta temática en línea con las tendencias mundiales”, afirmó y añadió: **“Todo proceso de innovación lleva en sí mismo un alto grado de incertidumbre y riesgo** que, en muchos casos, **el sector privado no está dispuesto a correr y es allí donde la investigación del sector público es fundamental** como puntapié inicial”.

#### Disciplinas aplicadas

Labores como determinar el rendimiento de un cultivo, el estado sanitario y nutricional, cuándo necesita agua o está listo para cosechar son las tareas básicas que cumple casi cualquier máquina en el campo hoy, no solo para pequeñas extensiones, sino también se usan para el análisis, seguimiento y monitoreo de grandes extensiones de tierra.

## UN SISTEMA ADVIERTE CUÁNDO ES NECESARIO REGAR

Ahora, saber cuándo una planta necesita agua para maximizar su producción es posible gracias al trabajo de técnicos del INTA San Juan, quienes desarrollaron un sistema online que monitorea el estado del cultivo y optimiza el uso del agua y de los fertilizantes.

“Se trata de una multiplataforma que optimiza y racionaliza las actividades dentro de la finca, lo que implica, en algunos casos, reducir el uso de agua hasta un 40 por ciento y ahorrar hasta un 30 por ciento de fertilizantes”, expresó Facundo Vita Serman, investigador en riego en frutales del INTA San Juan, quien señaló que en la región Cuyo el agua es “un bien escaso y, por eso, trabajamos para hacer un uso eficiente”.

El sistema de riego preciso incluye una serie de dispositivos electrónicos (sensores, válvulas, bombas, equipos de control automático, equipos de comunicación) que registran la información relacionada a las distintas mediciones y las variables del cultivo, de la meteorología, y del sistema de riego.

Así, se logra mejorar “la calidad de los frutos y la cantidad de la cosecha ya que el aporte del agua y fertilizantes se realiza en función de la demanda del cultivo”, indicó Vita Serman, al tiempo que especificó: “Se riega solo cuando la planta lo necesita”.

Poder registrar cada operación aporta a lograr la trazabilidad y documentar la huella hídrica de la plantación, “lo que facilita el proceso de exportación de los productos”, aseguró. Toda la información de la finca se integra en una base de datos y se presenta, mediante un software, en una pantalla ordenada adecuadamente, tanto espacial como temporalmente.



Actualmente los drones aparecen en escena con un rol protagónico. En la práctica, algunas tecnologías alcanzan una rápida integración para determinados enfoques productivos aunque se piensa en que las dinámicas tecnológicas orientadas permiten una mayor adaptación al comprender mejor las dimensiones y los campos de aplicación agroindustrial-biológico-ambiental.

En este orden, los avances en ciencia y tecnología en las últimas décadas hizo que hoy sea posible contar con imágenes instantáneas, de calidad y a muy bajo costo a bordo de drones equipados con GPS.

Andrés Méndez –especialista y consultor privado en agricultura de precisión–, aseguró que es invaluable contar con ese tipo de información en tiempo real para tomar decisiones. **“Vamos hacia el análisis de la micro-variabilidad del terreno**, es decir, al análisis del lote metro por metro”, señaló, y anticipó que “la agricultura del futuro estará apoyada en el automatismo y la robótica”.

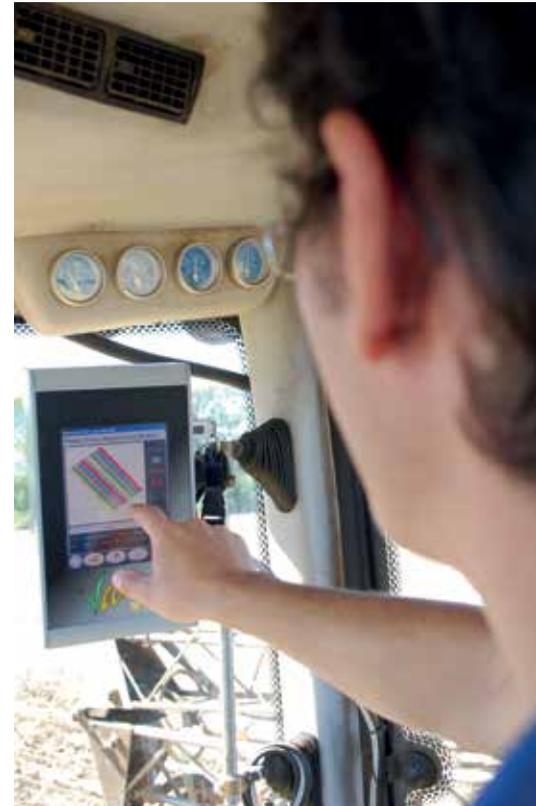
Entre las ventajas de este tipo de dispositivos, Méndez detalló algunas: **“realizar un seguimiento de los cultivos a partir de imágenes multiespectrales que permita anticiparse a las plagas y enfermedades, sectorizar**

ambientes de malezas, detectar fallas de siembra o fertilización si las hubiese, estimar rindes, daños por heladas y pérdidas por granizo, el desplazamiento del ganado o bien un simple recorrido a campo cuando se dificulta el acceso a pie”.

Aunque muchas veces no seamos conscientes, los satélites revolucionaron el mundo de las comunicaciones y generan información vital para la vida cotidiana. Esto no solo nos facilitó hablar por teléfono, sino que generó un impacto sustancial en la aplicación que se hizo de esta herramienta en el campo. **La tecnología satelital ofrece una gama de productos útiles al agro, que permiten estimar variables con precisión.**

**Más información:**

Juan Pablo Vélez  
 velez.juanpablo@inta.gob.ar  
 Marcelo Bosch  
 bosch.marcelo@inta.gob.ar  
 Ricardo Garro  
 garro.ricardo@inta.gob.ar  
 Andrés Moltoni  
 moltoni.andres@inta.gob.ar  
 Andrés Méndez  
 andresmendez74@hotmail.com  
 Miguel Taverna  
 taverna.miguel@inta.gob.ar  
 Facundo Vita Serman  
 vita.facundo@inta.gob.ar



**“ESTA TECNOLOGÍA ESTÁ DESTINADA A PROTEGER LA SALUD DEL OPERARIO MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE SU EXPOSICIÓN A LAS APLICACIONES DE FITOSANITARIOS”.**  
**(ANDRÉS MOLTONI)**

## GANADO EN EL BOSQUE



# Ser productivos y sustentables, es posible

En los últimos 50 años, los seres humanos transformaron los ecosistemas para abastecer la demanda creciente de alimento, agua dulce, madera, fibra, minerales y combustible. La presión ejercida por el hombre sobre las funciones naturales de la tierra ha sido tan desmedida que, de acuerdo un informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM), ya no se puede asegurar que puedan mantener la capacidad de sustentar a las generaciones futuras.

Se necesitará otro medio siglo para revertir el daño ocasionado. Así, mediante un cambio sustancial de paradigma se podrá equilibrar el desarrollo económico con la naturaleza y demostrar que –a pesar de los prejuicios– ser productivo y sustentable, es posible.

En la región chaqueña argentina, el desafío ya está planteado: lograr una producción ganadera y forestal sostenible en los ecosistemas naturales de la región. Para ello, los especialistas del INTA subrayan la necesidad de revertir los cambios en la vegetación original ocasionada como consecuencia de décadas de sobrepastoreo, exceso de fuego como herramienta y sobreexplotación.

En este sentido, Hugo Fassola – coordinador del Programa Nacional Forestales del INTA– ponderó los sistemas silvopastoriles y los consideró “la mejor alternativa para generar un mayor confort animal y fijar carbono protegiendo el suelo, manteniendo otros servicios del bosque” frente a un escenario en el que el cambio climático impactará cada vez con mayor fuerza.

Para controlar las abundantes leñosas arbustivas presentes en toda la región, los técnicos proponen instalar sistemas silvopastoriles, a partir de la aplicación del Rolado Selectivo de Baja Intensidad (RBI). Se trata de una propuesta tecnológica del INTA que, mediante el corte y el aplastamiento del estrato arbustivo, genera un ambiente accesible y amigable para el rodeo y la actividad forestal.

“Las leñosas del Chaco –especialmente las arbustivas– están adaptadas a los disturbios debido a un importante banco de yemas basales, y su manejo requiere de técnicas de baja intensidad”, comentó Sandra Bravo, profesional de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero

(UNSE), que estudia la arquitectura y hábitos de crecimiento de las leñosas chaqueñas, información clave para generar tecnologías apropiadas.

Esta tecnología es producto de un trabajo conjunto del INTA con la Cátedras de Microbiología Agrícola y Ecología, y de Botánica General de las Facultades de Agronomía y Agroindustrias y de Ciencias Forestales de la UNSE.

## Una tecnología, infinitos beneficios

El RBI presenta numerosas ventajas para la producción ganadera y forestal. Entre las más destacadas se encuentra el mejoramiento de la humedad del suelo y del acceso de la luz natural. Esto facilita la germinación de pastos nativos y la siembra de otras especies, lo que impacta en el incremento de la oferta forrajera.

“El rolado reduce el volumen de las leñosas arbustivas y estimula el crecimiento de las gramíneas forrajeras porque disminuye la competencia interespecífica”, detalló Carlos Kunst – técnico del INTA Santiago del Estero–, quien aseguró que “luego de aplicar el



Con la implementación del rolado selectivo de baja intensidad (RBI) –propuesta tecnológica del INTA– se obtienen numerosas ventajas como el bienestar animal y el incremento en la oferta forrajera. Además, permite un manejo eficiente y rentable de la producción ganadera y forestal.

Por Laura Pérez Casar

RBI, la oferta de forraje puede superar el 200 por ciento en especies nativas y hasta el 500 por ciento si se siembra *Gatton panic* o *Green panic*”.

Y agregó: “Este incremento disminuye el número de hectáreas necesarias para mantener un animal –se pasa de entre 12 y 15 hectáreas a entre 2 y 5– lo que aumenta la rentabilidad de los establecimientos”.

El RBI es una tecnología que impacta directamente sobre la oferta de alimento, la clave de la producción animal.

Asimismo, aumenta la accesibilidad al potrero lo que permite un manejo más eficiente del rodeo. “Es muy importante poder ver la hacienda y recorrer el campo a fin de identificar patrones y hábitos de pastoreo, como así también supervisar la sanidad de los vientres y terneros”, detalló Marcelo Navall, técnico del INTA Santiago del Estero.

Entre las ventajas de RBI también se destaca el mínimo impacto de la tecnología sobre los árboles y, así, aprovechar su capacidad de generar un microclima que reduce la temperatura en las horas críticas del verano, lo que contribuye al bienestar animal y a la eficiencia productiva.

Las temperaturas extremas percibidas en la región chaqueña “pueden afectar la productividad y el confort animal bajo condiciones de campo abierto. Este estrés térmico impacta en el consumo de alimento que se traduce en un menor aumento de peso diario”, explicó Roxana Ledesma, técnica del INTA Santiago del Estero.

En referencia al manejo forestal, el especialista ponderó la técnica RBI porque “permite manejar la competencia entre los árboles más grandes y de los más pequeños con los arbustos, al tiempo que asegura la persistencia de las poblaciones forestales y facilita su recuperación”.

Asimismo, la RBI colabora con la biodiversidad al mantener o recuperar la diversidad de hábitats de fauna. “Es recomendable que en el lote queden isletas de vegetación, ya que estos lugares suelen ser abrigos para los animales y la fauna”, indicó Ledesma.

#### Seleccionar para ser más eficientes

Los potreros no son todos iguales. Para reconocer la heterogeneidad del ambiente se requiere un mapeo o sectorización del campo en sitios ecológi-

cos que detalle la existencia de pendientes, tipo de suelos y vegetación existente.

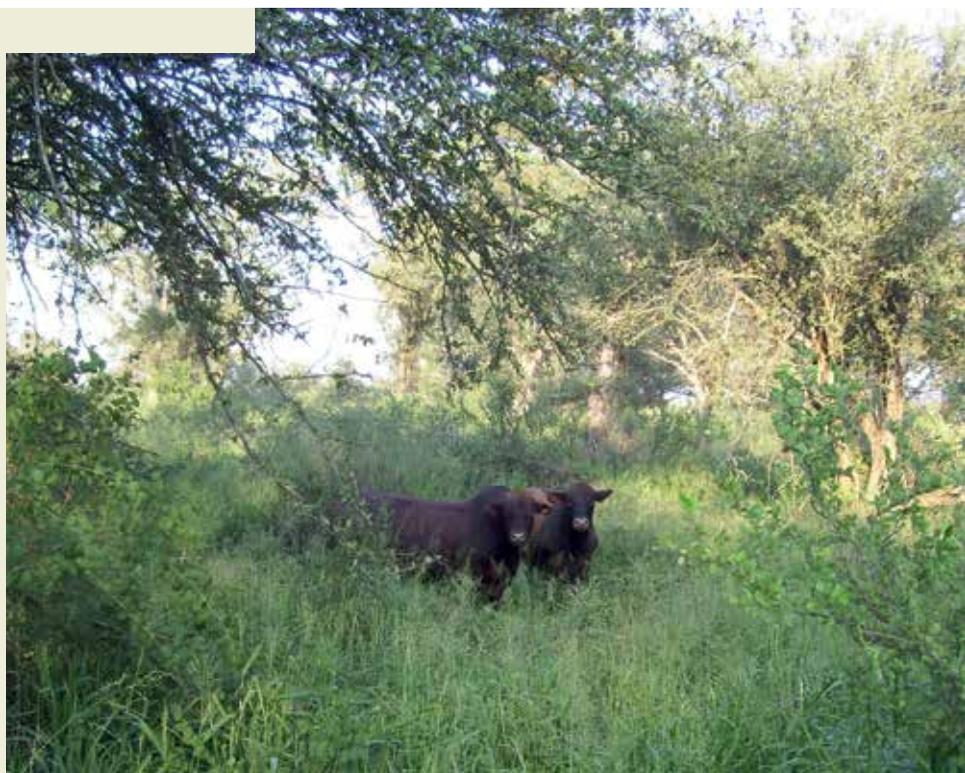
Para ello, es fundamental realizar recorridos que permitan recolectar información con la cual armar un balance forrajero y un inventario forestal. De este modo, se podrá realizar una planificación de las características del RBI que se realizará en el campo, donde se contemplará la intensidad, severidad y frecuencia.

“Para facilitar esta tarea, el INTA desarrolló una aplicación para dispositivos móviles llamada *SilvoINTA*, que

**EL MUNDO DEMANDA  
UN MAYOR EQUILIBRIO  
ENTRE EL DESARROLLO  
ECONÓMICO  
Y LA NATURALEZA**



**“LUEGO DE APLICAR EL RBI LA OFERTA DE FORRAJE PUEDE SUPERAR EL 200 POR CIENTO EN ESPECIES NATIVAS Y HASTA EL 500 POR CIENTO SI SE SIEMBRA GATTON PANIC O GREEN PANIC”.  
(CARLOS KUNST)**



permite registrar datos forestales y consultar los resultados acumulados en forma inmediata desde el lugar del relevamiento”, aseguró Marcelo Navall (*Ver recuadro*).

¿Se debe remover toda la vegetación leñosa? Según los técnicos, es un error considerarla como enemiga ya que ofrece numerosas ventajas tanto para la actividad ganadera como para el ambiente, en general.

Para Navall, erradicarla por completo implica un cambio “demasiado drástico” para el ecosistema ya que se remueve la principal fuente de materia orgánica, básica para el ciclado de nutrientes.

Es que tanto los arbustos como los árboles son una fuente permanente de materia orgánica y nutrientes, a partir de su hojarasca y ramas. Además, sus frutos y sus hojas son fuente de proteína que, al reverdecer antes, ofrecen alta calidad de alimento a la salida del invierno.

“El mantenimiento de la cobertura de árboles y arbustos y el aporte de hojarasca son fundamentales para mantener características del suelo compatibles con la producción de pasturas y carne”, señaló Ada Albanesi, responsable de la cátedra de Microbiología de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la UNSE.

Por tratarse de especies nativas, y no de malezas, en el sentido estricto del concepto agronómico, forman parte de un ecosistema, representan una parte del hábitat de la fauna y son un componente importante de la diversidad.

“Además, crean un ambiente amigable con los animales que pastorean, y reducen el estrés causado por las altas temperaturas y poca sombra”, explicó Albanesi.

#### **Rolar, en la justa medida**

De la densidad de las arbustivas presentes en el establecimiento dependerá el tipo de maquinaria o rolo que se usará en el RBI. Para esto, será importante contar con el asesoramiento profesional a fin de definir una planificación para regular su intensidad, severidad y frecuencia de aplicación a lo largo del tiempo.

Al igual que con la agricultura de precisión, este concepto tecnológico permite aplicar prescripciones realistas y ser más eficientes en el uso de los insumos, incrementando la sustentabilidad y probar que los productos carne, madera y conservación de manera provienen de un enfoque sustentable.

En este sentido, Navall puntualizó que “aquellas especies de arbustos que más obstaculizan el tránsito y la entrada de luz, no representan una resistencia al avance de un tractor articulado porque no poseen tallos gruesos ni muy duros”, y recomendó utilizar un rolo del ancho del tractor por ser más ágil para maniobrar y dejar los distintos tamaños de árboles y los arbustos grandes.

El rolo es un cilindro de metal hueco –lleno de agua– de entre 1 y 1,2 metros de diámetro y un ancho variable de entre 2,5 y 4 metros, con cuchillas soldadas en su periferia, que gira acostado sobre el suelo al ser traccionado por tractores y topadoras.

Este equipo –de bajo costo y fácil fabricación– aplasta los individuos leñosos, los desraíza parcialmente, corta las ramas hasta cierto diámetro, remueve el suelo y, tal como una sembradora, facilita la siembra de especies forrajeras.

Para Kunst, lo más acertado para aplicar el RBI es utilizar rolos chicos y tractores articulados. Así, la intensidad y severidad de la perturbación van a ser medias, los efectos positivos van a ser altos y los negativos mínimos.

Otro punto destacado por el especialista es la capacitación del tractorista:



**EL RBI ES UNA PROPUESTA TECNOLÓGICA DEL INTA QUE, MEDIANTE EL CORTE DE LEÑOSAS ARBUSTIVAS, SE POTENCIA LA ACTIVIDAD GANADERA Y FORESTAL.**

“Al estar acostumbrados a trabajar en agricultura, suelen rolar en franjas ordenadas, eliminando todo lo que este a su paso”. Para evitar esto, resulta fundamental explicarles claramente el objetivo del trabajo y la necesidad de conservar la mayor cantidad de individuos arbóreos.

Para ser más eficientes, los especialistas recomiendan rolar y sembrar al mismo tiempo. Como no hay una fecha exacta de siembra, lo más aconsejable es rolar previo a un evento de lluvia para aprovechar la humedad del suelo en la germinación. Asimismo, destacan la importancia de evitar hacerlo a fines del invierno y principios de primavera, debido a incidencia de la temperatura.

Luego de realizado el RBI, es importante esperar una estación de crecimiento para empezar con el pastoreo, que debe ser de moderado a bajo en intensidad durante el primer año, para favorecer la implantación de la pastura.

#### **Los residuos, parte de la planificación**

“El rolado no mata las leñosas sino que, las poda”, aclaró Kunst y detalló: “Rompe la dominancia apical y

## **SILVOINTA: POR UN MANEJO FORESTAL INTELIGENTE**

Con el objetivo de facilitar el trabajo de los silvicultores en la toma de decisiones sobre la corta de bosques nativos tratados con RBI, técnicos del INTA crearon una aplicación para dispositivos móviles que permite registrar datos forestales y consultar los resultados acumulados en forma inmediata desde el lugar del relevamiento.

Se trata de una aplicación gratuita que permite, en una única recorrida del lote, censar la totalidad de individuos, registrar los seleccionados para cortar, realizar cálculos útiles para controlar la intensidad de corta y mostrar al instante los resultados para orientar futuras decisiones.

Tradicionalmente, estas actividades necesitaban un muestreo en el bosque, la carga y el procesamiento de datos en la oficina, y un censo de marcación que requería volver al campo. Esto hacía muy largo el proceso y le confería mayor rango de error.

Lo innovador de la aplicación es que no busca reemplazar el criterio técnico del silvicultor en su recorrida del bosque, sino que lo asiste brindándole en un momento oportuno, información sobre sus decisiones anteriores.

**PARA UN ROLADO  
EXITOSO, SE DEBE  
PLANIFICAR SU  
INTENSIDAD, SEVERIDAD  
Y FRECUENCIA A LARGO  
PLAZO**

**EL RBI ES UNA PRÁCTICA  
CONSERVACIONISTA  
PORQUE LOS RESIDUOS  
SE INTEGRAN AL SISTEMA  
Y CONTRIBUYEN CON  
NUTRIENTES AL SUELO.**



promueve un rejuvenecimiento de las plantas". Es que el RBI tiene el propósito explícito de mantener viable la población de especies leñosas de interés para su aprovechamiento ganadero y forestal.

Por tal motivo, es considerado como una práctica conservacionista porque los residuos no son eliminados del sistema, sino que contribuyen con nutrientes que colaboran con el reservorio de materia orgánica del suelo y aportan para el crecimiento del estrato herbáceo.

Los residuos de un RBI son de tamaño chico en general y pueden estimarse ramas y ramitas hasta un máximo de 5 cm de diámetro. Estos se degradan, en su mayoría, durante el primer año posterior a la aplicación.

#### **Con impacto en las políticas públicas**

Las actividades de investigación que llevaron a desarrollar el RBI comenzaron en 1996 y han sido observadas con sumo interés por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, por su impacto en el manejo de bosques nativos.

Los conceptos asociados al manejo de sistemas silvopastoriles mediante RBI desarrollados por INTA, fueron una de las bases del convenio que el Ministerio de Ambiente firmó con el actual Ministerio de Agroindustria, denominado: Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI).

Fue suscrito por los gobiernos de las cuatro provincias argentinas con mayor superficie de bosques: San-

tiago del Estero, Chaco, Salta y Formosa. Asimismo, las dos primeras incorporaron los conceptos del RBI a sus recomendaciones de manejo de los bosques de su jurisdicción, como resultado de casi 20 años de transferencia y capacitaciones realizadas mediante el INTA.

#### **Más información:**

*Hugo Fassola*  
fassola.hugo@inta.gob.ar  
*Sandra Bravo*  
sjbravo@unse.edu.ar  
*Carlos Kunst*  
kunst.carlos@inta.gob.ar  
*Marcelo Navall*  
navall.marcelo@inta.gob.ar  
*Roxana Ledesma*  
ledesma.roxana@inta.gob.ar  
*Ada Albanesi*  
albanesi@unse.edu.ar

## LEGUMBRES

# Semillas conservadas para un futuro sostenible

Destacadas por su gran aporte nutritivo, estos cultivos resultan esenciales para la seguridad alimentaria en un mundo cada vez más demandante de alimentos. El INTA preserva e investiga en el Banco de Germoplasma del NOA cerca de 700 entradas de porotos primitivos y silvestres.

Por Laura Pérez Casar

Mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de quienes habitan este mundo cada vez más poblado, es una prioridad para los 42 países miembro de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). En este contexto, las legumbres se destacan por tratarse de un alimento primitivo y muy nutritivo. Así lo entienden los especialistas del INTA que conservan hace 30 años cerca de 700 entradas de porotos silvestres y primitivos en el Banco de Germoplasma del noroeste argentino (NOA).

“Preservar las poblaciones nativas de poroto primitivo y formas silvestres beneficia el sistema agroalimentario actual y futuro”, aseguró María del Carmen Menéndez Sevillano, profesional asociada del Banco de Germoplasma del NOA del INTA Salta (BANOA).

Es que conservar el germoplasma de las poblaciones silvestres y primitivas contribuye a la conservación de la agrobiodiversidad. Sal-

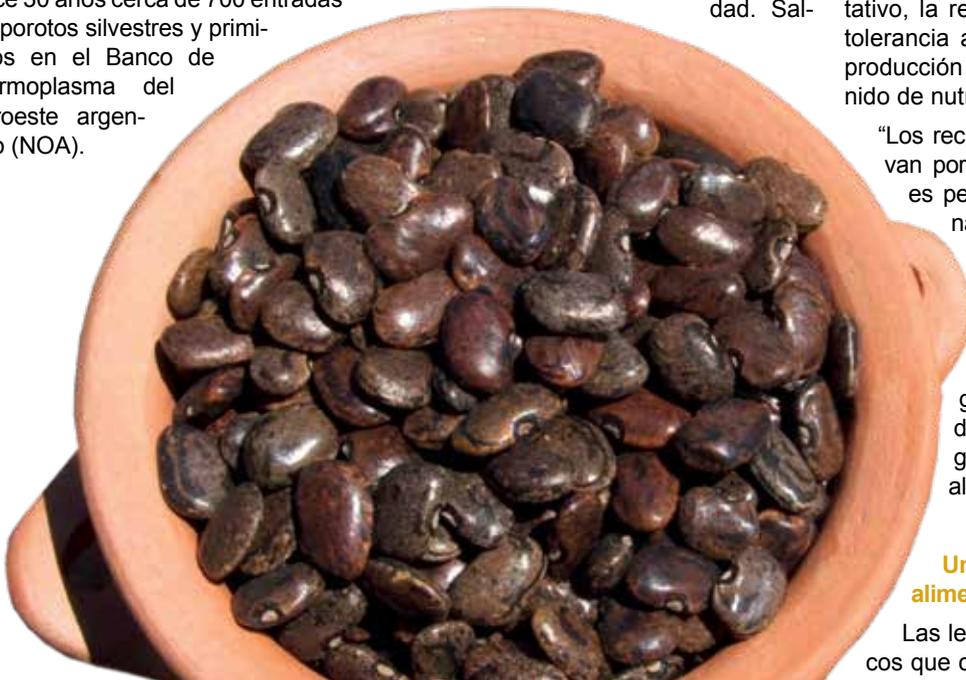
vaguardar las poblaciones primitivas y silvestres que se encuentran en riesgo de extinción, habilita su disponibilidad para el mejoramiento genético y potencia su investigación.

Este germoplasma, constituye una fuente de variabilidad en la que pueden encontrarse caracteres de importancia para su mejoramiento genético. Entre las variables de interés se destacan la duración del periodo vegetativo, la respuesta al fotoperiodo, la tolerancia a factores limitantes de la producción y diferencias en el contenido de nutrientes.

“Los recursos genéticos se conservan porque el riesgo de perderlos es permanente”, aseguró Mariana Ferreyra –curadora del BANOA– y, en esta línea, explicó: “En el NOA, la restricción progresiva del hábitat de los porotos silvestres a zonas marginales y el avance de la deforestación y el pastoreo, generaron la desaparición de algunas de las poblaciones”.

## Un aporte a la seguridad alimentaria

Las legumbres son cultivos básicos que conforman la dieta humana



**DESDE HACE 30 AÑOS,  
EL BANCO ACTIVO DE  
GERMOPLASMA DEL NOA  
PRESERVA CERCA DE 700  
ENTRADAS DE POROTOS  
PRIMITIVOS Y SILVESTRES.**



desde hace milenios y hoy su rol se pondera por considerarlas trascendentales para la seguridad alimentaria y para combatir la malnutrición, reducir la pobreza, mejorar la salud humana y acrecentar la sostenibilidad agrícola.

A pesar de tratarse de una fuente valiosa de fibra dietética, proteínas, vitaminas B y minerales, de acuerdo con un informe de la FAO, el consumo de

legumbres presenta una disminución lenta, pero constante, tanto en los países desarrollados como en desarrollo con una ingesta promedio mundial *per cápita* de alrededor 7 kilos por año.

Esto se debe a que a medida que los países se vuelven más ricos, la población pasa de las proteínas vegetales a fuentes de proteínas más caras, como los productos lácteos y la carne.

**Ser parte de una Red**

El INTA tiene implementado una Red de Bancos de Germoplasma (RBG) constituida actualmente por nueve Bancos Activos de Recursos Fitogenéticos y 11 colecciones distribuidos en diversas áreas ecológicas. Además, existe un Banco Base en el Instituto de Recursos Biológicos –del Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN) en Castelar– que mantiene un duplicado de las colecciones de los Bancos Activos.

Los objetivos de la Red son contribuir a la conservación de especies cultivadas y sus congéneres silvestres, a la caracterización y evaluación morfológica, genética, agronómica, bioquímica y molecular así como la documentación a fin de lograr que la diversidad genética se encuentre disponible para la investigación y el mejoramiento genético.

“Las actividades desarrolladas por la Red contribuyen a detectar la variabilidad existente en el germoplasma conservado”, explicó Ferreyra quien, puntualizó en que su valoración permitió, en algunos casos, obtener nuevos materiales adaptados a las condiciones ambientales específicas de nuestro país. Una manera más de contribuir a la seguridad alimentaria de la población.

De acuerdo con la información disponible, la Red conserva casi el 95 por ciento del germoplasma disponible en instituciones oficiales en el

**LAS LEGUMBRES, EN LA AGENDA MUNDIAL**

En el Año Internacional de las Legumbres IYP2016, la FAO propone sensibilizar a la opinión pública sobre las ventajas nutricionales de este cultivo como parte de una producción de alimentos sostenible encaminada a lograr la seguridad alimentaria y la nutrición.

De acuerdo con el director general de la FAO, José Graziano da Silva, “el Año Internacional de las Legumbres concientizará a la población sobre cultivos importantes que son esenciales para la agricultura sostenible y la nutrición”.

Se trata de una oportunidad única de fomentar conexiones a lo largo de toda la cadena alimentaria para aprovechar mejor las proteínas derivadas de las legumbres, incrementar su producción mundial, utilizar de manera más apropiada la rotación de cultivos y hacer frente a los retos que existen en el comercio.




---

**PRESERVAR POBLACIONES  
NATIVAS DE POROTO  
BENEFICIA EL SISTEMA  
AGROALIMENTARIO ACTUAL  
Y FUTURO.**

---

país. Cada Banco Activo de la Red se ubica en una determinada Estación Experimental del INTA con diversos cultivos a su cargo.

El Banco activo de germoplasma del Noroeste Argentino (BANOA) integra la Red de Conservación de Recursos Genéticos del INTA (REDGEN) y, dentro de ella, forma parte de la Red de Bancos y Colecciones de Germoplasma de INTA (RBG).

Cuenta con una importante colección de cerca de 700 poblaciones de porotos silvestres (*Phaseolus vulgaris* var. *aborigineus*.) y primitivos (*Phaseolus vulgaris* L.). Además, conserva entradas de quinoa (*Chenopodium quinoa*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), tabaco (*Nicotiana tabacum*) y diversas aromáticas nativas.

Así es que desde Jujuy hasta Tierra del Fuego e incluso en la Antártida, el INTA conserva ex situ más de 35.000 entradas de material genético de diferentes especies vegetales y permite rescatar cultivos originarios.

“La Red de Bancos de Germoplasma (RBG) contribuyen a la conservación de la agrobiodiversidad y a la valoración de los recursos genéticos

conservados con su caracterización y evaluación morfológica, genética, bioquímica y molecular”, subrayaron las especialistas.

Y agregaron: “No menos importante es la documentación que permite que la diversidad genética se encuentre disponible para la investigación, la reintroducción en las regiones de origen y el mejoramiento genético”.

**Expertos en conservación**

Desde hace 30 años se realiza una recolección sistemática de semillas del género *Phaseolus* –porotos– en provincias del noroeste argentino para su conservación. “Actualmente, esta valiosa colección reúne 730 entradas, de la forma silvestre y variedades locales”, detalló Ferreyra.

Al respecto, la curadora del BANOA subrayó: “La conservación de recursos fitogenéticos es de importancia actual y futura para la agricultura y la alimentación”.

A tal fin, en el Banco se realiza una serie muy variada de tareas que comprenden la colecta, introducción e intercambio, regeneración y multiplica-

---

**LAS LEGUMBRES SON  
TRASCENDENTES PARA  
LA SEGURIDAD  
ALIMENTARIA Y COMBATIR  
LA MALNUTRICIÓN, REDUCIR  
LA POBREZA, MEJORAR  
LA SALUD HUMANA  
Y ACRECENTAR LA  
SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA.**

---

## EL BANO TIENE, ADEMÁS, ENTRADAS DE QUÍNOA, TOMATE DE ÁRBOL, TABACO Y DIVERSAS AROMÁTICAS NATIVAS.

ción, caracterización, conservación y documentación.

Para las especialistas, la caracterización del germoplasma es “fundamental” para conocer lo que se conserva y las prioridades de conservación. Consiste en la descripción de la variación existente en una colección de germoplasma, mediante la determinación de características morfológicas, genéticas, agronómicas y moleculares.

En este sentido, “conocer las características del germoplasma conservado favorece su utilización actual o futura en programas de mejoramiento”, explicó Ferreyra.

Toda la información obtenida a partir de las colecciones y durante la caracterización y regeneración es incorporada a en una base de datos denominada DBGERMO, desarrollada por el INTA.

Esto permite que la información de las poblaciones conservadas –lugar de origen, donante, características particulares y *stock* de semillas– esté disponible para la investigación, mejoramiento genético, intercambio y reinserción de variedades locales para la

recuperación de este germoplasma, en campos de agricultores.

Puntualmente, la colección de *Phaseolus* se conserva a mediano plazo en cámaras modulares a temperaturas de entre 0 y 5°C. Las semillas son secadas previamente hasta llegar a una humedad de entre el 5 y 7 por ciento y se realizan monitoreos periódicos que aseguren las condiciones óptimas de sanidad y el alto poder germinativo.

A su vez, se realiza la conservación *in situ* de las variedades autóctonas y su mejoramiento participativo en fincas lo que contribuye a mantener la agrobiodiversidad y valorar la identidad cultural de los pueblos originarios.

Asimismo, se realiza la identificación de poblaciones silvestres en su hábitat natural, se evalúa la variabilidad genética presente en las mismas y las amenazas con el objeto de fijar estrategias para el mantenimiento de las poblaciones en peligro.

### Poroto, tan pequeño como ancestral

Esta leguminosa se introdujo al cultivo hace más de 5 mil años a.C. de acuerdo con los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica. Desde ese entonces, el hombre siempre tuvo un marcado interés por el cultivo lo que generó un gran número de variedades con diferentes formas y colores.

En referencia a la evolución del cultivo, Ferreyra explicó que la selección de las variedades estuvo dada con fi-

nes tanto alimenticios como estéticos y ornamentales. Esto dio como resultado cultivares mezcla con una amplia variación en el color y en los patrones de manchas de la semilla.

En la actualidad, este cultivo –de origen americano y distribuido por todo el mundo– se ubica entre las principales legumbres para consumo humano. Por su alto contenido proteico y aporte en carbohidratos, vitaminas y minerales, el poroto es un componente esencial de la dieta en países de América Central y Sudamérica.

En los valles altos del NOA, donde se practica una agricultura tradicional, aún se cultiva en las huertas familiares un gran número de variedades primitivas y cuyas semillas fueron parte de la dieta de los pueblos originarios de la zona.

#### Más información:

María del Carmen Menéndez Sevillano  
mcmendezsevillano@gmail.com  
Mariana Ferreyra  
Ferreyra.mariana@inta.gob.ar

## LOS POROTOS SE UBICAN ENTRE LAS PRINCIPALES LEGUMBRES PARA CONSUMO HUMANO EN EL MUNDO.



## POLÍTICA AMBIENTAL NACIONAL

# “Debemos profundizar el vínculo con organismos de ciencia y tecnología”



El Secretario de Política Ambiental de la Nación, Diego Moreno, reconoce que a este desafío se suma generar una agenda ambiental compartida y articulada con ministerios.

Por Mario Migliorati

*“Siempre lo ambiental se planteó como antagónico al sector productivo, un poco por su origen o por cómo se instalaron muchos de los temas en Argentina y en el mundo”.*

La jerarquización de la política ambiental nacional, a partir de la creación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sustentable de la Nación –diciembre de 2015-, fue un paso que el gobierno nacional impulsó para profundizar la agenda ambiental o “agenda verde”. Al plantear lo ambiental como política de Estado, las autoridades establecieron que el lugar del organismo no será el de “mediador”, sino que tendrá la función de dirimir los conflictos con el “único criterio que es el bien común” y

hacer respetar los “acuerdos internacionales y las leyes nacionales”.

La función de coordinar las políticas del gobierno nacional que tengan impacto en el medio ambiente y cambio climático, a partir de establecer la planificación estratégica de políticas y programas ambientales nacionales, es la tarea que asume Diego Moreno (43), el flamante Secretario de Política



## “TENEMOS QUE COMENZAR A BUSCAR UN DIÁLOGO Y UNA CONVIVENCIA EN ESTOS TEMAS AMBIENTALES”.

Ambiental, Cambio Climático y Desarrollo Sustentable de la Nación.

De profesión biólogo y con 20 años de trabajo en la Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA), el capítulo local del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, según sus siglas en inglés)-, y desde 2008 su director, señala que por delante tiene la tarea de “articular la gestión ambiental con los organismos responsables de ejecutar la política nacional”.

Sus expectativas y las de su equipo son las de “contribuir a que el tema ambiental ocupe una posición más relevante en la agenda política”. Opina que las organizaciones ambientales “nos van a medir por los logros que alcancemos”.

**¿De qué manera el gobierno piensa en recuperar las opiniones de los distintos sectores sociales y sumarlas en la búsqueda de consensos para la gestión de políticas ambientales?**

Lo primero que buscamos es que el tema ambiental empiece a dialogar de igual a igual con otros sectores que han sido siempre relevantes en la agenda pública. Siempre lo ambiental se planteó como antagónico al sector productivo, un poco por su origen o por como se instalaron muchos de

los temas en Argentina y en el mundo. Esto fue a partir de conflictos, reclamos, campañas y de acciones desde la sociedad civil organizada y grupos ambientalistas que surgieron a partir de casos puntuales como, por ejemplo: los ambientalistas de la ciudad de Gualeguaychú –Entre Ríos-, por las plantas de pasta de celulosa en Uruguay.

**Un ejemplo de cómo el gobierno estableció en 2006 una política de Estado frente a las denominadas “pasteras” sobre el río Uruguay...**

El tema ambiental siempre ha ingresado desde este lado en la agenda ambiental gubernamental... Y en estos casos, siempre se generaron cruces y roces con el sector productivo. Al respecto, porque lo trabajé en la Fundación Vida Silvestre, es que tenemos que comenzar a buscar un diálogo y una convivencia en estos temas ambientales. Por eso es relevante que ambiente sea un ministerio. Le otorga otro peso frente a la agenda política. Por otro lado, **hay que empezar a salir de este antagonismo que se presenta entre producción y ambiente**. Cada vez más, a través de la tecnología y del consenso, vemos que **ambiente y producción pueden ir de la mano**. Hay soluciones técnicas que permiten, como en el caso de la ganadería, en experiencias desarrolladas por el INTA y organizaciones de la sociedad civil, mejorar la situación productiva y ambiental de los establecimientos ganaderos. Un ejemplo es la Cuenca del Salado. Y podemos enumerar ejemplos de este tipo, pero en verdad lo que aún nos falta es la articulación, el diálogo y lograr estos consensos.

**En más de una oportunidad mencionó esta necesidad de trabajar**

**junto a los organismos del Sistema de Ciencia y Tecnología argentino, como es el caso del INTA ¿Cuál es la propuesta y cómo piensa que pueden intervenir en esta tensión que se presenta entre ambiente y producción?**

Hay dos cuestiones que son clave. Si bien está la necesidad de articular y lograr consensos, sabemos que hay un conflicto de intereses detrás y que en algún punto aquí deben surgir instancias de negociación. Esos puntos de referencia básicos son inamovibles dentro de esta tensión: el primero, es **el tema del bien público o común**. Sumamente relevante y a nivel del Estado debemos trabajar para ello. Y el otro es **la ciencia, que aporta datos e información científica de referencia y sobre los cuales no hay discusión**. Desde aquí podemos plantear el diálogo para encontrar los consensos necesarios.

El vínculo con el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el INTI, el INTA y con otros organismos que trabajan del lado de la ciencia es fundamental. Muchas de las soluciones vienen desde este sector y debemos tomarlas para llevarlas a una política pública y extenderlas en el territorio.

**Según el presidente, cambio climático es una prioridad para el país. Si bien se avanza en el diagnóstico del tema y de la situación ambiental nacional, ¿qué políticas instrumentará el ministerio al respecto de este tema?**

La Argentina presentó a finales del año pasado en la Cumbre de París - COP21- el resultado de un ejercicio en el cual establece que para el año 2030 se compromete a reducir un 15 por ciento sus emisiones en función



**“No ESPERAMOS QUE NOS MARQUEN LA AGENDA DESDE AFUERA SINO TENER, INCLUSO EN LA REGIÓN, EL LIDERAZGO EN ESTE CAMINO”.**

de un escenario proyectado, y un 15 por ciento adicional condicionado a la existencia de financiamiento internacional.

La línea que desde presidencia –de la Nación– nos han marcado es que necesitamos trabajar en un escenario que sea más ambicioso. Sabemos que el Ministerio de Ambiente no es el que genera estas emisiones. Los sectores centrales son el energético y el agropecuario y, necesariamente, **debemos profundizar el vínculo con organismos de ciencia y tecnología y generar una agenda compartida y articularla con otros ministerios** para ver: de qué manera fijamos un escenario que sea realista y más ambicioso al que se presentó en París.

Estamos en la preparación de una convocatoria a un comité interministerial de cambio climático que se formalizará con una estructura a partir de un decreto presidencial. Será un espacio de articulación que tendrá instancias técnicas y del más alto nivel político. Esperamos que desde aquí se empiecen a lograr acuerdos necesarios para que las políticas se alineen, sin condicionar el crecimiento y los planes de cada sector y promoverlos de forma tal que sean compatibles con esta reducción de emisiones que proponemos.

**¿Cuál es la foto del ambiente que todos podremos ver en 10 a 15 años?**

Sabemos que el cambio climático, instalado en el mundo cada vez con más peso, comenzará a marcar la agenda ambiental. Frente a esto, podemos continuar con una postura cerrada y negar la evolución que sucede en el mundo o aprovechar esta oportunidad para la Argentina, que

tiene que hacer una fuerte inversión en el sector energético y contará con un sector agropecuario que se expandirá en los próximos años, al menos esa es la expectativa. La idea es ver de qué manera aprovechamos estas inversiones para orientarlas hacia un posicionamiento que queramos lograr a nivel mundial. **No esperamos que nos marquen la agenda desde afuera sino tener, incluso en la región, el liderazgo en este camino.**

**¿Cómo se alcanza ese pasaje entre un mayor crecimiento productivo pero ambientalmente sustentable?**

Con las provincias siempre hubo tensiones justamente por el dominio de los recursos naturales que nadie discute que son de las provincias, pero también nos encontramos con situaciones que son complejas. Necesitamos empezar a armonizar y dejar de trabajar el tema ambiental solo si

cuenta con recursos e instalar un debate donde se pueda llegar a consensos acerca de cuál tiene que ser la política ambiental, y podemos hacerlo desde el COFEMA –Consejo Federal del Medio Ambiente–.

**¿Están dadas las condiciones para sostener el financiamiento que le corresponde a la Ley de Servicios de Protección del Bosque Nativo?**

Hasta ahora siempre se destinó menos del 10 por ciento del fondo de Ley de Bosque de lo que estipula la norma. Queremos revertir esta situación pero el contexto no es sencillo. Contamos con iniciativas como la de Manejo de bosques con ganadería integrada –MBGI– o el Plan Belgrano –un plan de Infraestructura, un fondo de reparación histórica, y solución habitacional para en el norte del país–, junto al avance que presenta el sistema de ciencia y técnica en el desarrollo de



*“Debemos profundizar el vínculo con organismos de ciencia y tecnología”*

## MANEJO DE BOSQUES CON GANADERÍA INTEGRADA

Constituye una alternativa sustentable que posibilita compatibilizar: producción, conservación y la gente que vive en las zonas de bosque.

El Manejo de bosque con ganadería integrada –MBGI– es una tecnología de bajo impacto ambiental que se apoya en una visión integral del ambiente, equilibra la capacidad productiva del sistema, con su integridad y sus servicios, respeta el principio de mantener y mejorar el bienestar del productor y las comunidades asociadas.

El manejo “de bosques con ganadería integrada es un punto de inflexión y lo vemos como algo muy interesante para retomar, profundizar y potenciar”, señaló Moreno, al referirse a compartir soluciones, temas de interés y tecnologías concurrentes con la agenda ambiental.

El reconocimiento de la existencia del ganado en el bosque permite abordar su manejo. Esta visión integradora tiene como objetivo principal el manejo de bosque nativo y no la habilitación ganadera de superficies boscosas. Se trata de un sistema de producción compatible con la Ley 26.331 -de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos-, ya que permite la implantación de pasturas y ciertas prácticas con maquinarias autopropulsadas que agilizan el manejo, como el rolado selectivo de baja intensidad (RBI) con numerosas ventajas para las actividades ganaderas y forestales.

El convenio firmado por el MBGI entre el ex Ministerio de Agricultura –hoy Agroindustria- y la ex Secretaría de Ambiente –actualmente Ministerio-, con la participación del INTA, contribuye al uso sustentable de los bosques nativos de las provincias priorizadas: Chaco, Salta, Formosa y Santiago del Estero; con una herramienta de desarrollo frente al cambio de uso del suelo.

**“NECESITAMOS EMPEZAR A ARMONIZAR Y DEJAR DE TRABAJAR EL TEMA AMBIENTAL SOLO SI CUENTA CON RECURSOS”.**

esquemas de buenas prácticas para compatibilizar la producción ganadera y el manejo del bosque nativo.

Se nos presenta entonces una oportunidad de mostrar al financiamiento de la ley no como un subsidio a conservar el bosque, sino como una herramienta para poner en producción, con un esquema sustentable, miles de hectáreas boscosas a ser aprovechadas.

**¿En qué situación se encuentra la revisión de los ordenamientos territoriales de los bosques nativos y cuáles son los cambios que se podrían introducir?**

El problema lo teníamos en esas millones de hectáreas en áreas amarillas que quedaban fuera de los circuitos productivos, o en aquellas donde si bien no estaba prohibida la ganadería las prácticas con las que se usaban eran un desmonte encubierto. En este esquema, el MBGI lo que busca es encontrar un modelo para esas zonas, en particular en la región chaqueña.

**La intención del gobierno es impulsar una ley para proteger y regular el cuidado de los humedales. Al respecto, se propone reflotar el proyecto con media sanción del senado que había perdido estado parlamentario. ¿Cuáles son los principales aspectos que se destacan?**

Lo que necesitamos son tres cosas. Un inventario nacional de humedales, ya que hoy no se cuenta con información consolidada al respecto. Contamos con algunos abordajes parciales para algunas cuencas pero a nivel nacional carecemos de un buen mapeo y diagnóstico de cuál es el estado de los recursos acuáticos continentales. De hecho, se está discutiendo por estos días.

Otro aspecto hace a la **valorización y zonificación de los humedales, similar a lo que se hizo para la ley de bosques**. Es decir, identificar aquellos con muy alto valor de conservación que deben ser preservados, cuáles pueden estar destinados a un uso sustentable y cuáles son de menor valor y pueden ser convertidos en otros usos. Con los humedales se busca plantear una idea similar. Las provincias tendrán sobre una serie de criterios la posibilidad de hacer un or-

denamiento en función del inventario, donde podrán discutir con los actores locales la definición y la valorización de los humedales.

Y un tercer elemento está en definir cuáles son las prácticas compatibles con ese esquema de conservación de humedales que se plantea. En función de estos puntos hemos logrado una ley que sea equilibrada y que sea una herramienta de conservación de los ecosistemas y no limitar el desarrollo de las actividades que allí se generan.

### ¿Cómo van a trabajar en la gestión de la iniciativa estratégica Pampa Azul?

Es una iniciativa muy interesante y estratégica. La tendencia es pensar en que el territorio argentino termina en la línea de costa. Contamos sobre nuestra plataforma continental argentina con la corriente de Malvinas, muy rica en recursos que son relevantes, donde aparece la soberanía de modo subyacente y donde la agenda ambiental vinculada a lo marino, junto a cambio climático, van a ser los dos grandes temas de los próximos años.

### ¿Qué lugar tienen los organismos de ciencia y técnica en el éxito de las políticas ambientales?

En primer lugar quiero destacar que no hay muchos organismos como el INTA. Por su trayectoria, por los temas que aborda como institución, y por la presencia que tiene en todo el territorio nacional, es clave. Además, **tenemos un sistema de ciencia y técnica que genera información y aporta muchas de las soluciones para resolver los conflictos ambientales.** Aunque a veces esa información y ese conocimiento no terminan de llegar a las políticas públicas y, en muchos casos, al sector privado, es decir, a quienes definen lo que ocurre con nuestros recursos.

Desde nuestro punto de vista, es muy importante que el INTA se haya vinculado con los temas ambientales porque es un actor de referencia.

**Uno de los temas más controversiales en la agenda ambiental son las actividades mineras y extracti-**



### vas ¿Cuál es la posición que mantendrá sobre el tema el Ministerio?

La Argentina tiene en la Cordillera de los Andes una cantidad de recursos mineros muy importante y hasta ahora la minería ha tenido problemas que se han evidenciado en los reclamos sociales, a través de asambleas o grupos que están preocupados, conviven y ven una serie de riesgos asociados con la minería. El tema ambiental no ha sido manejado con suficiente transparencia.

Pensemos en que los mismos organismos que promueven la actividad minera a nivel nacional y de las provincias, son los mismos que definen los criterios ambientales con los que se evalúan y controlan los aspectos ambientales de la minería. Esto plantea mucha incertidumbre.

### ...Y cómo piensan trabajar para superar el antagonismo entre sí o no a la minería...

Uno de los grandes desafíos que tenemos frente a la minería que está y la que probablemente vendrá, es cambiar el marco en el que se desarrolla la actividad. Hemos tenido reuniones con el Ministerio de Energía y la Secretaría de Minería en particular, para comenzar a trabajar en cómo el Ministerio de Ambiente va a intervenir o articular en la definición de esos aspectos ambienta-

**“EL MBGI LO QUE BUSCA ES ENCONTRAR UN MODELO PARA ESAS ZONAS, EN PARTICULAR EN LA REGIÓN CHAQUEÑA”.**

les. Vamos a discutir buenas prácticas, monitoreo de la actividad, pero también otros temas más de base como el ordenamiento territorial: en qué áreas sí o en cuáles no se desarrollarán emprendimientos mineros.

Aquí un tema no menor es la participación ciudadana. Hay que salir del escenario que era de mucha conflictividad, donde el debate se centraba en minería sí o minería no; lo que queremos es empezar a discutir minería dónde y cómo. **Cambiar el antagonismo por una discusión sobre dónde y de qué manera vamos a comenzar a desarrollar minería, ya que es una actividad importante en muchas regiones del país.**

#### Más información:

Diego Moreno

<http://www.ambiente.gov.ar/>

## Pastillas

Más información en <http://ria.inta.gov.ar>

### Alergias alimentarias

Las alergias alimentarias afectan entre el 1 al 5 por ciento de la población entre los más de 7.000 millones de habitantes en el mundo, con un fuerte impacto social y económico. En Argentina como en la mayoría de los países es una problemática que se incrementa, según la Organización Mundial de Alergias.

Las alergias alimentarias “se presentan en cualquier momento y afectan de manera significativa la calidad de vida pero, además, responden a un mecanismo mediado por la calidad de lo ingerido antes que por la cantidad”, señaló Claudia González, del Instituto de Tecnología de Alimentos de INTA Castelar.

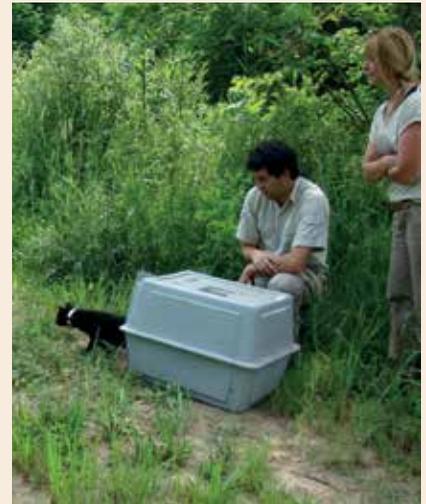
### Corazón artificial

Un equipo interdisciplinario de investigadores del hospital Garrahan, la Facultad de Ingeniería de la UBA, el INTA Castelar y la Fundación Pediátrica Argentina, presentaron el primer dispositivo de asistencia cardíaca mecánica nacional de larga duración. El corazón artificial servirá como puente para niños que se encuentran a la espera del trasplante cardíaco con urgencia.

Para Guillermo Berra, coordinador del grupo de Fisiología Animal del INTA Castelar –Buenos Aires–, “este desarrollo es indispensable para los trasplantes y pone al país en un sitio privilegiado en la innovación y tecnología”. El corazón artificial es un puente al trasplante cardíaco en la infancia en el período de espera.

### Gato montés

Investigadores de distintas instituciones estudian la interacción del gato montés (*Leopardus geoffroyi*) con las plantaciones forestales de salicáceas del Bajo Delta del Paraná para implementar refugios y corredores biológicos que lo preserven. Con ese objetivo, por primera vez, se rastrea satelitalmente a 10 animales equipados con radiocollares GPS que ya brindaron más de 800 registros para conocer el uso del hábitat y sus patrones de movimiento. El gato montés argentino está protegido legalmente desde que en los años '80 su población fue casi diezmada con más de 500 mil pieles exportadas para satisfacer la demanda de la industria peletera.



### Kit bovino

Desarrollado por investigadores del Instituto de Virología de INTA, permite evaluar la infección o el estado de exposición de bovinos frente a la enfermedad parasitaria. Estudios epidemiológicos realizados desde el INTA Balcarce en rodeos de leche, donde esta enfermedad parasitaria tiene alta incidencia, indican que el parásito afecta a bovinos de las provincias de Santa Fe y Córdoba en un 15 y 27 por ciento, respectivamente. En este contexto resulta de suma importancia contar con los recursos que permitan diagnosticar eficientemente la presencia y circulación del parásito dentro del rodeo, para poder minimizar el riesgo de transmisión congénita.

### Bienestar animal

Investigadores del INTA identificaron el origen de los problemas asociados al bienestar animal en frigoríficos, que genera pérdidas económicas y en la calidad del producto obtenido. El trabajo fue reconocido con el Premio de la Fundación ArgenINTA. El bienestar animal en la cadena productiva pecuaria es un tema que cada día toma mayor relevancia en el sector productivo y científico; por ello los investigadores del INTA se enfocaron en las plantas de faena nacionales que necesitan adoptarlo a su política empresarial, a partir de evaluar las condiciones a las que se somete a los animales de producción y proponer medidas para la mejora continua.



# Relación entre eficiencia de uso del nitrógeno y calidad industrial en variedades argentinas de Trigo Pan (*Triticum Aestivum* L.) con distinta composición de gluten

LERNER, S.E.; ARATA, A.F.<sup>1</sup>; ARRIGONI, A.C.<sup>1</sup>

## RESUMEN

El uso eficiente del nitrógeno en los cultivos permite minimizar los riesgos ambientales y maximizar los ingresos de los productores. Esto se puede lograr ajustando el manejo de la fertilización y utilizando la variabilidad genética existente. Además de su efecto sobre el rendimiento, el N ejerce un importante efecto sobre la calidad de los granos de trigo. Esto último también es influenciado por la composición proteica del gluten y el ambiente. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre la eficiencia de captura de N y su partición entre grano y rastrojo con atributos de calidad industrial en variedades argentinas de trigo pan de distinto ciclo y con diferente composición alélica de gliadinas y gluteninas. Los ensayos se realizaron durante la campaña 2011/12 en Azul, Buenos Aires (Argentina) incluyendo 27 variedades argentinas de trigo pan de distinto ciclo. Los tratamientos fueron testigo (T) y fertilizado (F) con aplicación repartida de urea para alcanzar 210 kg N/ha. Se determinaron rendimiento y sus componentes, se calcularon parámetros de eficiencia de uso de N y se realizaron mediciones de parámetros alveográficos, volumen de sedimentación, contenido de proteínas y de gluten húmedo en grano y contenido de N en rastrojo. El patrón proteico de cada variedad se identificó mediante geles de poliacrilamida. El genotipo resultó la principal fuente de variación para las eficiencias de recuperación de N total, en grano y en rastrojo. El índice de cosecha de N disminuyó de 0,81 en los tratamientos testigo a 0,73 en los fertilizados en promedio, existiendo interacción variedad\*tratamiento. El contenido de proteínas en los granos y la extensibilidad de las masas fueron altamente dependientes del nivel de N en tanto que la fuerza panadera lo fue del genotipo. La capacidad de particionar N a grano explicó la relación existente entre extensibilidad y eficiencia de recuperación de N. La valoración de alelos de gluteninas de alto peso molecular no coincidió estrictamente con el Grupo de Calidad de la variedad evidenciando la influencia de otras fracciones proteicas y su interacción con el ambiente. La expresión del potencial genético atribuido a la composición alélica del gluten podría estar regulada en parte por atributos de eficiencia de uso de N.

**Palabras clave:** recuperación de nitrógeno, calidad de uso final, gluteninas, gliadinas.

## ABSTRACT

*The efficient use of nitrogen in crops can minimize environmental risks and maximize returns to farmers. This can be achieved by adjusting the fertilization management and/or using the genetic variability. In addition to*

<sup>1</sup>Departamento de Producción Vegetal, Cereales y Oleaginosas, Laboratorio de Valoración de Calidad Industrial de Trigo, Facultad de Agronomía, UNCPBA. Rep. de Italia 780, 7300, Azul, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: arataa@faa.unicen.edu.ar

its effect on yield, N has a significant effect on the quality of wheat grains. The latter is also influenced by the gluten protein composition and the environment. The aim of this work was to study the relationship between N recovery efficiency and its partitioning between grain and stover with industrial quality attributes in Argentinean bread wheat varieties of different cycle and with different allelic composition of gliadins and glutenins. In the current work, field trials of 27 Argentinean bread wheat varieties of different cycle were carried out during 2011/12 season, in Azul, Province of Buenos Aires, Argentina. The fertilizer treatments were: control treatment (T) and fertilized treatment (F) with split application of urea at variable rates to reach 210 kg N/ha. The following characteristics were determined: grain yield and its components, parameters of N use efficiency, alveographic parameters, sedimentation volume, protein content, wet gluten content and N stover content. The protein pattern of each variety was identified by polyacrylamide gels. The genotype was the main source of variation for total recovery efficiency, grain recovery efficiency and stover recovery efficiency. The N harvest index decreased from 0.81 in control to 0.73 in fertilized treatments on average, and variety\*treatment interaction was significant. The protein content in grains and the dough extensibility were highly dependent on the level of N while the baking strength it was of the genotype. The ability to partition N to grain explained the relationship between the extensibility and the N recovery efficiency. The assessment of high molecular weight glutenin alleles was not strictly coincided with Quality Group of the variety showing the influence of other protein fractions and their interaction with the environment. The expression of the genetic potential attributed to the allelic composition of gluten may be regulated in part by N use efficiency attributes.

**Keywords:** nitrogen recovery, end use quality, glutenins, gliadins.

## INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los principales insumos en el cultivo de cereales y se ha convertido en un importante factor de contaminación agrícola por medio de la lixiviación y la escorrentía de fertilizantes. Por lo tanto, un uso más eficiente del N en la producción representa un reto actual para la investigación agronómica, y especialmente para los programas de mejoramiento de plantas, con el objetivo de minimizar los riesgos ambientales y maximizar los ingresos de los productores (Muurinen *et al.*, 2006).

La respuesta a la fertilización en distintas situaciones de producción es notablemente afectada por diferencias genéticas en cuanto a rendimiento potencial y capacidad de absorción y retranslocación del N a órganos cosechables (Van Sanford y MacKown, 1987). La longitud del ciclo de la variedad es otro factor de variación importante (Rostami y O'Brien, 1996). El genotipo y el nivel de N afectan la eficiencia de uso del nutriente en términos de rendimiento y del N capturado por el cultivo (Barracough *et al.*, 2010), así como sobre la eficiencia de recuperación en grano del fertilizante aplicado (Guarda *et al.*, 2004).

Hay dos formas de incrementar la eficiencia de uso de N (EUN) en los cultivos de trigo, ajustando el manejo de la fertilización o logrando mejores variedades. La eficiencia de fertilización se puede incrementar con labores y rotaciones de cultivos que inciden sobre el nivel de N del suelo y aplicaciones de fertilizante ajustadas a la demanda del cultivo, teniendo en cuenta el rendimiento alcanzable y el clima. La otra manera de mejorar la EUN es desarrollar variedades capaces de recuperar más N de los suelos y los fertilizantes y utilizarlo para generar más grano (Barracough

*et al.*, 2010). Cabe aclarar que el N capturado no translocado a los granos vuelve al sistema por el proceso de mineralización, quedando disponible en mayor o menor grado para el cultivo siguiente. Si bien esto último no genera un resultado productivo directo, contribuye a mejorar la sustentabilidad.

Además de su efecto sobre el rendimiento, el N capturado y translocado a los granos ejerce un importante efecto sobre la cantidad de proteínas en los granos y otros parámetros de calidad. El contenido de proteínas en grano, asociado fuertemente con el contenido de gluten, es parcialmente determinante de la calidad industrial (Labuschagne *et al.*, 2006; Alzueta *et al.* 2008; Pinilla Quezada *et al.*, 2008). Por su parte, las clases de proteínas que forman gluten (gliadinas y gluteninas) son características de cada variedad y confieren propiedades específicas relacionadas con su uso final.

Se han encontrado efectos del N sobre los parámetros reológicos de la masa, como los obtenidos con el Alvégrafo de Chopin: fuerza panadera (W), tenacidad (P) y extensibilidad de la masa (L) (Alzueta *et al.*, 2008; Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010, 2012). La extensibilidad de las masas (L) es el parámetro alveográfico más influenciado por la disponibilidad de N (Park *et al.*, 2006), por lo que genotipos estables en eficiencia de recuperación de N en grano y eficiencia agronómica presentan menor variación en los valores de dicho parámetro aún entre años con diferente distribución de precipitaciones (Lerner *et al.*, 2013). Sin embargo, poco se conoce sobre la relación de la calidad industrial de las harinas y los determinantes de la recuperación de N en grano: captura y partición.

Genes localizados en cromosomas de los grupos 1 al 6 controlan la codificación de las proteínas del gluten. Los

loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* codifican subunidades de gluteninas de alto peso molecular (GAPM). Payne *et al.* (1987) observaron que las subunidades de GAPM estaban directamente asociadas con la fuerza del gluten y analizando numerosas variedades de trigo pan establecieron un índice llamado "Score *Glu-1*", asignándole un valor de calidad a cada variedad, desde 3 hasta 10, según la composición de subunidades de estas proteínas. Para la construcción de dicha clasificación se utilizó el test de sedimentación (SDSS) (Axford, 1979) que estima la fuerza del gluten, muy importante para determinar el uso final de las harinas (Peña, 2002; Cornish *et al.*, 2006).

Las gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) son controladas por genes de los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, ubicados en los brazos cortos de los cromosomas 1AS, 1BS y 1DS, cerca de los genes que codifican ciertas gliadinas ( $\gamma$ - y  $\omega$ -gliadinas), por lo que en parte, se heredan en forma conjunta (Metakovsky *et al.*, 1990). En principio, se diferencian dos amplios grupos de gliadinas, las semejantes a la variedad Chinese Spring (CSS) y las semejantes a la variedad Cheyenne (CNN). Este último confiere mejores propiedades reológicas a las harinas.

Por otro lado, la sustitución del brazo corto del cromosoma 1B del trigo por el brazo corto del cromosoma 1R del centeno (translocación 1B/1R) tiene un impacto negativo en la calidad panadera del trigo debido a la pérdida de un grupo de GBPM y gliadinas ( $\omega$ -gliadinas), que es reemplazado por secalinas (Martín y Carrillo, 1999). Esto último ha

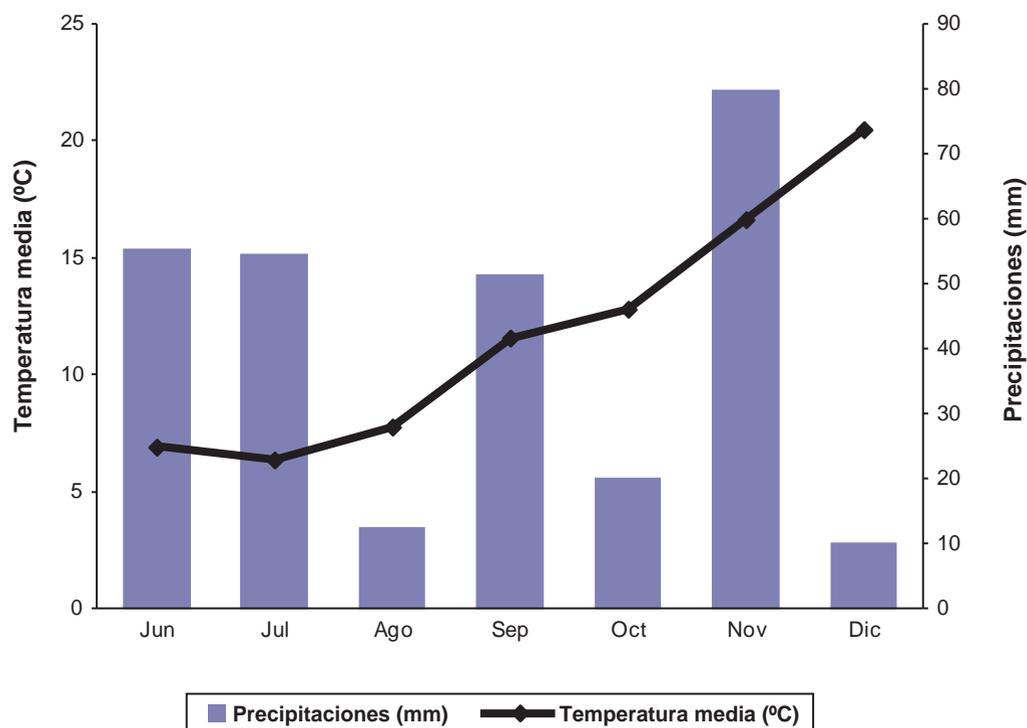
sido corregido en el mencionado Score. Otro factor que puede afectar la relación entre los diferentes grupos proteicos es la presencia de sobreexpresión de la subunidad Bx7 (GAPM), que solo se asocia a la subunidad 8 (Marchylo *et al.*, 1992) y que mejora la calidad.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre la eficiencia de captura de N y su partición entre grano y rastrojo con atributos de calidad industrial en variedades argentinas de trigo pan de distinto ciclo y con diferente composición alélica de gliadinas y gluteninas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimentos a campo

Los ensayos se llevaron a cabo durante la campaña 2011/12 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires (36° 49' 53" latitud Sur, 59° 53' 23" longitud Oeste). Se incluyeron 27 variedades argentinas de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) de ciclo largo (CL): ACA 201 y 304, BIOINTA 2005, Buck Baqueano, Malevo, 55 CL2, SY 100 y SY 200, Klein Carpincho, Gladiador y Yará, Relmó INIA Torcaza; y de ciclo corto (CC): ACA 801, BIOINTA 1003, Buck AGP Fast, Meteoro y SY 300, Don Mario Atlax y Arex, Klein León, Nutria, Proteo y Rayo, Santa Rosa BAT 102, 111 y 112 (experimentales), Sursem SRM 2331. Las fechas de siembra fueron 5 de Julio y 8 de agosto de 2011 y las densidades obje-



**Figura 1.** Temperaturas medias (°C) y precipitaciones (mm) durante el ciclo del cultivo (Centro Regional de Agrometeorología FA-UNCPBA, 2011).

Elaborada para la presente edición.

tivo 400 y 450 plantas/m<sup>2</sup> para los primeros y los segundos respectivamente. Se trabajó con dos niveles de nitrógeno (N): testigo (T), que correspondió a fertilización de base en emergencia con una dosis de urea equivalente a 50 kg/ha de fosfato diamónico (9 kg N/ha) y fertilizado (F), con aplicación repartida de urea, 40% a la emergencia y 60% a fin de macollaje, en dosis variable de acuerdo al análisis del suelo a la siembra, para lograr 210 kg/ha de N totales (210 kg N/ha - N del suelo) que corresponden a los requerimientos de N para un rendimiento objetivo de 7 t/ha. Se aplicó superfosfato triple en presiembra para asegurar no-deficiencia de fósforo y se controlaron plagas, enfermedades y malezas cuando correspondió.

### Régimen de precipitaciones y temperatura

En la fig. 1 se presenta el registro de lluvias y temperaturas medias mensuales para la campaña analizada (Centro Regional de Agrometeorología FA-UNCPBA, 2011). Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones acumuladas fueron de 229,3 mm para los ciclos largos y de 174,6 mm para los ciclos cortos. Cabe destacar que en el mes de noviembre se concentró un total de 79,9 mm.

### Mediciones y cálculos en el cultivo

A cosecha, sobre una subparcela de 1 m<sup>2</sup> se determinaron materia seca total (MST), rendimiento en grano (RGR), materia seca de rastrojo (MSR), peso de granos (P1000), se calcularon número de granos (NG), índice de cosecha (IC) y número de espigas (Nesp), se midieron porcentaje de proteínas en grano (%Pro) (NIR) y porcentaje de N en rastrojo (%NR) (Micro-Kjeldahl) y se calcularon N absorbido total (NabsT), N absorbido en grano (NabsG), N absorbido en rastrojo (NabsR) e índice de cosecha de N (ICN=NabsG/NabsT). Se calcularon las eficiencias de recuperación de N total (ERT), en grano (ERG) y en rastrojo (ERR) a partir del porcentaje calculado de N en grano (N=Proteína/5,75) (%NG) y del porcentaje de N en rastrojo, según las siguientes fórmulas derivadas de Guarda *et al.* (2004):

- Eficiencia de recuperación de N total (%) =  $\frac{[N_{\text{grano+rastrojo trat. N}} \text{ (kg/ha)} - N_{\text{grano+rastrojo trat. T}} \text{ (kg/ha)}]}{N_{\text{aplicado}} \text{ (kg/ha)}} \times 100$
- Eficiencia de recuperación de N en grano (%) =  $\frac{[N_{\text{grano trat. N}} \text{ (kg/ha)} - N_{\text{grano trat. T}} \text{ (kg/ha)}]}{N_{\text{aplicado}} \text{ (kg/ha)}} \times 100$
- Eficiencia de recuperación de N en rastrojo (%) =  $\frac{[N_{\text{rastrojo trat. N}} \text{ (kg/ha)} - N_{\text{rastrojo trat. T}} \text{ (kg/ha)}]}{N_{\text{aplicado}} \text{ (kg/ha)}} \times 100$

### Evaluación de calidad

Con la harina obtenida previa molienda de los granos cosechados se obtuvieron parámetros reológicos de calidad industrial: fuerza panadera (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y relación P/L, con Alveógrafo de Chopin (AACC

International, 1999). Sobre muestras de harina integral se realizó el test de sedimentación en docecil sulfato de sodio (SDSS) (Dick y Quick, 1983). Se clasificaron las variedades según su grupo de calidad (INASE, 2014).

### Identificación del patrón proteico

Se realizó electroforesis en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE, unidimensionales, T=13,5%), con extracción secuencial de gliadinas y gluteninas según Gupta y Mc Ritchie (1991). Se calificó la calidad de los distintas variedades según el Score *Glu-1* (Payne, 1987), que tiene en cuenta la composición de GAPM y la corrección por translocación 1B/1R. A su vez, se numeraron los patrones de GBPM por similitud de movilidad electroforética, se determinó el tipo de gliadinas, la presencia de sobreexpresión de la subunidad Bx7 y de translocación 1B/1R.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue en tres bloques completos al azar con parcela dividida. Se utilizaron macro-parcelas de 13,3 m<sup>2</sup>, aleatorizando las variedades en las parcelas principales y los tratamientos de fertilización en las parcelas secundarias. Los resultados se analizaron mediante Análisis de la Varianza (ANOVA) y comparación de medias por test de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), y Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014). Para cada atributo estudiado mediante ANOVA se calculó el porcentaje de suma de cuadrados de cada fuente de variación respecto a la suma de cuadrados del modelo (%SC), con el objetivo de estimar la contribución de cada factor sobre la variabilidad de estos atributos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento y componentes

Las variables MST, RGR, MSR, IC y Nesp difirieron significativamente entre variedades y tratamientos (tabla 1). En relación con esto, Lerner *et al.* (2013) reportaron similares efectos de la variedad y el tratamiento de fertilización nitrogenada sobre RGR, aunque su interacción fue significativa. Por otro lado, la interacción variedad\*N resultó significativa para las variables %NG, %NR, NabsT, NabsG y NabsR, aunque el valor de %SC fue reducido en todos los casos (tabla 2). Esto indica que las diferencias genotípicas en la captura de N y su partición hacia grano dependieron de la disponibilidad del nutriente para el cultivo. Contrariamente, Le Gouis *et al.* (2000), en experimentos conducidos en Francia, encontraron que la interacción variedad\*N resultó no significativa para %NG, aunque sí lo fue para el rendimiento y sus componentes. El efecto principal del tratamiento de fertilización sobre NabsG se debió a respuestas tanto en RGR como en %NG. Del mismo modo, la respuesta promedio en NabsR se correspondió con variaciones en MSR y %NR, determinando mayores valores de NabsT (tabla 3).

FV	MST		RGR		MSR		IC		Nesp	
	%SC	p-valor								
<b>Ciclo</b>	15	***	21,5	***	8,53	***	3,85	**	6,57	**
<b>Variedad</b>	37,9	***	40,4	***	41	***	50	**	38,4	**
<b>Nitrógeno (N)</b>	19,1	***	11,9	***	18,2	***	1,88	*	8,32	**
<b>Ciclo*N</b>	0,85	*	0,51	ns	0,83	*	0,28	ns	0	ns
<b>Variedad*N</b>	5,37	ns	4,77	ns	6,96	ns	11,5	ns	14,5	ns

**Tabla 1.** Porcentaje de suma de cuadrados (%SC) y p-valor de las fuentes de variación (FV) consideradas para materia seca total (MST), rendimiento en grano (RGR), materia seca de rastrojo (MSR), índice de cosecha (IC) y número de espigas por m<sup>2</sup> (Nesp).

\* p-valor<0,05; \*\* p-valor<0,01; \*\*\* p-valor<0,0001.

Elaborada para la presente edición.

FV	%NG		%NR		NabsT		NabsG		NabsR		ICN	
	%SC	p-valor	%SC	p-valor	%SC	p-valor	%SC	p-valor	%SC	p-valor	%SC	p-valor
<b>Ciclo</b>	0,6	*	0,9	**	12,2	***	15,3	***	4,9	***	0,0	ns
<b>Variedad</b>	26,4	***	15,9	**	12,7	**	20,4	***	13,2	*	32,4	***
<b>Nitrógeno (N)</b>	55,7	***	63,4	***	56,5	***	44,1	***	57,9	***	39,7	***
<b>Ciclo*N</b>	1,1	**	0,1	ns	0,4	*	0,1	ns	1,4	**	0,6	*
<b>Variedad*N</b>	6,3	**	6,2	**	5,6	**	6,6	*	6,1	*	7,4	*

**Tabla 2.** Porcentaje de suma de cuadrados (%SC) y p-valor de las fuentes de variación (FV) consideradas para porcentaje de nitrógeno en grano (%NG), porcentaje de nitrógeno en rastrojo (%NR), nitrógeno absorbido total (NabsT), nitrógeno absorbido en grano (NabsG), nitrógeno absorbido en rastrojo (NabsR) e índice de cosecha de nitrógeno (ICN).

\* p-valor<0,05; \*\* p-valor<0,01; \*\*\* p-valor<0,0001. Las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas ( $\sqrt{\quad}$ ) para su análisis. Elaborada para la presente edición.

Trat	MST	RGR	MSR	IC	Nesp	%NG	%NR	NabsT	NabsG	NabsR
	kg/ha	kg/ha	kg/ha		esp/m <sup>2</sup>	%	%	kg/ha	kg/ha	kg/ha
<b>CL F</b>	15362 a	5614 a	9748 a	0,37 b	604 b	2,29 a	0,51 a	178 a	128 a	49 a
<b>CC F</b>	13086 b	4629 b	8457 b	0,35 b	658 a	2,32 a	0,46 b	146 b	107 b	38 b
<b>CL T</b>	12807 b	4836 b	7971 b	0,38 a	543 c	1,93 b	0,26 c	115 c	93 c	21 c
<b>CC T</b>	11407 c	4114 c	7293 c	0,36 b	598 b	1,82 c	0,24 c	93 d	75 d	18 d

**Tabla 3.** Medias de materia seca total (MST, kg/ha), rendimiento en grano (RGR, kg/ha), materia seca de rastrojo (MSR, kg/ha), índice de cosecha (IC), número de espigas por m<sup>2</sup> (Nesp, esp/m<sup>2</sup>), porcentaje de nitrógeno en grano (%NG), porcentaje de nitrógeno en rastrojo (%NR), nitrógeno absorbido total (NabsT, kg/ha), nitrógeno absorbido en grano (NabsG, kg/ha) y nitrógeno absorbido en rastrojo (NabsR, kg/ha) para las combinaciones de ciclos largos (CL) y cortos (CC) y los tratamientos testigo (T) y fertilizado (N). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan,  $\alpha=0,05$ ). Las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas ( $\sqrt{\quad}$ ) para su análisis.

Elaborada para la presente edición.

Se observaron diferencias significativas entre ciclos para MST, RGR, MSR, IC, Nesp, %NG, %NR, NabsT, NabsG y NabsR (tablas 1 y 2). El efecto de dicho factor a favor de las variedades de ciclo largo sobre NabsG se debió a respuestas en RGR y en %NG (tabla 3). La interacción ciclo\*N fue significativa para MST, MSR, %NG, NabsT y NabsR (tablas 1 y 2). Al respecto, se observó mayor respuesta a la fertilización en %NG para las variedades de ciclo corto, en tanto que para NabsR se encontró una mayor respuesta al agregado de N en las de ciclo largo, probablemente

debido a la mayor duración de la etapa de acumulación de biomasa (tabla 3).

### Eficiencia de uso de nitrógeno

Se encontraron diferencias significativas entre variedades en las eficiencias de recuperación de N total (ERT), en grano (ERG) y en rastrojo (ERR) (tabla 4 y fig. 2). El genotipo resultó ser una fuente de variación importante para las eficiencias de recuperación, al igual que lo reportado por

FV	ERT		ERG		ERR	
	%SC	p-valor	%SC	p-valor	%SC	p-valor
Ciclo	14,9	**	4,59	ns	21,8	***
Variedad	79,1	**	81,9	*	70,8	**

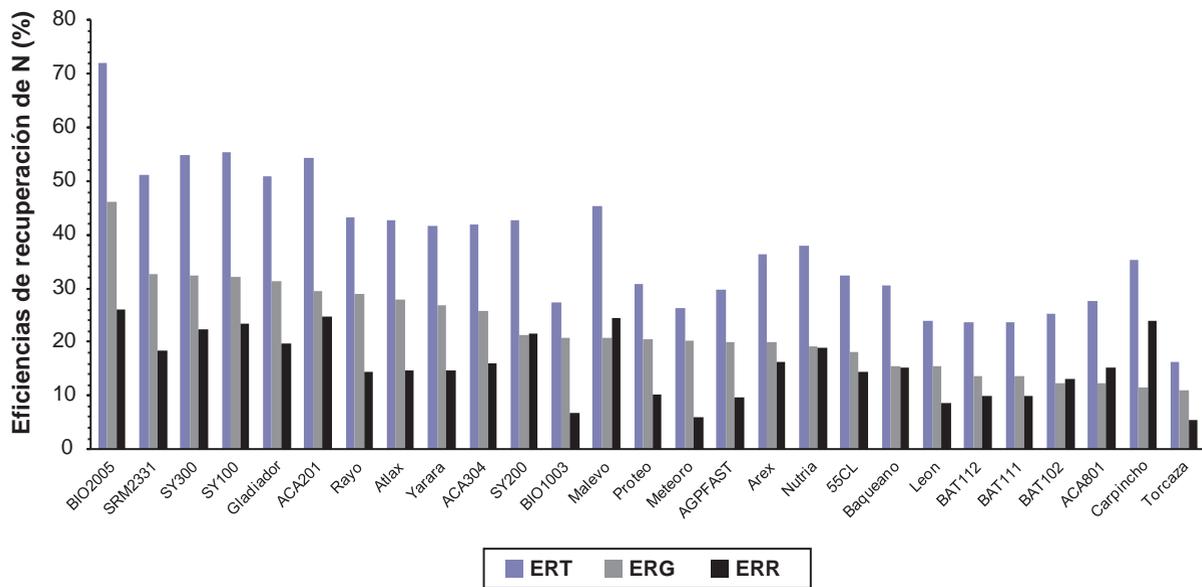
**Tabla 4.** Porcentaje de suma de cuadrados (%SC) y p-valor de las fuentes de variación (FV) consideradas para las Eficiencias de recuperación total (ERT), en grano (ERG) y en rastrojo (ERR).

\* p-valor<0,05; \*\* p-valor<0,01; \*\*\* p-valor<0,0001.

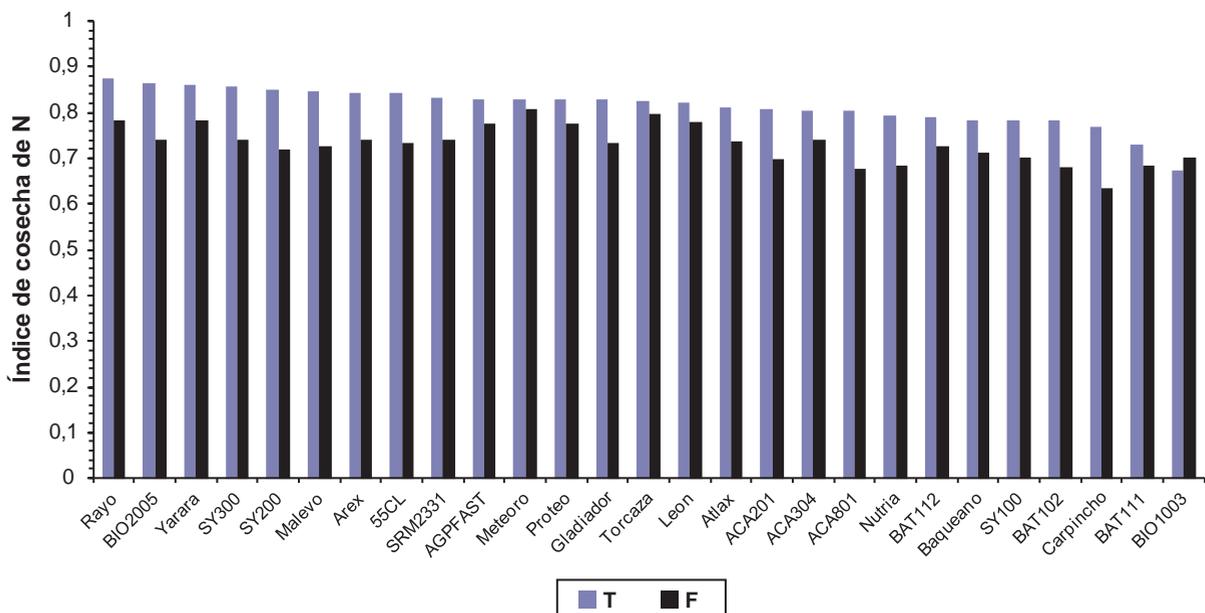
Elaborada para la presente edición.

Guarda *et al.* (2004). Por otro lado, la figura 2 muestra que el comportamiento de las distintas variedades en ERG no coincidió estrictamente con lo observado en ERR y por lo tanto en ERT. Esto puede ser explicado en parte por la variabilidad genotípica encontrada en índice de cosecha de N (ICN) (tabla 2 y fig. 3), lo cual determina distintos patrones de partición de N dentro de la planta, en forma similar a lo encontrado por Barraclough *et al.* (2010).

Las variedades de ciclo largo presentaron valores de ERT (CL=43,30 a; CC=33,55 b) y ERR (CL=19,33 a; CC=13,04



**Figura 2.** Eficiencias de recuperación total (ERT, %), en grano (ERG, %) y en rastrojo (ERR, %) de los variedades analizadas.



**Figura 3.** Índice de cosecha de nitrógeno (ICN) de las variedades analizadas para los tratamientos testigo (T) y fertilizado (F).

Elaborada para la presente edición.

b) significativamente mayores que las de ciclo corto, no difiriendo en ERG (CL=23,97 a; CC=20,51 a). Por lo tanto, las diferencias encontradas entre ciclos en la captura de N se reflejaron en cambios en la capacidad de alojar N en el rastrojo más que en los granos. Esto puede deberse en parte a las diferentes dosis aplicadas a los distintos ciclos, las cuales intervienen en el cálculo de ERR, debido a la variación en la disponibilidad de N en el suelo al momento de la siembra.

Se observaron diferencias significativas entre variedades y entre tratamientos en ICN, pero no entre ciclos (tabla 2 y fig. 3). Los tratamientos fertilizados presentaron en promedio menores valores de dicha variable que los testigos (T=0,81 a; N=0,73 b). Esto evidencia una limitación en la capacidad de retranslocación de N a destinos cosechables en presencia de altas dosis de fertilizante, lo cual concuerda con Le Gouis *et al.* (2000). Las interacciones ciclo\*N y variedad\*N fueron significativas, aunque con %SC reducidos. Sin embargo, vale mencionar algunas variedades que no respondieron a la generalidad, como BIO1003, AGPFAST, Meteoro, León, Proteo, Torcaza, BAT111 y BAT112, las cuales fueron estables en ICN entre tratamientos de fertilización.

### Calidad industrial

El porcentaje de proteínas en los granos (%Pro), que es un parámetro de calidad comercial relacionado en parte con el uso industrial, presentó efectos significativos del ciclo, la variedad y el nivel de N, existiendo interacción significativa ciclo\*N y variedad\*N. Las fuentes de variación más importantes fueron la fertilización y el genotipo, explicando un 55,8% y 26,7% de la variabilidad, respectivamente; mientras que los %SC del ciclo y las interacciones fueron reducidos (tabla 5).

La fuerza panadera (W), principal atributo de calidad industrial, exhibió diferencias significativas entre ciclos, variedades y niveles de N, siendo significativa la interacción variedad\*N. Pero en este caso, el genotipo, claramente asociado con la composición proteica del gluten, resultó la fuente de variación preponderante seguido por la fertiliza-

ción. En cuanto a los determinantes del W, la variabilidad en tenacidad (P) fue explicada en mayor medida por la variedad seguida de la interacción variedad\*N, en tanto que la extensibilidad (L) presentó una mayor influencia de la fertilización nitrogenada en ambos ciclos, lo cual coincide con lo reportado por Miceli *et al.* (1992) y Park *et al.* (2006). Si bien se detectaron interacciones significativas entre factores para las variables %Pro, W y L, el %SC de estas fue reducido, por lo cual la discusión de los resultados se enfocó en los efectos principales (tabla 5). Con respecto a la interacción variedad\*N para P, el 74% de los genotipos (20 variedades) fueron estables entre niveles de N, mientras que el 22% (CL: Malevo, 55 CL, Yará, Torcaza; CC: Proteo, Rayo) presentó una respuesta negativa a la fertilización y el 4% positiva (CC: SRM2331) (datos no mostrados).

El volumen de sedimentación (SDSS) fue escasamente afectado por el ambiente (ciclo y N) y determinado en mayor proporción por la variedad, siendo un excelente método para valorar calidad intrínseca (tabla 5), en acuerdo con lo informado por Axford *et al.* (1979), Dick y Quick (1983), Carrillo *et al.* (1990) y Lerner y Ponzio (2004).

El ACP que incluyó parámetros de calidad industrial y determinantes de la eficiencia de uso de N (fig. 4) indicó que la componente principal 1 (CP1) quedó conformada por las variables P (+), W (+), SDSS (+), ERT (+) y NabsT (+) explicando el 31,4% de la variabilidad observada, y la componente principal 2 (CP2) por L (+), ICN (+) y %Pro (+) explicando otro 28,9% de la variabilidad. No se observó la formación de grupos de acuerdo al ciclo de la variedad por lo que dicho factor no presentó capacidad discriminativa para las variables estudiadas. Teniendo en cuenta las variables asociadas al CP1, el parámetro alveográfico W y el volumen de sedimentación presentaron elevada correlación entre sí, siendo mayormente determinados por la capacidad de capturar N por parte del cultivo (NabsT). De acuerdo al CP2, la extensibilidad (L) se asoció fuertemente al %Pro coincidiendo con lo observado por Godfrey *et al.* (2010) y fue determinada por el ICN. Esto último evidencia que la relación entre la extensibilidad y la eficiencia de recuperación de N en grano (ERG) reportada por Lerner *et al.* (2013) estaría relacionada con una mayor capacidad de

FV	%Pro		W		P		L		SDSS	
	%SC	p-valor								
<b>Ciclo</b>	0,5	*	6,5	***	3,96	***	0,1	ns	2,45	**
<b>Variedad</b>	26,7	***	50,7	***	66	***	38,5	***	69,5	***
<b>Nitrógeno (N)</b>	55,8	***	24,1	***	1,74	**	36	***	6,09	***
<b>Ciclo*N</b>	1,4	**	0,19	ns	0,14	ns	0,46	ns	0,03	ns
<b>Variedad*N</b>	6,4	**	6,42	*	18,5	***	7,02	*	7,55	ns

**Tabla 5.** Porcentaje de suma de cuadrados (%SC) y p-valor de las fuentes de variación (FV) consideradas para porcentaje de proteína en grano (%Pro), fuerza panadera (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y volumen de sedimentación (SDSS).

\* p-valor<0,05; \*\* p-valor<0,01; \*\*\* p-valor≤0,0001. Las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas ( $\sqrt{\quad}$ ) para su análisis. Elaborada para la presente edición.

particionar N a destinos cosechables por parte del cultivo (ICN) y no con la captura de N desde el suelo (NabsT).

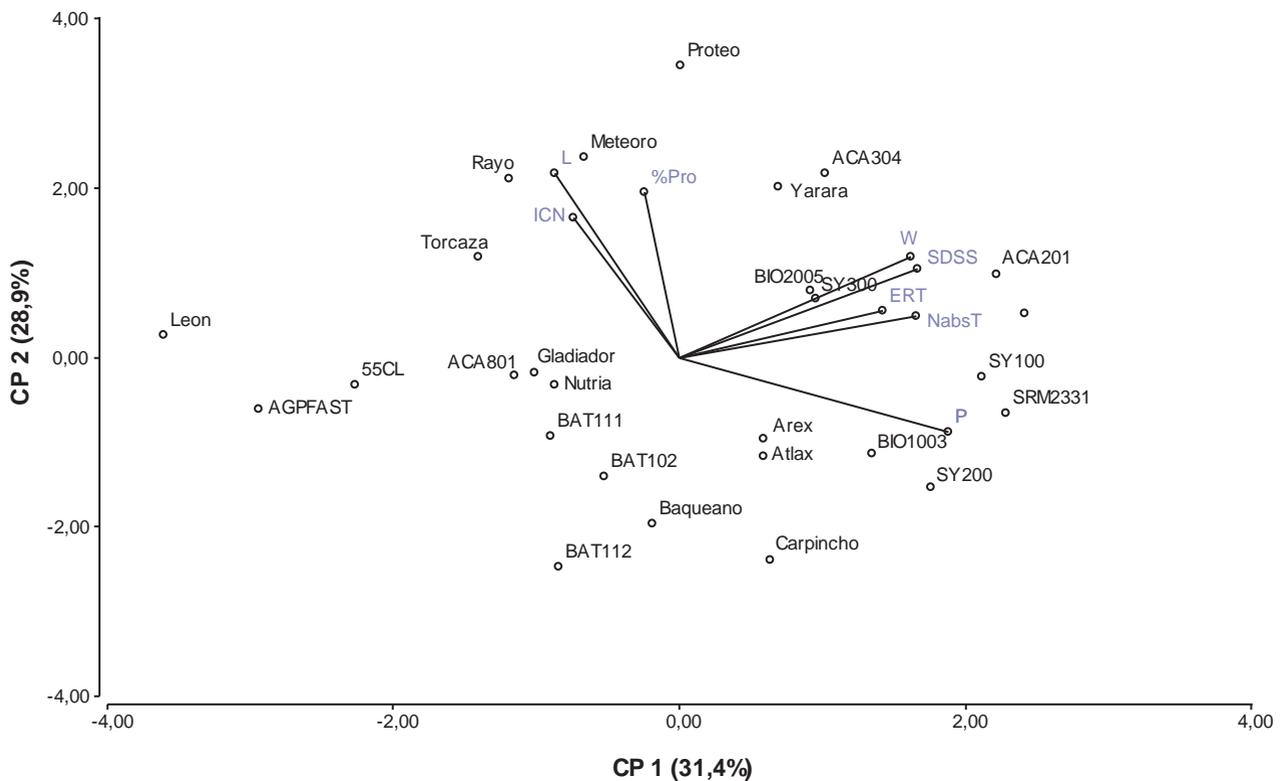
### Composición proteica

De los loci que codifican para subunidades de gluteninas de alto peso molecular (GAPM), *Glu-B1* fue el que presentó mayor variabilidad seguido por *Glu-A1*, siendo las variantes alélicas 7+9 y 2\* las más frecuentes para el primero y el segundo, respectivamente. En cambio, el locus *Glu-D1* fue más homogéneo siendo el par de subunidades 5+10 preponderantes, excepto para la variedad León que presentó el alelo 2+12 de menor calidad (tabla 6). Estos resultados coinciden con lo reportado por Lerner *et al.* (2009) para una colección argentina de trigo pan. Para las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) se identificaron y agruparon patrones de bandas, encontrando gran variabilidad en la movilidad electroforética (fig. 5). Con respecto a la composición de gliadinas, el tipo CSS fue el más frecuente, siendo este de menor calidad que el tipo CNN según Masci *et al.* (1991). Solo cuatro variedades presentaron introgresión con centeno (1B/1R) y se ubicaron en los cuadrantes de baja calidad del ACP, debido a lo antes mencionado acerca del reemplazo de un grupo de GBPM y gliadinas ( $\omega$ -gliadinas) por secalinas (Martín y Carrillo, 1999). La variedad ACA304

fue la única con sobreexpresión de la banda 7 (7oe), presentando buen comportamiento para las variables de eficiencia y calidad analizadas (tabla 6 y fig. 4).

El Score *Glu-1*, que califica según la composición de GAPM, no coincidió estrictamente con la clasificación por Grupo de Calidad (GC); encontrando heterogeneidad en el Score dentro de cada GC o viceversa (tabla 6). Esto puede deberse a la influencia de otras fracciones proteicas como las GBPM y las gliadinas (Branlard y Dardevet, 1985). Las primeras representan alrededor de un tercio del total de proteínas de los granos y 60% del total del gluten (Shuaib *et al.*, 2007) y tienen una influencia significativa en el uso final de la harina de trigo (Wang *et al.*, 2009), además de que adquieren importancia en este caso debido a la gran variabilidad encontrada en los patrones de bandas.

En el ACP de la figura 6, conformado de igual manera que en la figura 4, se agrupan las variedades de acuerdo a atributos fenotípicos de uso del N y calidad industrial, lo cual también puede contribuir a explicar la falta de asociación entre el Score y el GC. Las variedades ACA201, Malevo, SY100 y SRM2331, que pertenecen al GC 2, pero poseen Score 10, a excepción de SY100 que posee Score 8; registraron elevados valores en el CP 1 e intermedios en el CP 2. Esto indica que presentaron elevada fuerza



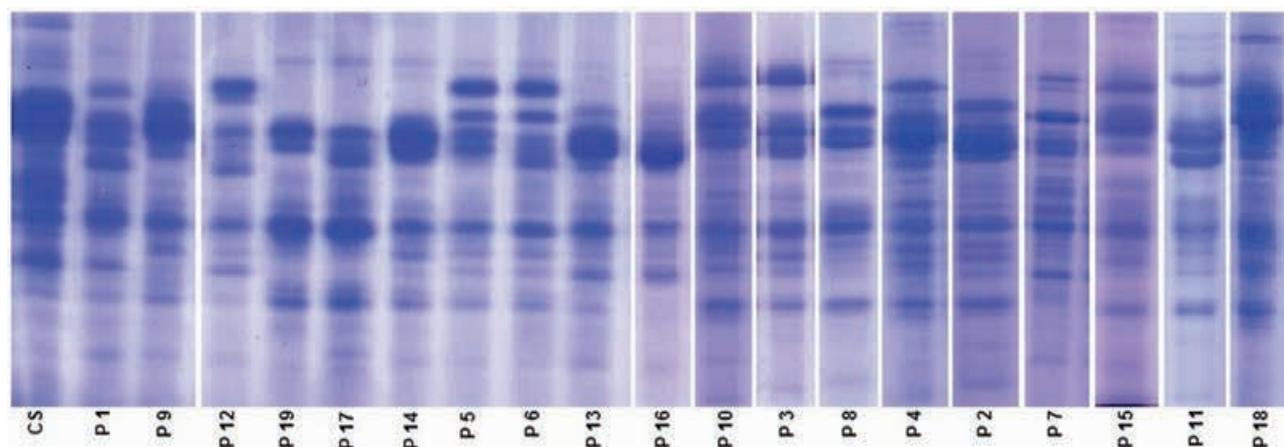
**Figura 4.** Biplot del primer y segundo componente principal para eficiencia de recuperación de nitrógeno total (ERT), nitrógeno absorbido total (NabsT), índice de cosecha de nitrógeno (ICN), porcentaje de proteína (%Pro), volumen de sedimentación (SDSS), fuerza panadera (W), tenacidad (P) y extensibilidad (L) de 27 variedades de trigo. Los genotipos están representados por los puntos y los vectores representan las variables de uso del nitrógeno y calidad industrial.

Elaborada para la presente edición.

Variedad	Glu-A1	Glu-B1	Glu- D1	Gli	GBPM	1B/1R	7oe	GC	Score
ACA201	2*	17+18	5+10	CSS	3			2	10
ACA304	2*	7+8	5+10	CNN	15		X	1	10
Baqueano	1	7+9	5+10	CSS	8	X		2	6
Malevo	2*	7+8	5+10	CNN	17			2	10
SY100	2*	6+8	5+10	CSS	11			2	8
SY200	2*	6+8	5+10	CSS	11			2	8
BIO2005	2*	7+9	5+10	CSS	1			2	9
Carpincho	1	7+9	5+10	CSS	7	X		3	6
Gladiador	1	7+9	5+10	CNN	17	X		3	6
Yarará	2*	7+9	5+10	CSS	14			1	9
Torcaza	2*	17+18	5+10	CSS	16			1	10
ACA801	2*	7+9	5+10	CSS	4			2	9
AGPFAST	ni	13+16	5+10	CSS	12			3	sd
Meteoro	2*	7+9	5+10	CNN	10			1	9
55CL	2*	7+9	5+10	CNN	16			2	9
Rayo	2*	7+8	5+10	CSS	17			1	10
SRM2331	1/2*	17+18	5+10	CSS	15			2	10
SY300	2*	6+8	5+10	CSS	11			2	8
Nutria	2*	7+9	5+10	CSS	19	X		3	6
León	N	7+9	2+12	CSS	12			3	5
BIO1003	2*	7+9	5+10	CSS	2			2	9
Atlax	1	7+9	5+10	CSS	9			2	9
Proteo	1	7+9	5+10	CSS	18			1	9
BAT102	2*	14+15	5+10	CSS	5			sd	sd
BAT111	2*	14+15	5+10	CSS	6			sd	sd
BAT112	2*	7+9	5+10	CSS	13			sd	9
Arex	2*	7+9	5+10	CSS	9			3	9

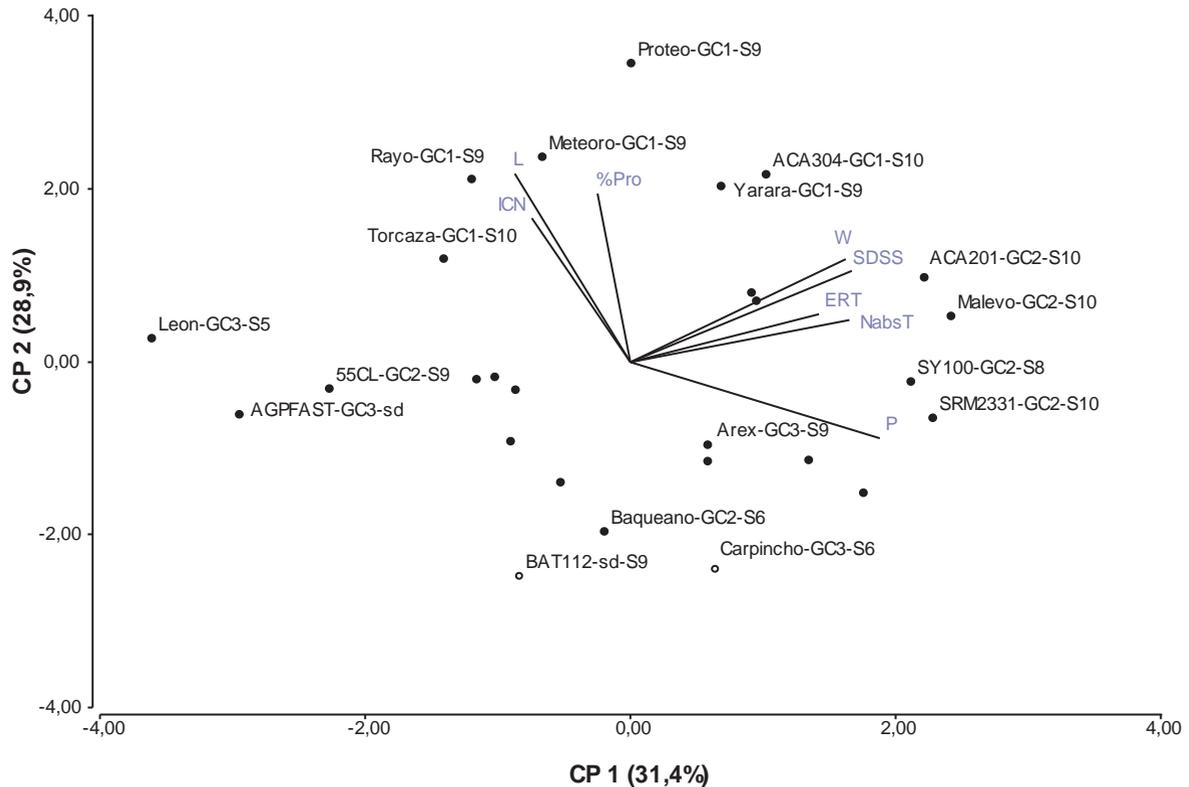
**Tabla 6.** Composición alélica de gluteninas de alto peso molecular (Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1), tipo de gliadinas (Gli), patrón de gluteninas de bajo peso molecular (GBPM), presencia de introgresión con centeno (1B/1R), presencia de sobreexpresión de la subunidad Bx7 (7oe), Grupo de Calidad (GC) y Score Glu1 (Score) para las variedades analizadas.

Elaborada para la presente edición.



**Figura 5.** Patrones de movilidad electroforética de gluteninas de bajo peso molecular (GBPM). CS: Chinese Spring (marcador); P1: BIO2005; P2: BIO1003; P3: ACA201; P4: ACA801; P5: BAT102; P6: BAT111; P7: Carpincho; P8: Baqueano; P9: Atlax, Arex; P10: Meteoro; P11: SY100, SY200, SY300; P12: AGPFAST, León; P13: BAT112; P14: Yarará; P15: ACA304, SRM2331; P16: Torcaza, 55CL; P17: Malevo, Gladiador, Rayo; P18: Proteo; P19: Nutria.

Elaborada para la presente edición.



**Figura 6.** Biplot del primer y segundo componente principal para eficiencia de recuperación de nitrógeno total (ERT), nitrógeno absorbido total (NabsT), índice de cosecha de nitrógeno (ICN), porcentaje de proteína (%Pro), volumen de sedimentación (SDSS), fuerza panadera (W), tenacidad (P) y extensibilidad (L) de 27 variedades de trigo. Los genotipos están representados por los puntos y los vectores representan las variables de uso del nitrógeno y calidad industrial. Se incluyó la denominación de la variedad, Grupo de Calidad (GC) y Score *Glu-1* (S) para los genotipos mencionados en la discusión previa.

Elaborada para la presente edición.

panadera (SDSS, W) y tenacidad (P), asociado esto a ICN intermedios y elevados valores de ERT y NabsT. Por su parte, Yarará y ACA304, que pertenecen al GC 1 y con Score 9 y 10 respectivamente, registraron valores positivos en el CP 1 y el CP 2. Esto indica que presentaron elevada fuerza panadera y una relación P/L equilibrada, esto asociado a mayores ICN que los anteriores. La variedad 55CL, perteneciente al GC 2 y con Score 9, registró valores negativos en el CP1 e intermedios en el CP2; al igual que las variedades León y AGPFAST, pertenecientes al GC3, indicando una reducida fuerza panadera. Aunque estos genotipos mostraron un ICN intermedio, sus valores de ERT y NabsT son muy bajos lo cual puede explicar parcialmente dicha respuesta. Por otro lado, BAT112, que posee Score 9, se ubicó en el mismo grupo que las variedades Carpincho y Baqueano, pertenecientes al GC3 y con Score 6. Estos genotipos exhibieron valores intermedios en el CP1 y negativos en el CP2, indicando una fuerza panadera intermedia, pero con extensibilidad reducida (L) debido a bajos valores de %Pro e ICN. Otro caso a destacar es el de la variedad Arex que, pese a tener Score 9, se ubica en el GC 3. Esto podría deberse a su baja capacidad de particionar N a grano (ICN), lo cual redujo el %Pro y la extensibilidad de la masa (valores negativos en el CP 2). Por otro lado, las variedades Meteor, Torcaza y Rayo, pese a presentar

elevado Score y pertenecer al GC 1, no se ubicaron dentro del grupo de mayor W (valores negativos en el CP1). Esto podría explicarse por su elevado ICN y consiguiente aumento de %Pro y extensibilidad (valores elevados en el CP 2). De esta manera, se pueden producir desbalances en las proporciones de cada tipo de proteínas generando masas muy extensibles y afectando la calidad final (Godfrey *et al.*, 2010). Por su parte, la variedad Proteo presentó un %Pro muy elevado pero asociado a una fuerza panadera algo superior que los anteriores (tabla 6 y fig. 6). Por todo lo expuesto, la capacidad del cultivo de capturar el N del suelo y de particionarlo a grano modificó el contenido y el balance proteico de este, lo cual afectaría la expresión del potencial genético atribuido al patrón alélico de gliadinas y gluteninas.

## CONCLUSIONES

El genotipo resultó la principal fuente de variación para las eficiencias de recuperación de N total, en grano y en rastrojo.

La capacidad de retranslocación de N a destinos cosechables fue afectada por la variedad, el nivel de N y su interacción, disminuyendo con altas dosis de fertilizante en la mayor parte de los genotipos.

La duración del ciclo afectó la eficiencia de recuperación total de N debido a cambios en la eficiencia de recuperación en rastrojo, aunque también se detectaron diferencias entre genotipos dentro de cada ciclo.

El contenido de proteínas en los granos y la extensibilidad de las masas fueron altamente dependientes del nivel de N en tanto que la fuerza panadera, principal atributo de calidad industrial, fue determinada en mayor medida por el genotipo.

La relación entre la extensibilidad y la eficiencia de recuperación de N en grano se relacionó con una mayor capacidad de particionar N a destinos cosechables por parte del cultivo y no con la captura de N desde el suelo.

El Score *Glu-1*, que califica según alelos de GAPM, no coincidió estrictamente con el Grupo de Calidad de la variedad, evidenciando la influencia de otras fracciones proteicas del gluten y su interacción con el ambiente.

La expresión del potencial genético atribuido a la composición alélica de gliadinas y gluteninas podría estar regulada en parte por atributos de eficiencia de uso de N.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Daniel Pérez, por su apoyo en el trabajo de laboratorio y a la Universidad Nacional del Centro, por el aporte parcial de financiamiento para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

AACC INTERNATIONAL. 1999. Approved Methods of Analysis, 11<sup>th</sup> Ed. Method 54-30.02. Alveograph Method for Soft and Hard Wheat Flour. AACC International, St. Paul, MN, EUA.

ALZUETA, I.; ABELEDO, L.G.; MIRALLES, D.J. 2008. Impacto de la fertilización nitrogenada y el momento de aplicación sobre la calidad comercial y reológica en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). VII Congreso Nacional de Trigo, v Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR, C9, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

AXFORD, D.W.E.; MCDERMOTT, E.E.; RED-MAN, D.G. 1979. Note on the sodium dodecyl sulfate test of bread-making quality: comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chemistry* 56, 582-584.

BARRACLOUGH, P.B.; HOWARTHA, J.R.; JONESA, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMARA, S.; SHEPHERDA, C.E.; HAWKESFORD, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33 (1), 1-11.

BRANLARD, G.; DARDEVET, M. 1985. Diversity of grain proteins and bread wheat quality. I. Correlation between gliadin bands and flour quality characteristics. *Journal of cereal science* 3 (4), 329-343.

CARRILLO, J.M.; ROUSSET, M.; QUALSET, C.O.; KASARDA, D.D. 1990. Use of recombinant inbred lines of wheat for study of associations of high-molecular-weight glutenin subunit alleles to quantitative traits. *Theoretical and Applied Genetics* 79 (3), 321-330.

CENTRO REGIONAL DE AGROMETEOROLOGÍA FA-UNCP-BA. 2011. Boletín agrometeorológico del centro-sur de la provincia de Buenos Aires, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. (<http://www.faa.unicen.edu.ar/centro/boletinesant11.php>, verificado 02/jul/2015).

CORNISH, G.B.; BÉKÉS, F.; EAGLES, H.A.; PAYNE, P.I. 2006. Prediction of dough properties for bread wheats. En: WRIGLEY, C.W.; BÉKÉS, C.F.; BUSHUK, W. (Ed.) *Gliadin and glutenin. The unique balance of wheat quality*. American Association of Cereal Chemists Press, St. Paul, MN, EUA, pp. 243-280.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (<http://www.infostat.com.ar>, revisado 02/jul/2015).

DICK, J. W.; Quick, J.S. 1983. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry* 60, 315-318.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; AIZPURUA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M.B.; ESTAVILLO, J.M. 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy* 33 (1), 52-61.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; GONZÁLEZ-MORO, M.B.; ESTAVILLO, J. M. 2012. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175 (1), 115-124.

GODFREY, D.; HAWKESFORD, M.J.; POWERS, S.J.; Millar, S.; Shewry, P.R. 2010. Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58 (5), 3012-3021.

GUARDA, G.; PANDOVAN, S.; DELOGU, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy* 21 (2), 181-192.

GUPTA, R.B.; MACRITCHIE, F. 1991. A rapid one-step one-dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunit composition of glutenin in wheat. *Journal of Cereal Science* 14 (2), 105-109.

INASE. 2014. RET - Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo, Grupos de Calidad, Instituto Nacional de Semillas, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina. ([http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=91](http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91), revisado 02/jul/2015).

LABUSCHAGNE, M.T.; MEINTJES, G.; GROENEWALD, F.P.C. 2006. The influence of different nitrogen treatments on the size distribution of protein fractions in hard and soft wheat. *Journal of Cereal Science* 43 (3), 315-321.

LE GOUIS, J.; BÉGHIN, D.; HEUMEZ, E.; PLUCHARD, P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy* 12 (3), 163-173.

LERNER, S.E.; PONZIO, N. 2004. El test de sedimentación como método para valorar calidad intrínseca en trigo. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

LERNER, S.E.; KOLMAN, M.A.; ROGERS, W.J. 2009. Quality and endosperm storage protein variation in Argentinean grown bread wheat. I. Allelic diversity and discrimination between cultivars. *Journal of Cereal Science* 49 (3), 337-345.

LERNER, S.E.; ARRIGONI, A.C.; ARATA, A.F. 2013. Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 39 (1), 77-87.

MARCHYLO, B.A.; LUKOW, O.M.; KRUGER, J.E. 1992. Quantitative variation in high molecular weight glutenin subunit 7 in some Canadian wheats. *Journal of Cereal Science* 15 (1), 29-37.

MARTIN, P.; CARRILLO, J.M. 1999. Cumulative and interaction effects of prolamins allelic variation and of 1BL/1RS translocation on flour quality in bread wheat. *Euphytica* 108 (1), 29-39.

- MASCI, S.M.; PORCEDDU, E.; COLAPRICO, G.; LAFIANDRA, D. 1991. Comparison of the B and D subunits of glutenin encoded at the Glu-D3 locus in two biotypes of the common wheat cultivar Newton with different technological characteristics. *Journal of Cereal Science* 14 (1), 35-46.
- METAKOVSKY, E.V.; WRIGLEY, C.W.; BEKES, F.; GUPTA, R.B. 1990. Gluten polypeptides as useful genetic markers of dough quality in Australian wheats. *Australian Journal of Agricultural Research* 41 (2), 289-306.
- MICELI, F.; MARTIN, M.; ZERBI, G. 1992. Yield, quality and nitrogen efficiency in winter wheat fertilized with increasing N levels at different times. *Journal of Agronomy and Crop Science* 168 (5), 337-344.
- MUURINEN, S.; SLAFER, G.A.; PELTONEN-SAINIO, P. 2006. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. *Crop Science* 46 (2), 561-568.
- PARK, S.H.; BEAN, S.R.; CHUNG, O.K.; SEIB, P.A. 2006. Levels of Protein and Protein Composition in Hard Winter Wheat Flours and the Relationship to Breadmaking 1. *Cereal Chemistry* 83 (4), 418-423.
- PAYNE, P.I. 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effects of allelic variation on breadmaking quality. *Annual Review of Plant Physiology* 38 (1), 141-153.
- PEÑA, R.J. 2002. Wheat for bread and other foods. En: Curtis, B.C.; Rajaram S.; Gomez Macpherson, H. (Ed.) *Bread wheat: improvement and production*. Food and Agriculture Organization, Roma, Italia, pp. 483-494.
- PINILLA QUEZADA, H.; HERRERA FLOODY, L.E. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía en aspectos de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.). *Idesia (Arica)* 26 (1), 77-81.
- ROSTAMI, M. A.; O'BRIEN, L. 1996. Differences among bread wheat genotypes for tissue nitrogen content and their relationship to grain yield and protein content. *Australian Journal of Agricultural Research* 47 (1), 33-45.
- SHUAIB, M.; ZEB, A.; ALI, Z.; ALI, W.; AHMAD, T.; KHAN, I. 2007. Characterization of wheat varieties by seed storage protein electrophoresis. *African Journal of Biotechnology* 6 (5).
- SHUAIB, M.; ZEB, A.; ALI, Z.; ALI, W.; AHMAD, T.; KHAN, I. 2007. Characterization of wheat varieties by seed storage-protein electrophoresis. *African Journal of Biotechnology* 6 (5), 497-500.
- VAN SANFORD, D.A.; MACKOWN, C.T. 1987. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Crop Science* 27 (2), 295-300.
- WANG, L.H.; ZHAO, X.L.; HE, Z.H.; MA, W.; APPELS, R.; PEÑA, R.J.; XIA, X.C. 2009. Characterization of low-molecular-weight glutenin subunit Glu-B3 genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 118 (3), 525-539.

# Primer registro de *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago) en Argentina asociado al avellano (*Corylus avellana*)

MARTIN, D.M.<sup>1</sup>; REGONAT, M.E.<sup>2</sup>; GALLO, S.L.<sup>1</sup>; BAFFONI, P.A.<sup>1</sup>; MONGABURE, A.P.<sup>3</sup>

## RESUMEN

En Argentina, la información sobre los agentes perjudiciales presentes en avellanos es escasa. En la temporada 2014-2015, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria llevó a cabo el monitoreo en plantaciones comerciales localizadas en el Valle Inferior de Río Negro. En una de ellas se observó un desarrollo anormal de la brotación. Al examinar a campo el material vegetal afectado se relacionó la sintomatología con la actividad alimentaria de un ácaro. Se tomaron muestras y se las envió al Laboratorio de Referencia del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria para su análisis. Se confeccionaron preparados microscópicos de 23 ejemplares en distintos estados de desarrollo. La determinación de la especie se realizó sobre hembras adultas mediante claves taxonómicas y bibliografía disponible. El objetivo de este trabajo es reportar en Argentina, por primera vez, la presencia de *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago) sobre *C. avellana*; asimismo, suministrar información sobre la plaga para facilitar el reconocimiento de su sintomatología y la identificación taxonómica.

**Palabras clave:** ácaro, Bryobiinae, Río Negro.

## ABSTRACT

In Argentina, information about the harmful agents present on that crop is scarce. In the 2014-2015 period, the National Agricultural Technology Institute conducted monitoring in commercial plantations located in the Valle Inferior of Río Negro. An abnormal development of the sprouting was observed in one of those monitoring. In the field, when we examining the affected plants we relationship the symptoms of feeding activity found to a mite. Samples were taken and sent to the Reference Laboratory of National Health Service for theirs analysis. Twenty three microscopic specimens were prepared corresponding to different stages of development. Females of the species were identified by the use of available taxonomic keys and bibliography. The aim of this paper is to report, for the first time, this species from Argentina over *C. avellana*; also we provide information on the pest to facilitate the recognition of their symptoms and taxonomic identification.

**Keywords:** Mite. Bryobiinae. Río Negro.

<sup>1</sup>E.E.A. Valle Inferior del Río Negro. Convenio Provincia de Río Negro-INTA. RN 3, Km 971 Camino 4 IDEVI, CP 8500, Río Negro, Argentina. Correo electrónico: martin.dariomiguel@inta.gob.ar

<sup>2</sup>Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentario (Senasa), Dirección del Laboratorio Vegetal (Dilave). Av. Ing. Huergo 1001 PB, CP 1107, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Río Negro. Cátedra de Zoología Agrícola. Av. Don Bosco y Leloir, CP 8500, Viedma, Río Negro, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

En Argentina, la superficie plantada con avellano es de 660 hectáreas, de las cuales 550 están ubicadas en el Valle Inferior del Río Negro. Este valle se ha convertido en la principal zona productora de avellanas, aportando el 95% de la producción nacional. La superficie cultivada se ha incrementado, entrando gradualmente en producción y, por ende, comienzan a aparecer problemas sanitarios que deben ser abordados. En el país, la información sobre los agentes perjudiciales presentes es escasa y no se conocen todas las plagas que afectan al cultivo. Es común observar en las plantaciones ataques de pulgones y, eventualmente, de chinches (De Berasategui, 1997), cochinillas (Martin *et al.*, 2015) y arañuelas; no hay registros de los agentes benéficos que pueden contribuir a un control natural de estas plagas, lo que resulta indispensable para el desarrollo de estrategias de manejo de protección y control que garanticen la sustentabilidad de estos sistemas productivos. En este contexto, la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro desarrolla, desde el año 2013, una línea de trabajo sobre "Diagnóstico e identificación sanitaria en avellano" enmarcada en el proyecto nacional "Generación y desarrollo de tecnología para la detección, seguimiento, predicción, prevención y control de vectores, plagas emergentes y/o limitantes de la producción frutícola argentina" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Con este lineamiento, en la temporada 2014-2015 se llevó a cabo el monitoreo de 10 plantaciones de *C. avellana*. En una de ellas se observó un desarrollo anormal de la brotación de las plantas distribuido en una superficie de 8 hectáreas. Al examinar a campo el material vegetal afectado se relacionó la sintomatología con la actividad alimentaria de un ácaro. Seguidamente, se estableció contacto con el Departamento de Entomología y Acarología del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa) con el fin de poder determinar el agente causal de la sintomatología observada.

En el mundo, es poca la información acerca de los ácaros que afectan los cultivos de avellano. *Phytoptus avellanae* (Nalepa) es considerado el más importante en las zonas productoras de Euroasia, América del Norte y Australia. Este es un ácaro específico que produce deformaciones de las yemas, las cuales se vuelven improductivas. Otros tetraníquidos citados en avellanos son: *Tetranychus urticae* (Koch), *Panonychus ulmi* (Koch), *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago); *Aculus comatus* (Nal.), *Tegonotus depressus* (Nal.), *Coptophylla lamimani* (Keifer), *Anthocoptes loricatus* (Nal.), *Eotetranychus coryli* (Reck); *Bryobia rubrioculus* (Scheuten) y *Tetranychus sp.* (Sultan, 1992; Villaronga, Garcia-Mari, 1992; Ozman, Cobanoglu, 2000; Rahmani *et al.*, 2008; Catarcione *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo es reportar, por primera vez en la Argentina, la presencia de *Tetranychopsis horridus* sobre *C. avellana* y suministrar información sobre la plaga para facilitar el reconocimiento de su sintomatología y la identificación taxonómica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el marco de las actividades de monitoreo y relevamientos fitosanitarios realizadas durante la temporada 2014-2015 en avellano implantados en el Valle Inferior del Río Negro, se observaron plantas con crecimiento anormal en un monte comercial de 8 años de la variedad *Tonda di Giffoni*. Se confeccionó una muestra conformada por 6 ramas con brotes y hojas de plantas que presentaban esta sintomatología. El material vegetal se acondicionó para el envío al laboratorio de referencia del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria en Buenos Aires, se envolvió en papel de diario y se embolsó para mantener la hermeticidad de este; luego, se lo colocó en una heladera de telgopor con geles refrigerantes. Una vez en el laboratorio, se procesó la muestra siguiendo dos técnicas de extracción: a) extracción directa y b) lavado con agua jabonosa con tres filtraciones (malla de 1000  $\mu\text{m}$ , malla de 72  $\mu\text{m}$  y papel de filtro) (Regonat *et al.*, 2013); esta última se implementó para obtener el mayor número posible de ejemplares contenidos en las muestras. En ambos casos, la recolección de los ejemplares se realizó bajo microscopio estereoscópico 50X (Zeiss Stemi 2000C); posteriormente, se procedió al montaje de los ácaros en Solución de Hoyer (Krantz, Walter, 2009), los preparados microscópicos se secan sobre una placa térmica (3 días a 50 °C). Para la determinación de la especie se utilizaron claves taxonómicas y bibliografía disponible (Pritchard, Baker, 1955; Jeppson *et al.*, 1975; Smith Mayer, 1987; Walters, 2006; Krantz, Walter, 2009; Moraes *et al.*, 2011) y las observaciones se realizaron con un microscopio Zeiss Axio Vision A2 con contraste de fase y contraste por interferencia diferencial. Si bien la identificación de los ejemplares se realizó sobre hembras adultas, se reconocieron y confeccionaron preparados microscópicos de 23 ejemplares en distintos estados del desarrollo; el remanente se los conservó en alcohol etílico al 70%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la observación de los preparados microscópicos se reconocieron cinco larvas, cuatro protoninfas, dos deutoninfas y doce hembras adultas (figura 1). El análisis de estas últimas nos permite concluir que se trata de *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago, 1876) (Acari: Tetranychidae: Bryobiinae: Hystrichonychini). No se encontraron machos de la especie, coincidiendo con lo mencionado por otros autores. Así, Vacante (1991) no encontró ejemplares machos en Sicilia (Italia), y Villaronga *et al.* (1990) solo los encontraron en muy baja proporción (tres de 1743 adultos observados). Cabe mencionar que, si bien la especie fue descrita en 1876, los machos, de ejemplares de la República de Crimea, no fueron conocidos hasta 1985 (Mitrofanov, Sharonov, 1985).

### Material examinado

Argentina. Río Negro. Valle Inferior del Río Negro, 40° 49' 56" S 63° 05' 27" O, 21-X-2014, Darío M. Martín Col.,

12 hembras, Marisa Regonat ID. Los ejemplares se encuentran depositados en la Colección del Departamento de Entomología y Acarología de la Dirección del Laboratorio Vegetal (DILAB) del Senasa.

### Diagnos

Hembra: se caracteriza morfológicamente por poseer uñas y empodio en forma de almohadilla en el ambulacro con largos pelos espatulados ("tenent hairs"). Presenta cuatro pares de setas propodosomales, las dorsales son largas y robustas insertas en tubérculos; con 12 pares de setas hysterosomales; los peritremas son libres y anastomosados distalmente (Smith Meyer, 1987) (figura 2).

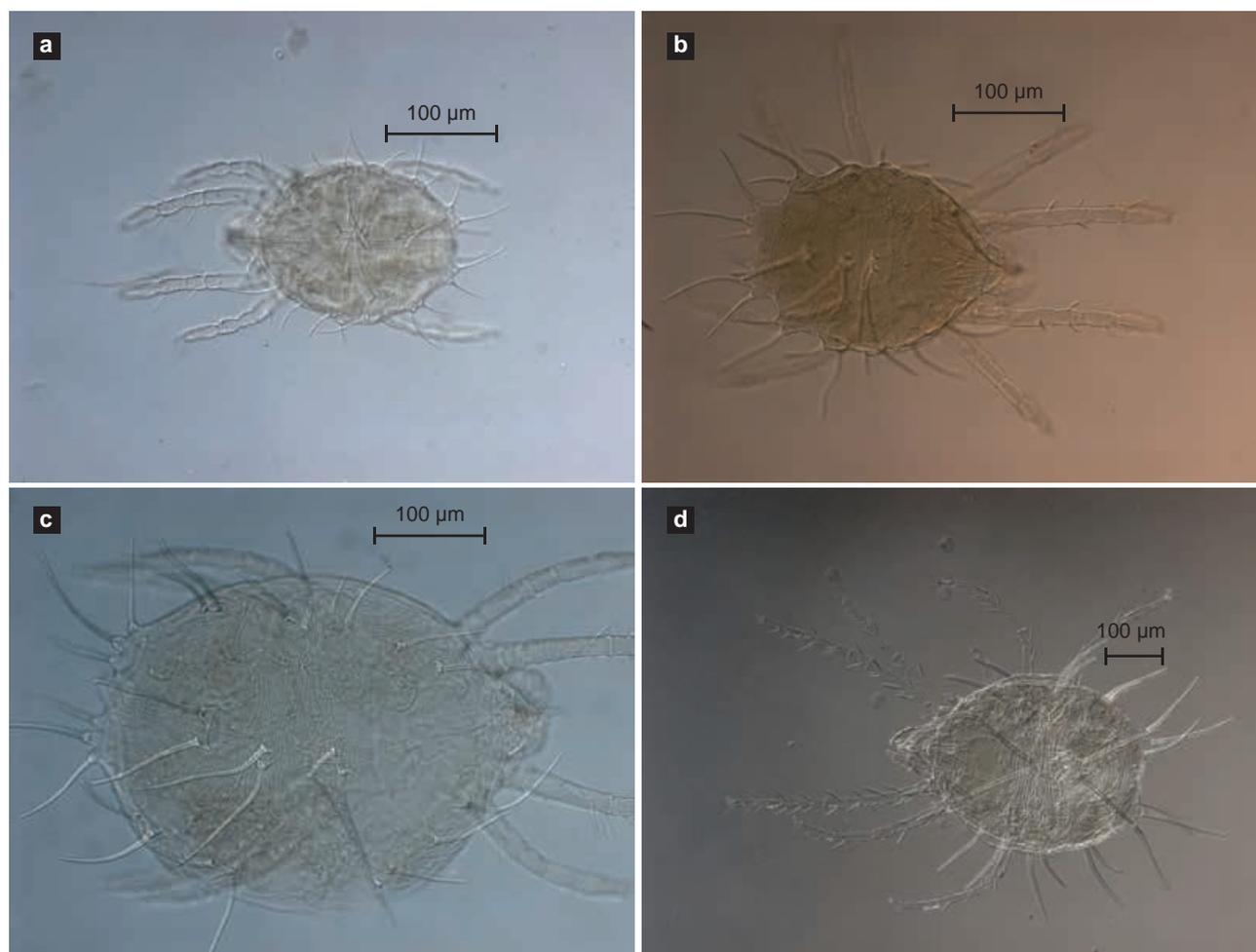
### Sintomatología observada

Los síntomas provocados por este ácaro se observaron en el momento de la brotación en ramas del año anterior, en las primeras 6-7 yemas (vegetativas y florales), excepto en las yemas terminales. El crecimiento de los brotes apicales era superior a los laterales, formando un "penacho"

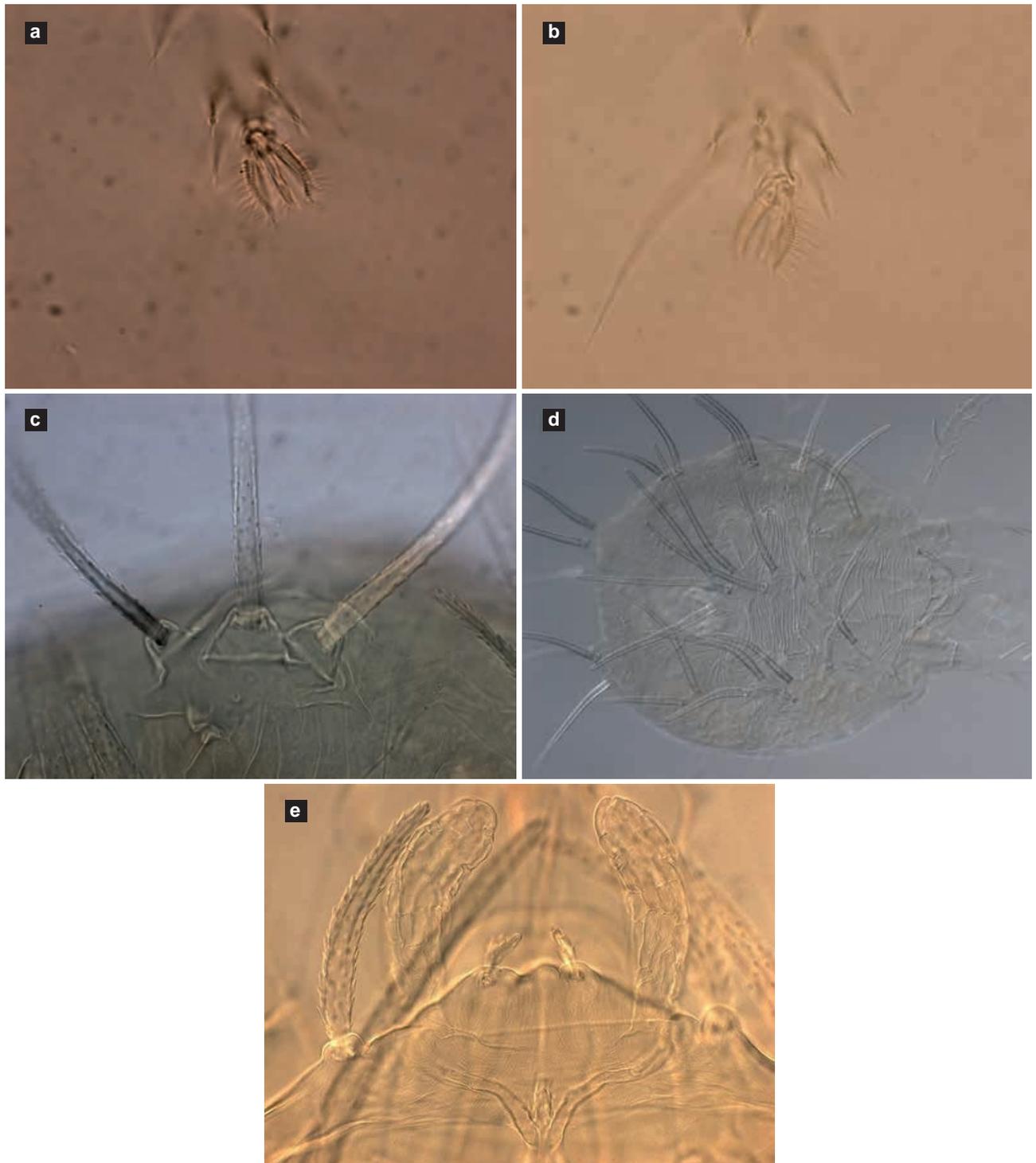
en la punta de las ramas. Este síntoma se repetía en todas las ramas de los árboles atacados (figura 3). Los brotes laterales presentaban escaso crecimiento y hojas de tamaño muy reducido, de un color verde intenso, acompañado por rugosidades en su superficie dándole un aspecto globoso general característico. En estos brotes laterales se localizaba el acaro.

### Comentario

*Tetranychopsis horridus* es un ácaro fitófago asociado a Betulaceae (*Alnus sp.*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Corylus maxima*); Compositae (*Achillea sp.*), Cupresaceae (*Thuja sp.*), Juglandaceae (*Juglans regia*), Leguminosae (*Phaseolus vulgaris*) y Pinaceae (*Picea glauca*, *Pinus sp.*). Se encuentra distribuido en la región Neártica (Estados Unidos) y en la región Paleártica (Armenia, Bélgica, Bulgaria, China, Eslovaquia, España, Francia, Georgia, Grecia, Hungría, Irán, Italia, Noruega, Polonia, Reino Unido, Rusia (oeste), Suiza, Turquía, Ucrania, Yugoslavia) (Migeon, Dorkeld, 2006-2015). La información sobre la biología de esta especie es escasa.



**Figura 1.** Diferentes estados del desarrollo de *Tetranychopsis horridus*. a) Larva; b) Protoninfa; c) Deutoninfa; d) Hembra adulta. Fuente de información: elaborado para la presente edición.



**Figura 2.** Características morfológicas de hembras de *Tetranychopsis horridus*. a) Uñas y empodios; b) Pelos espatulados (“tenent hairs”); c) Setas dorsales insertas en tubérculos; d) Setas hysterosomales; e) Peritremas.

En referencia a la importancia económica en cultivos de avellanos, en España, Irán o Turquía donde es común encontrarla, los daños ocasionados por su actividad alimentaria son menores respecto de otras especies como *P. avellanae* (Nalepa), *T. urticae* (Koch), *P. ulmi* (Koch) o *B. rubrioculus*

(Scheuten) (Villalonga *et al.*, 1990; Sultan, 1992; Pahlavan Yalia *et al.*, 2012). Sin embargo, en la plantación afectada del Valle Inferior del Río Negro los daños productivos fueron importantes por la alta intensidad del ataque que se extendió rápidamente en 8 hectáreas, afectando un gran número de



**Figura 3.** Síntomas provocados por *T. horridus* en avellano. a) Aspecto general de una planta atacada por *T. horridus*; b) Rama con crecimiento anormal de brotes. Fuente de información: elaborado para la presente edición.

yemas vegetativas y florales. Asimismo, se prevé una disminución en el rendimiento de la próxima temporada como consecuencia de la reducción del crecimiento vegetativo en la temporada con presencia del ácaro, ya que el avellano produce sus frutos en ramas del año anterior. Esto condice con lo expuesto por Jeppson *et al.* (1975), quienes afirman que la especie genera daños económicos en los avellanos.

## CONCLUSIÓN

Al ser este el primer registro de la mencionada especie para el país, se realizó la comunicación correspondiente al Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas (SINAVIMO) (31-X-2014) según lo dispuesto en la Res. Senasa 778/04.

La aparición de este ácaro y los daños producidos en una plantación comercial de avellano demandan la obtención de mayor información sobre esta plaga exótica en lo que respecta a su distribución, aspectos de su biología y desarrollo de estrategias de manejo, protección y control. La intensificación de las actividades de relevamientos y muestreos programados en las próximas temporadas, enmarcadas en el proyecto “Generación y desarrollo de tecnología para la detección, seguimiento, predicción, prevención y control de vectores, plagas emergentes y/o limitantes de la producción frutícola argentina”, abren la posibilidad de profundizar en los aspectos antes mencionados para planificar, a futuro, las acciones correspondientes.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Gilberto de Moraes (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ), por su generosidad al ceder su tiempo para confirmar la identificación.

A los productores de avellanos por facilitar el acceso a sus plantaciones y por la colaboración en los muestreos del material.

## BIBLIOGRAFÍA

- CATARCIONE, G.; VITTORI, D.; RUGINI, E.; DE PACE, C. 2011. Significant levels of phenotypic and genetic variation for eriophyoid mite control is present in hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivated accessions and breeding populations. Proceedings of the Joint Meeting AGI-SIBV-SIGA. Italy. ([http://www.geneticagraria.it/attachment/Abstract\\_2011/3A\\_06.pdf](http://www.geneticagraria.it/attachment/Abstract_2011/3A_06.pdf), verificado 13 de noviembre de 2014).
- DE BERASATEGUI, L. 1997. El avellano en Argentina. Información técnica N.º13. Estación experimental agropecuaria del Valle Inferior del Río Negro. Convenio IDEVI-INTA pp. 64.
- KRANTZ, G.W.; WALTER, D.E. 2009. *A manual of acarology*. Third Edition. Lubbock: Texas Tech University Press, 319-326.
- JEPPSON, L.R.; KEIFER, H.H.; BAKER, E.W. 1975. Mites injurious to economic plants. Univ. Calif. Press, Berkeley, California, EE.UU. pp. 614.
- LINDQUIST, E.E. 1985. Anatomy, phylogeny and systematics. External Anatomy. (Eds. Helle, W.; Sabelis, M.W. en *World Crop Pests. Spider mites. Their biology, natural enemies and control*). Elsevier, Vol. 1B, pp. 3-28.

- MARTIN, D.M.; GONZALEZ, M.F.; GALLO, S.L.; MONGABURE, A. P.; BAFFONI, P.F. 2015. Primer reporte de *Parthenolecanium persicae* en avellano (*Corylus avellana* L.) en Argentina. ix Congreso Argentino de Entomología. Acta 10: 31.
- MIGEON, A.; DORKELD, F. 2006-2015. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. (<http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>, verificado 27 de noviembre de 2014).
- MORAES, G.; SABELIS, M.; WELBOURN, C.; OCHOA, R. 2011. Agricultural Acarology: Prostigmata Handouts. Acarology Summer Program. Ohio State University. Pp. 375.
- MITRAFANOV, B.I.; SHARONOV, A.A. 1985: El macho de *Tetranychopsis horridus* (Acariformes, Bryobiidae). Acta Zoologica, 4: 75-76.
- PAHLAVAN YALIA, M.; RAZMJOUA, J.; KHANJANIB, M.; GOLIZADEHA, A.; HASSANPOURA, M. 2012. Life history traits of *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago) (Acari: Tetranychidae) at three constant temperatures. Intl. J. Acar. 38 (3): 251-256.
- PRITCHARD, A.E.; BAKER, E. 1955. A revision of the spider mite. Family Tetranychidae. Pac. Coast. Ent. Soc., Mem. 2: pp. 472.
- REGONAT, M; HEIT, G.; AUÑON, N.; DE BRIANO, A.E.; CORTESE, P. 2013. Vigilancia fitosanitaria de *Brevipalpus chilensis* (Baker, 1949) (Acari: Tenuipalpidae) en Argentina. (Ed. ESTRADA VENEGAS, E., ACUÑA SOTO, J., CHAIRES GRIJALVA, M. y EQUIHUA MARTÍNEZ, A. Ácaros de importancia cuarentenaria en Latinoamérica. Sus efectos y su relevancia). Sociedad Mexicana de Entomología A.C., México: 16-31.
- Ozman, S.K.; Cobanoglu, S. 2000. Current status of hazelnut mites in Turkey. V International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 556, 479-488.
- RAHMANI, H.; KAMALI, K.; FATHIPOUR, Y. FARAJI, F. 2008. First report of the hazelnut mite *Tetranychopsis horridus* (Canestrini and Fanzago) (Acari: Tetranychidae) from Iran. Appl. Ent. Phytopath, 75:2-37.
- SULTAN, C. 1992. An annotated list of mites on hazel of turkey. Israel Journal of Entomology. Israel Journal of Entomology, 25-26, 35-40.
- SMITH MAYER, M. 1987. African Tetranychidae (Acari: Prostigmata) with reference to the world genera. Entomology Mem. Dep. Agric. Wat. Supply Repub. S. Afr. 69:1-175.
- TUTTLE, D.; BAKER, E.; ABBATIELLO, M. 1976. Siper mites of Mexico (Acari: Tetranychidae). Intl. J. Acar. 2(2.):1-103.
- VACANTE, V. 1983. Prima raccolta di acari tetranychidi in Sicilia. Phytophaga, 1: 41-114.
- VILLARONGA, P; GARCÍA-MARI, F.; FERRAGUT, F. 1990. Observaciones sobre la biología del ácaro *Tetranychopsis horridus* (Acari: Tetranychidae). Bol. San. Veg. Plagas, 16: 297-303.
- VILLARONGA, P.; GARCÍA-MARI, F. 1992. Relación entre las especies de ácaros Tetrániquidos y Fitoseidos en los avellanos de Tarragona. Bol. San. Veg. Plagas, 18: 441-454.
- WALTER, D. 2006. Invasive mite identification: Tools for quarantine and plant protection. (<http://itp.lucidcentral.org/id/mites/invasivemite/InvasiveMiteIdentification/key/Bryobiinae/Media/Html/Tetranychopsis.htm>, verificado 27 de noviembre de 2014).
- ZHANG, Z.Q.; HENDERSON, R.; FLYNN, A.; MARTIN, N. 2002. Key to Tetranychidae of New Zealand. MAF Science Policy, Proyect FMA 180. pp. 62.

# Variabilidad espacial de suelo a escala de lote y su relación con los rendimientos

CÓRDOBA, M.<sup>1</sup>; BRUNO, C.<sup>1</sup>; COSTA, J.<sup>2</sup>; BALZARINI, M.<sup>1</sup>

## RESUMEN

El manejo sitio-específico dentro de un lote requiere delimitar zonas homogéneas. Múltiples variables, tales como algunas propiedades del suelo, son usadas para la zonificación. El análisis de “*cluster fuzzy k-means*” (CFK) es aquí utilizado para la delimitación de zonas. El CFK puede aplicarse sobre las variables originales o sobre variables sintéticas derivadas del análisis de componentes principales (PCA). Sin embargo, PCA no considera la presencia de correlaciones espaciales. Por ello, proponemos el uso del método MULTISPATI-PCA, una nueva forma de PCA que contempla la información espacial. El método también es usado en el análisis de correlaciones canónicas para cuantificar la magnitud de la relación lineal entre variables de suelo y rendimientos. En este trabajo evaluamos la capacidad de cinco procedimientos multivariados para delimitar zonas homogéneas dentro de un lote: el análisis CFK sobre variables de suelo originales, CFK sobre componentes principales del PCA y sobre componentes principales espaciales. Finalmente incluimos particiones de los sitios del lote basadas en percentiles de variables canónicas que correlacionan rendimientos con componentes principales o con componentes principales espaciales, alternativamente. Se compararon las diferencias de rendimientos entre las zonas delimitadas por cada método. Se trabajó con datos de conductividad eléctrica aparente en dos profundidades (0-30 cm y 0-90 cm), elevación, profundidad de tosca y rendimientos de soja y trigo. El análisis de conglomerados sobre las componentes principales espaciales fue el mejor procedimiento para delimitar zonas homogéneas.

**Palabras clave:** datos espaciales, componentes principales, MULTISPATI-PCA.

## ABSTRACT

*Site-specific management requires delineation of homogeneous zones within the field. Several variables, such as some soil properties, are used for zonification. Fuzzy k-means cluster analysis (FKC) is here used to delimit zones. FKC is applied to original variables and to synthetic variables obtained with regular principal component analysis (PCA). However, PCA does not consider the presence of spatial correlations. We propose to use, MULTISPATI-PCA as an extension of PCA that considers spatial information. The method is also used in a canonical correlation analysis to quantify the magnitude of the linear relationship between crop yields and soil variables. In this paper, we evaluate the capacity of five multivariate procedures to delineate zones: FKC on soil variables, FKC on principal components and FKC on spatial principal components. Finally, we include field-site partitions based on percentiles of canonical variables that correlate yields with principal components or spatial principal components, alternatively. Yield differences between the delineated zones by each method were compared. We worked with apparent electrical conductivity data in two depths 0-30 cm and 0-90 cm, el-*

<sup>1</sup>Cátedra de Estadística y Biometría, FCA-UNC y CONICET, Av. Valparaíso s/n. (5000) Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
E-mail: mbalzari@agro.unc.edu.ar

<sup>2</sup>Estación experimental Balcarce INTA, Ruta 226 Km 73,5 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

evation, hardpan depth and soybean and wheat yields. Cluster analysis on spatial principal components, was the best procedure to delineate zones.

**Keywords:** spatial data, principal components, MULTISPATI-PCA.

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variabilidad del rendimiento dentro de lotes en producción agrícola es esencial para el manejo sitio específico (MSE), uno de los objetivos de la agricultura de precisión (AP). El punto de partida para aplicar este tipo de manejo es delimitar zonas homogéneas dentro de los lotes. Estas subregiones constituyen áreas con características similares, tales como textura, topografía, estado hídrico y niveles de nutrientes del suelo (Moral *et al.*, 2010). Las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía son frecuentemente utilizadas para delimitar zonas de manejo (ZM). La conductividad eléctrica aparente (CE) a distintas profundidades es una importante variable para delimitar zonas, ya que su variabilidad es indicador de la distribución espacial de otras propiedades de suelo (Corwin y Lesch 2010; Moral *et al.*, 2010; Rodríguez-Pérez *et al.*, 2011). Asimismo, la elevación del terreno también provee información para la delimitación de zonas homogéneas, debido a que afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos y por tanto es buena indicadora de la variabilidad espacial del rendimiento. En suelos pampeanos, bajo cultivo de granos, la profundidad del horizonte petrocálcico –conocido localmente como tosca– es otra variable que puede resultar útil para la delimitación de ZM. La profundidad de tosca afecta la distribución espacial del agua acumulada en el perfil y, consecuentemente, determina la variabilidad espacial de los rendimientos de los cultivos (Peralta *et al.*, 2011).

Dado que en cada sitio del lote se recolecta un conjunto de variables y que el rendimiento depende de todas estas y sus correlaciones, resulta apropiado analizarlas simultáneamente. El método de análisis multivariado más difundido para este fin es el análisis de conglomerados mediante el cual cada sitio del lote es asignado a un conglomerado o *cluster* y estos pueden ser usados como ZM (Li *et al.*, 2007; Ortega y Santibáñez, 2007; Arno *et al.*, 2011). Un software especialmente desarrollado para la delimitación de ZM es Management Zone Analyst (MZA) el cual forma conglomerados con el algoritmo no supervisado *fuzzy k-means* (CFK) (Fridge *et al.*, 2004).

El método CFK suele aplicarse usando como inputs las variables de suelo medidas originalmente o, alternativamente, combinaciones lineales de estas que tienen en cuenta las correlaciones esperables entre las variables. El análisis de componentes principales (PCA) es comúnmente usado para construir estas combinaciones lineales o componentes principales (Schepers *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2007; Xin-Zhong *et al.*, 2009; Moral *et al.*, 2010). Sin

embargo, estos métodos no tienen en cuenta las correlaciones entre datos, debido a la presencia de estructuras de dependencia esperable en datos espaciales. Dray *et al.* (2008) proponen una forma de PCA que incorpora la información espacial previa a la conformación de las variables sintéticas, el método es conocido como MULTISPATI-PCA. La restricción dada por los datos espaciales se incorpora mediante el índice de Moran que mide la dependencia o correlación espacial entre las observaciones en un sitio y el promedio de las observaciones en el vecindario de ese sitio. MULTISPATI-PCA ha resultado provechoso en estudios de suelos realizados a escala macrogeográfica (Arrouays *et al.*, 2011), pero su aplicación en una escala fina como la del lote agrícola es poco conocida.

Otra técnica basada en correlaciones entre variables es el análisis de correlaciones canónicas (ACC). El ACC permite cuantificar la magnitud de la relación lineal entre dos grupos de variables métricas, unas consideradas como variables dependientes y otras como independientes. Dado que para un mismo clima, los rendimientos están fuertemente determinados por las variables de suelo, se supone que las variables canónicas asociadas a la correlación entre datos de rendimientos cosechados en los distintos sitios de un lote y las variables edáficas de los mismos sitios podrían suministrar información para la partición de sitios en función de su potencial productivo a escala fina. Debido a que el ACC tampoco tiene en cuenta las correlaciones atribuidas a estructuras espaciales (uni o multivariadas), incorporar información espacial también podría realizarse usando componentes principalmente espaciales para la construcción de las variables canónicas. En este trabajo proponemos usar los componentes principales espaciales obtenidos de un análisis MULTISPATI-PCA sobre las variables edáficas. Las variables sintéticas canónicas del grupo de atributos edáficos –derivadas desde PCA o desde MULTISPATI-PCA– son posteriormente usadas para particionar los sitios y delimitar zonas homogéneas. El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de esta gama amplia de procedimientos estadísticos propuestos para la delimitación de zonas homogéneas en un lote a partir de datos de suelo georreferenciados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos

Se trabajó con un lote de 65,4 ha en producción de trigo y soja de segunda, ubicado al sudeste pampeano de la

provincia de Buenos Aires, Argentina. Se compilaron valores georreferenciados de conductividad eléctrica aparente (CE) [ $\text{mS m}^{-1}$ ] en dos profundidades 0-30 cm (CE30) y 0-90 cm (CE90), elevación [m], profundidad de tosca [cm] y rendimiento de soja [ $\text{t ha}^{-1}$ ] y trigo [ $\text{t ha}^{-1}$ ]. Los valores de CE fueron tomados utilizando un sensor (Veris 3100, Division of Geoprobe Systems, Salina, KS) que utiliza el principio de la inducción electromagnética. El sensor Veris 3100 recorrió el lote en una serie de transectas paralelas espaciadas a intervalos de 15 a 20 m. El instrumento fue calibrado, según las instrucciones del fabricante, antes de la recolección de los datos. Los datos de CE fueron simultáneamente georreferenciados con un DGPS (Trimble R3, Trimble Navigation Limited, USA) con una exactitud de medición submétrica y configurado para tomar la posición del satélite cada segundo. Los datos de elevación del terreno también se midieron con un DGPS y se procesaron para obtener una precisión vertical de entre 3 y 5 cm aproximadamente. Las mediciones de profundidad de tosca se realizaron utilizando un penetrómetro hidráulico (Gidding) acoplado a un DGPS en una grilla regular de 30 m. Para cuantificar el rendimiento en grano del cultivo se utilizó un monitor de rendimiento acoplado a un equipo de cosecha conectados a un DGPS.

Los datos fueron sometidos a procedimientos de depuración vía la construcción de gráficos box-plots para la identificación de valores extremos. Debido a las diferentes resoluciones espaciales de las variables medidas, se promediaron los datos de CE30, CE90, elevación, rendimientos de soja y de trigo, que se encontraban dentro de un radio de 14 m desde cada uno de los 664 sitios, dentro del lote, donde se había registrado la profundidad de la tosca. Este procedimiento se realizó utilizando el software Idrisi Taiga (Eastman *et al.*, 2009). La matriz de datos resultante estuvo conformada por  $n=672$  sitios (filas) y  $p=5$  variables (columnas).

### Simulación

Para complementar la evaluación de los procedimientos realizadas sobre datos reales, también se trabajó con datos simulados. Se generó un proceso aleatorio Gaussiano bajo un modelo espacial utilizando un variograma exponencial para simular valores de CE30, CE90, elevación, profundidad de tosca y rendimiento de soja. Se simularon 100 realizaciones utilizando para cada variable los parámetros estimados a partir de los datos reales. En cada realización se obtuvo una matriz de datos de dimensión  $700 \times 5$ . La simulación se realizó de manera que las variables presentaran una componente espacial individual y una componente común para generar correlación espacial entre ellas (Diggle y Ribeiro, 2007). Las simulaciones se realizaron utilizando el paquete geoR (Ribeiro y Diggle, 2001) del software libre R (R Development Core Team, 2012).

### Procedimientos analíticos

Se realizó un análisis de conglomerados fuzzy-k means (CFK) a partir de las variables de suelo medidas inicialmen-

te (CFK-VS) con el software Management Zone Analyst 1.0.1 (MZA) (Fridgen *et al.*, 2004). Debido a que las variables de suelo presentaban varianzas desiguales y covarianzas no nulas, se utilizó como medida de similitud la distancia de Mahalanobis. Otras opciones de configuración del software, utilizadas para nuestro estudio, fueron: número máximo de iteraciones=300, criterio de convergencia=0.0001, mínimo número de zonas=2 y número máximo de zonas=6. El exponente difuso se fijó en el valor convencional de 1,30 (Odeh *et al.*, 1992). Para determinar el número de zonas dentro del lote, se utilizaron dos índices de desempeño; la entropía normalizada de la clasificación (Normalized Classification Entropy, NCE) y el índice de rendimiento difuso (Fuzziness Performance Index, FPI) (Odeh *et al.*, 1992). El número seleccionado de zonas se determinó cuando ambos índices, NCE y FPI, se redujeron al mínimo, lo que representa el menor grado de solapamiento (FPI) o la mayor cantidad de organización (NCE) creada por la partición difusa de la matriz de datos original (Fridgen *et al.*, 2004).

El método CFK también fue implementado sobre componentes principales de variables de suelo. Para el procedimiento denotado como CFK-CP, se seleccionaron las tres primeras componentes principales (CP1, CP2 y CP3) y estas fueron usadas en MZA para el análisis de cluster. Adicionalmente se obtuvieron tres nuevas variables sintéticas a partir de MULTISPATI-PCA (C<sub>Pe</sub>1, C<sub>Pe</sub>2 y C<sub>Pe</sub>3) que también fueron usadas como inputs de MZA con una configuración de parámetros idéntica a la clasificación anterior, el procedimiento fue denotado como CFK-C<sub>Pe</sub>. Finalmente, se utilizó el ACC para evaluar la relación entre las variables de rendimiento y las tres primeras componentes principales de cada tipo de análisis de componentes principales. Se obtuvieron nuevas variables sintéticas de la primera correlación canónica significativa, tanto con el ACP (ACC-CP) como desde las derivadas de MULTISPATI-PCA (ACC-C<sub>Pe</sub>). Las variables canónicas fueron posteriormente clasificadas por el percentil 50. El software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2012) y la librería ade4 (Chessel *et al.*, 2004) del software R (R Development Core Team, 2012) fue utilizada para el ACC, PCA y MULTISPATI-PCA; para este último análisis también se usó la librería spdep (Bivand *et al.*, 2012).

### Criterio de evaluación de los procedimientos

Para comparar el desempeño de los métodos implementados basándose en las variables de suelo se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) evaluando la significancia estadística ( $\alpha=0,05$ ) de las diferencias entre rendimiento promedio de las zonas delimitadas por cada método. Este análisis fue aplicado sobre la base de datos real y sobre cada una de las 100 simulaciones. El ANOVA se realizó bajo un modelo de clasificación lineal mixto considerando las correlaciones espaciales entre las observaciones vía un modelo exponencial (Schabenberger y Pierce, 2002). Se compararon no solo la magnitud de las diferencias en rendimiento de las zonas delimitadas, sino también la va-

rianza residual (desviación estándar dentro de la zona y error estándar –EE– de la diferencia de medias de zonas).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

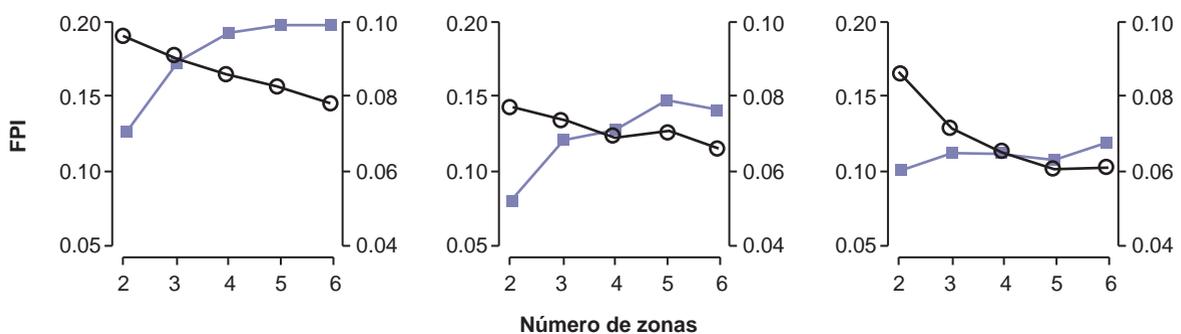
### Comparación de los métodos multivariados para la delimitación de zonas homogéneas

Se representaron gráficamente los valores de FPI y NCE y el número de cluster k (número de zonas) para cada método de cluster usado (figura 1). El número óptimo de zonas se determina cuando FPI y NCE alcanzan el valor mínimo. Como mencionan Arno *et al.* (2011), mientras que la minimización de la FPI es útil porque el solapamiento entre cluster disminuye, la minimización de NCE es importante porque el grado de organización aumenta como consecuencia de la partición de la matriz de datos. La expectativa inicial de obtener un resultado coincidente para ambos índices no se cumplió. Por lo tanto, como recomienda Lark

y Stafford, (1997), se seleccionó el menor número de clases que en este caso fue de dos.

En la tabla 1 se presentan los resultados del ANOVA usado para comparar los rendimientos promedios entre las dos zonas definidas por cada método. El análisis de cluster basado en las componentes principales de variables de suelo así como las particiones basadas en ACC fueron los métodos, entre los comparados, que delimitaron zonas con diferencias estadísticamente significativas de rendimiento tanto para soja como para trigo. CFK-CPe permitió identificar zonas con mayores diferencias entre las medias ajustadas de rendimiento y menor variabilidad residual, en consecuencia, el EE para las medias de zonas es menor.

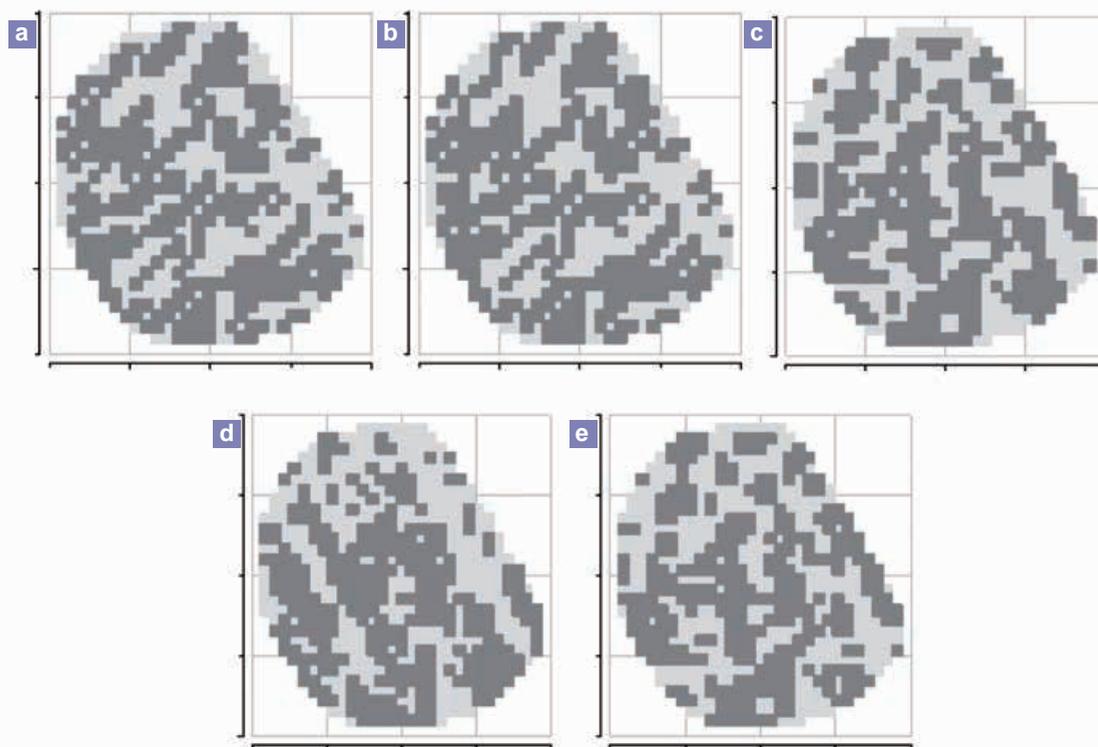
En la figura 2 se muestra las dos zonas definidas a partir de cada uno de los cinco procedimientos comparados. Aun cuando las diferencias visuales entre los mapas no son grandes, los rendimientos difirieron entre una y otra zona en los mapas 2c, 2d y 2e.



**Figura 1.** Fuzziness Performance Index (FPI, círculos) y Normalized Classification Entropy (NCE, cuadrados) para tres métodos de zonificación basados en el análisis de cluster fuzzy k-means (CFK) sobre variables de suelo originales, componentes principales y componentes principales espaciales (CFK-VS, CFK-CP y CFK-CPe).

Método	Estimaciones	Rendimiento de Soja (RS)		Rendimiento de Trigo (RT)	
		Zona I	Zona II	Zona I	Zona II
CFK-VS	Media	1.792 <sup>a</sup>	1.814 <sup>a</sup>	3.680 <sup>a</sup>	3.691 <sup>a</sup>
	EE	0,035	0,036	0,125	0,125
CFK-CP	Media	1.781 <sup>a</sup>	1.827 <sup>a</sup>	3.672 <sup>a</sup>	3.702 <sup>a</sup>
	EE	0,035	0,036	0,125	0,125
CFK-CPe	Media	1.675 <sup>a</sup>	1.910 <sup>b</sup>	3.563 <sup>a</sup>	3.805 <sup>b</sup>
	EE	0,031	0,03	0,11	0,11
ACC-CP	Media	1.730 <sup>a</sup>	1.876 <sup>b</sup>	3.637 <sup>a</sup>	3.746 <sup>b</sup>
	EE	0,034	0,034	0,118	0,119
ACC-CPe	Media	1.687 <sup>a</sup>	1.918 <sup>b</sup>	3.579 <sup>a</sup>	3.814 <sup>b</sup>
	EE	0,03	0,031	0,11	0,11

**Tabla 1.** Rendimientos promedios de soja y trigo, para dos zonas homogéneas delimitadas, según método de zonificación.



**Figura 2.** Zona 1 (gris claro) y zona 2 (gris oscuro) de un lote según cinco métodos de zonificación: a) CFK-VS, b) CFK-CP, c) CFK-CPe, d) ACC-CP y e) ACC-CPe.

Método	ZM con diferencias en rendimiento (%)	> Magnitud Diferencias (%)	< Variabilidad residual dentro de cada ZM (%)
CFK-VS	67	27	21
CFK-CP	79	34	36
CFK-CPe	81	39	43

**Tabla 2.** Resultados de la simulación. Porcentaje de simulaciones que identifican zonas homogéneas con diferencias significativas de rendimiento.

\*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias ajustadas de rendimiento para las distintas zonas de manejo delimitadas

El advenimiento de las nuevas tecnologías de información espacial utilizadas en la AP, proporcionan a los productores la posibilidad de obtener información y manejar de manera diferencial pequeñas áreas dentro del lote (Bullock *et al.*, 2007). Las zonas de manejo no son necesariamente estáticas y posiblemente varíen ante cambios que surgen en el manejo del lote a través de las campañas. Por ello, los mapas de variabilidad y la clasificación de los sitios en zonas constituyen una práctica iterativa constantemente evaluada y ajustada, por lo que es importante utilizar los métodos estadísticos más apropiados para la delimitación de zonas.

Sin bien no existen reglas fijas para la elección del tamaño y la forma de las zonas de manejo y la limitación suele estar dada por la habilidad del productor de poder

manejarlas individualmente (dimensiones y capacidades del parque de maquinaria, características físicas del lote y patrón de trabajo de la maquinaria) (Roel *et al.*, 2007), siempre interesan zonas cuyas diferencias se expresen en los rendimientos. En este trabajo el tamaño total de las zonas delimitadas con el método CFK-CPe fueron 30.08 y 35.32 ha para la zona I y II, respectivamente, con diferencias de rendimiento del 10% entre zonas tanto para soja como para trigo.

### Resultados de simulaciones

En la tabla 2 se presentan indicadores de la performance relativa de los procedimientos de cluster comparados, ob-

tenidos desde las simulaciones. El método CFK-CPe detectó diferencias estadísticamente significativas entre rendimiento de las zonas delimitadas en un 81% de las base de datos simuladas, mientras que CFK-CP y CFK-VS en el 79 y 67%, respectivamente. Además CFK-CPe en el 39% de las simulaciones identificó zonas con mayor magnitud en las diferencias de medias de rendimiento. En el 43% de los análisis realizados sobre datos simulados, CFK-CPe generó zonas con menor variabilidad residual.

## CONCLUSIONES

En la base de datos reales usada en este trabajo, el método CFK sobre variables de suelo no resultó el mejor método para delimitar zonas homogéneas con diferencias estadísticamente significativas respecto a su potencial productivo. El mismo resultado se obtuvo con CFK-CP, el cual ha sido ampliamente utilizado en trabajos para delimitar zonas de manejo. El análisis de cluster fuzzy k-means aplicado a las componentes principales espaciales delimitó zonas dentro del lote con mayores diferencias en rendimiento y menor variabilidad de rendimiento dentro de las zonas. El resultado observado en la aplicación de este procedimiento sobre una base de datos experimental fue corroborado con un estudio de simulación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Ing. Agr. Nahuel Peralta de la EEA INTA Balcarce, por su ayuda en la recopilación de los datos que se ofrecen en los campos donde se realizó el estudio. El presente trabajo forma parte de la tesis doctoral de Mariano Córdoba (becario de posgrado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)) para obtener el doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

## ABREVIATURAS

ACC: análisis de correlaciones canónicas.

ACC-CP: clasificación basada en el percentil 50 de variables canónicas que correlacionan rendimientos con componentes principales de variables de suelo.

ACC-CPe: clasificación basada en el percentil 50 de variables canónicas que correlacionan rendimientos con componentes principales espaciales de variables de suelo.

AP: agricultura de precisión.

CE: conductividad eléctrica aparente.

CE30: conductividad eléctrica aparente a 30 cm de profundidad.

CE90: conductividad eléctrica aparente a 90 cm de profundidad.

CFK: Cluster fuzzy k-means.

CFK-CP: Cluster fuzzy k-means aplicado a componentes principales.

CFK-CPe: Cluster fuzzy k-means aplicado a componentes principales espaciales.

CFK-VS: Cluster fuzzy k-means aplicado a variables de suelo originales.

EE: error estándar.

MSE: manejo sitio específico.

PCA: análisis de componentes principales.

ZM: zonas de manejo.

## BIBLIOGRAFÍA

ARNO, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J.R. 2011. Clustering of grape yield maps to delineate site-specific management zones. *Span. J. Agric. Res.* 9(3), 721–729.

ARROUAYS, D.; SABY, N.P.A.; THIOULOUSE, J.; JOLIVET, C.; BOULONNE, L.; RATIÉ, C. 2011. Large trends in French topsoil characteristics are revealed by spatially constrained multivariate analysis. *Geoderma* 161:107–114.

BIVAND, R.S. 2012. *spdep: Spatial Dependence: Weighting Schemes, Statistics and Models*. R package version 0.5-46, URL <http://CRAN.R-project.org/package=spdep>.

BULLOCK, D.S.; KITCHEN, N.; BULLOCK, D.G. 2007. Multidisciplinary Teams: A Necessity for Research in Precision Agriculture Systems. *Crop Sci.* 47:1765–1769.

CHEssel, D.; DUFOUR A.B.; THIOULOUSE, J. 2004. The *ade4* package-I- One-table methods. *R News* 4:5–10.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. 2010. Delineating site-specific management units with proximal sensors. En: OLIVER, M. (Ed.) *Geostatistical applications in precision agriculture*. Springer. Nueva York. pp. 139–165.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. *InfoStat* versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JNR, P.J. 2007. *Model-based Geostatistics*. Springer, Nueva York, p. 228.

DRAY, S.; SAID, S.; DEBIAS, F. 2008. Spatial ordination of vegetation data using a generalization of Wartenberg's multivariate spatial correlation. *J. Veg. Sci.* 19:45–56.

EASTMAN, J.R. 2009. *IDRISI Taiga* (Worcester, MA: Clark University).

FRIDGEN, J.J.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; WIEBOLD, W.J.; FRAISSE, C.W. 2004. Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agron. J.* 96:100–108.

LARK, R.M.; STAFFORD, J.V. 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Ann. Appl. Biol.* 130:111–121.

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.; LI, H.Y. 2007. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Comp. Electron. Agric.* 56:174–186.

MORAL, F.J.; TERRÓN, J.M.; MARQUES DA SILVA, J.R. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil Till. Res.* 106:335–343.

- ODEH, I.O.A.; MCBRATNEY, A.B.; CHITTLEBOROUGH, D.J. 1992. Soil pattern recognition with fuzzy c-means: application to classification and soil-landform interrelationship. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:505–516.
- ORTEGA, R.A.; SANTIBAÑEZ, O.A. 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Comp. Electron. Agric.* 58:49–59.
- PERALTA, N.R.; CASTRO FRANCO, M.; Costa, J.L. 2011. Relación espacial entre variables de sitio y rendimiento para la delimitación de zonas de manejo mediante el uso de herramientas informáticas. Congreso AgroInformática. Córdoba, Argentina.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- RIBEIRO JNR, P.J.; DIGGLE, P.J. 2001. geoR: A package for geostatistical analysis. *R News*, 1(2):15–18.
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; PLANT, R.E.; LAMBERT, J.J.; SMART, D.R. 2011. Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. *Precis. Agric.* 12(6): 775–794.
- ROEL, A.; TERRA, J. 2007. Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento. En: BONGIOVANNI, R. *et al.*, (Eds.) *Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. PROCISUR/IICA, Montevideo. pp. 65–80.
- SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F.J. 2002. Contemporary statistical models for the plant and soil sciences. Taylor and Francis, CRC Press, Florida, p. 738.
- SCHEPERS, A.R.; SHANAHAN J.F.; LIEBIG M.A.; SCHEPERS J.S.; JOHNSON S.H.; LUCHIARI Jr A. 2004. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agron. J.* 96:195–203.
- XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WEI-HONG, H.; YAN-TAO, L. 2009. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. *Comp. Electron. Agric.* 65:168–175.

# Heredabilidad de la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow) en familias FS de caña de azúcar (*Saccharum* spp)

SIMÓN, G.<sup>1</sup>; COLLAVINO, N.<sup>2</sup>; GRAY, L.<sup>3</sup>; MARIOTTI, J.<sup>2</sup>.

## RESUMEN

La caña de azúcar es una especie cultivada de gran complejidad genética. Se postula que la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow) tendría base poligénica u oligogénica con efectos principalmente aditivos y de interacción génica. El empleo de variedades resistentes es el método de control más eficaz, por lo que resulta importante investigar el mecanismo genético que determina la expresión de este atributo. La finalidad de este trabajo fue estimar en poblaciones híbridas la heredabilidad de la resistencia a la roya común, como la regresión de las medias de las progenies sobre las medias de los padres. En la localidad de Barro Negro (Ingenio Río Grande, Jujuy) se investigaron durante tres años consecutivos ocho familias FS BIP (biparentales), involucrando 11 progenitores con diferentes expresiones de resistencia a la enfermedad.

La regresión conjunta a través de años permitió estimar una  $h^2 = 0,66$  (determinación 48%), con valores de 0,90, 0,85 y 0,33 para los años 1, 2 y 3, respectivamente. Las diferencias entre años se explican por la variabilidad de componentes ambientales y probablemente por las cambiantes estructuras poblacionales de *P. melanocephala*. Los resultados indican la predominancia de efectos genéticos aditivos en la determinación de la resistencia, que explicarían un 92% de la varianza genética total.

La heredabilidad es un buen indicador del potencial de los padres para transmitir resistencia a las progenies, lo que permite orientar la selección de combinaciones híbridas que incrementen la frecuencia de aparición de recombinaciones resistentes. Los resultados indican una naturaleza poligénica en la determinación de la resistencia a la roya común en los materiales investigados. Este tipo de resistencia podría complementarse con otros mecanismos de resistencia mediados por genes mayores, contribuyendo a la sostenibilidad de la resistencia.

**Palabras clave:** *Saccharum*, roya, *Puccinia melanocephala*, resistencia, heredabilidad.

## ABSTRACT

*The genetics of cultivated sugar cane as crop is complex. Resistance to common rust (Puccinia melanocephala H. et P. Sydow) seems to have a polygenic or oligogenic genetic basis, showing mainly*

<sup>1</sup>Cátedra de Mejoramiento Genético, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Dirección postal: Alberdi 47, (4600) Jujuy, Argentina. Correo electrónico: simongraciela@yahoo.com

<sup>2</sup>Cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (UNSa).

<sup>3</sup>Cátedra de Mejoramiento Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu).

Recibido 30 de octubre de 2015 // Aceptado 11 de febrero de 2016 // Publicado online 30 de marzo de 2016

additive and interaction genetic effects. The use of resistant varieties is accepted to be the best suited method for its control, which justifies research on acting genetic mechanisms. The aim of the research was to estimate heritability of resistance to common rust by means of the regression of hybrid progenies means on parents resistance means. Eight hybrid FS families (BIP) involving 11 parents with different degrees of resistance were investigated for three consecutive years at Barro Negro (Rio Grande Factory, Jujuy, Argentina).

Joint regression across years estimated heritability as  $h^2 = 0.66$  (determination 48%) with values of 0.90, 0.85 and 0.33 for years 1, 2 and 3, respectively. Differences among years are explained by variation of environmental components and probably also due to variation in the population genetic structure of *P. melanocephala*. Results indicate the predominance of additive genetic effects determining resistance, which explain 92% of total genetic variation.

Heritability indicates the potential of parents to transmit resistance to their progenies, enabling the selection of appropriate hybrid combinations for increasing the frequency of resistant progenies. Results strongly indicate a polygenic nature of the genetic determination of common rust resistance in these materials. This type of resistance could be complemented with other reported mechanisms contributing to sustain the resistance.

**Keywords:** *Saccharum*, rust, *Puccinia melanocephala*, resistance, heritability.

## INTRODUCCIÓN

En el noroeste argentino se cultivan unas 365 mil hectáreas con caña de azúcar lo que convierte a la industria azucarera en la segunda actividad de mayor importancia económica. Se reconoce que la base genética de las variedades cultivadas en esta región es muy limitada, lo que genera una situación de alta vulnerabilidad para el sistema productivo frente a riesgos fitosanitarios (Pocovi y Mariotti, 2015).

Los programas de mejora genética deben proponerse la obtención de variedades resistentes a las enfermedades de mayor importancia. Este es el caso de la roya "común" o "marrón" causada por *Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow, en donde el cultivo de variedades resistentes sería la forma más eficaz de control (Ryan y Egan, 1989; Raid y Comstock, 2000; Asnaghi et al., 2000). Rago (2005) destaca la importancia de incluir para Argentina el carácter de resistencia a roya como criterio de selección. La resistencia a roya marrón parece presentar una alta heredabilidad (Comstock et al., 1992; Hogarth et al., 1993) por lo que resultaría eficaz la selección de progenitores resistentes.

El mejoramiento de la caña de azúcar se dificulta por la complejidad de su genoma de origen híbrido interespecífico y con alto grado de aneuploidía, por lo que resulta de interés investigar las bases genéticas de la resistencia, el modo de acción genética y su heredabilidad.

Tai et al. (1981) sobre la base de un análisis jerárquico realizado en trece familias F1 y dos S1 (derivadas de autofecundaciones) postularon una marcada segregación transgresiva hacia la susceptibilidad, con predominio de variancia genética de dominancia. También sugieren la

ocurrencia de efectos maternos, predominancia de efectos genéticos no-aditivos y de ambiente común. A pesar de este postulado la regresión de la progenie sobre las medias de los padres resultó en ese estudio de 0,81, lo que indicaría una alta heredabilidad para este carácter en los materiales investigados.

Hogarth et al. (1983) discrepan con las conclusiones propuestas por Tai et al. por considerar que la metodología analítica utilizada fue incorrecta, el diseño genético y la metodología de análisis fueron inapropiados por lo que resultaba imposible detectar efectos aditivos.

En un trabajo posterior Hogarth et al. (1993) concluyen que la resistencia a roya es un carácter altamente heredable, estimando que el 90% de la variancia genética sería de origen aditivo, por lo que la selección de padres resistentes debe producir principalmente progenies resistentes, mientras que un cruzamiento entre padres susceptibles difícilmente producirá progenies resistentes. Sin embargo, Simón et al. (2011) determinaron la ocurrencia de combinaciones con diferentes grados de resistencia en todas las familias investigadas. Familias provenientes de combinaciones resistentes (RxR) generaron progenies susceptibles y del mismo modo familias provenientes de combinaciones susceptibles (SxS) generaron algunas progenies resistentes, situación que reforzaría la hipótesis de que la herencia a la roya marrón es de naturaleza poligénica; lo mismo indicaría la relativamente baja frecuencia de casos extremos (altamente resistentes o altamente susceptibles) respecto de las mayores frecuencias de tipos intermedios (moderadamente resistentes y moderadamente susceptibles).

Ramdoyal *et al.* (2000) y Asnaghi *et al.* (2000) sugieren una base poligénica cuantitativa para la resistencia a la roya común, posiblemente con la contribución de varios genes de pequeño efecto. En contraste, Daugrois *et al.* (1996) encontraron evidencia de una segregación de tipo monogénica para la resistencia en progenies derivadas por autofecundación de la variedad R570. Este gen de resistencia, denominado posteriormente *Bru1*, fue localizado en un grupo de ligamiento homólogo en la misma variedad R570 (Asnaghi *et al.*, 2004).

La identificación del gen *Bru1*, en opinión de Glynn *et al.* (2013), establece un cambio de paradigma en el enfoque y estrategia de la mejora genética para la resistencia a roya. Este gen fue detectado mediante marcadores específicos en el 27% de los materiales utilizados en cruzamientos en Florida (EE. UU.), con una frecuencia del 42% entre los clones CP (Canal Point) por lo que resulta ser la principal fuente de resistencia en estos materiales. Consideran también que sería importante incorporar otros genes de resistencia como una manera de prevenir posibles quiebres de resistencia del gen mayor *Bru1*.

Según Priestly (1978) el uso de pocos genes de resistencia acompañado de una estrecha base genética puede conducir a una situación de riesgo que describe como ciclos de "auge y declive" (*boom-and-bust cycle*). El "auge" se produce cuando los cultivares resistentes se expanden en el área cultivada y a la vez, los mejoradores utilizan esos genotipos como padres para el desarrollo de nuevos cultivares, estrechando progresivamente la base genética de los materiales. Esta situación proporciona a la población del patógeno una buena oportunidad para la generación de nuevas razas virulentas. Eventualmente la resistencia se quiebra y nuevas razas virulentas proliferan rápidamente determinando un "declive" en corto plazo.

En Argentina se cita el caso de la variedad LCP 85-384 difundida por sus cualidades de rendimiento y por ser resistente a roya y que sin embargo, quebró su resistencia en los últimos años (Rago *et al.*, 2009). El quiebre de la resistencia en esta misma variedad fue también registrada en Louisiana (EE. UU.) en donde se había utilizado extensivamente como progenitor de nuevas variedades (Glynn *et al.*, 2013). Resulta entonces de importancia estratégica para la mejora genética continua, diversificar fuentes de resistencia a la roya marrón.

Estudios recientes sobre la presencia del gen mayor *Bru1*, en germoplasma utilizado en Argentina, permitieron detectar que entre 49 genotipos resistentes a roya, solamente 8 presentaban este gen de resistencia, lo que sugiere la ocurrencia de otras fuentes genéticas de resistencia a la enfermedad en los materiales fitotécnicos utilizados (Racedo *et al.*, 2013).

Pocovi *et al.* (2010) determinaron que en la región del noroeste de Argentina *P. melanocephala* se presentaría como una única población indiferenciada de uredosporos con un alto grado de variabilidad genética intrínseca.

Recientemente se detectó también en el NE argentino la presencia de "Roya anaranjada" (*P. kuehni*) en plantacio-

nes de caña de azúcar (Rago, 2015; comunicación personal) lo cual puede significar un importante riesgo para toda la zona cañera de Argentina. Comstock *et al.* (2015) destacan que la roya naranja es una enfermedad emergente en el hemisferio occidental, cuyas bases genéticas para la resistencia serían diferentes a las de la roya común.

En estudios previos sobre el tipo de acción génica involucrada en la herencia de la resistencia a roya común se establecieron grados de determinación genética (H) entre 0,60 a 0,85, considerados moderadamente altos a altos, lo que hace suponer buenas respuestas esperadas a la selección para este carácter. También se encontró que la interacción Familia x Año fue altamente significativa (Simón *et al.*, 2011).

Con el objetivo de profundizar en el estudio de la herencia del carácter resistencia a roya marrón y la posible incidencia de factores ambientales, se presentan en este trabajo estimaciones de heredabilidad en el sentido estricto utilizando progenies derivadas de combinaciones progenitoras contrastantes respecto de su susceptibilidad a la enfermedad en diferentes años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales experimentales utilizados fueron progenies híbridas derivadas de cruzamientos biparentales de caña de azúcar realizados en la Chacra Experimental Colonia Santa Rosa, Centro Azucarero Regional del Norte Argentino.

Se escogieron ocho familias F1 derivadas de cruzamientos entre padres caracterizados *a priori*, según su respuesta a la roya común evaluada a campo e identificados como Resistentes (R) o Susceptibles (S) (tabla 1).

Las ocho familias F1, cada una de ellas representadas por 30 genotipos de hermanos completos (FS) escogidos de manera aleatoria de cada población original, fueron reproducidas agámicamente en microparcels (*single hills*) y distribuidas en un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones que se evaluaron en tres años consecutivos.

El ensayo de campo se realizó en la localidad Barro Negro (Ingenio Río Grande, Jujuy, Argentina) ubicada a 24°18'25" LS y 64°55'59" LW, región caracterizada por una alta incidencia de la enfermedad, lo que aseguraba una fuente natural de inóculo.

Las precipitaciones y temperaturas registradas para el ciclo del cultivo en los años del experimento fueron las siguientes (datos aportados por el Ingenio Río Grande):

- Año 1: 636,50 mm y temperatura media de 22,29 °C.
- Año 2: 433,50 mm y temperatura media de 21,09 °C.
- Año 3: 923,50 mm y temperatura media de 21,58 °C.

Se incluyó en el ensayo una variedad testigo (NA 86-2280), altamente susceptible a la roya, con la finalidad de potenciar y homogeneizar la fuente natural de inóculo para la evaluación de la resistencia.

	Madre	Padre	Respuesta
Familia 1	NA 94-984	NA 89-1090	Resistente x Resistente
Familia 2	NCO 310	NA 78-639	Susceptible x Susceptible
Familia 3	NA 91-212	LCP 85-384	Resistente x Resistente
Familia 4	LCP 85-384	NA 89-1090	Resistente x Resistente
Familia 5	NA 91-1290	NA 85-1602	Susceptible x Susceptible
Familia 6	NA 85-1602	NA 84-3013	Susceptible x Susceptible
Familia 7	Q 136	RB 72-454	Resistente x Resistente
Familia 8	NA 85-1602	NA 89-1090	Susceptible x Resistente

**Tabla 1.** Familias biparentales (BIP) utilizadas indicando progenitores y grados de resistencia a roya.

En el experimento también se incorporaron los progenitores de las familias seleccionadas, los que fueron replicados agámicamente y utilizados como referencias.

El manejo agronómico del experimento (control de malezas, fertilización y riegos) se realizó utilizando las prácticas habituales en la zona.

La resistencia a la roya fue evaluada en cada familia y en cada uno de los genotipos dentro de las familias entre los meses de enero a mayo de cada año, en las edades de “caña planta”, “soca 1” y “soca 2” (también mencionados en el texto como años 1, 2 y 3, respectivamente).

Las evaluaciones de la enfermedad a campo se realizaron conforme a la escala propuesta por Tai *et al.* (1981) ampliamente aceptada internacionalmente, la que asigna valores de resistencia entre 0 a 9, en las que 0 es “ausencia de síntomas” y 9 “alta susceptibilidad” según observaciones visuales de la concentración de pústulas y la aparición de manchas necróticas en las hojas. Esta misma escala modificada para valores de 1 a 9 fue utilizada en los trabajos de Asnaghi *et al.*, 2000; Raboin *et al.*, 2006; Costet *et al.*, 2012; Xiao-Yan *et al.*, 2013.

Se estimó la heredabilidad en sentido estricto a partir de la Regresión del Promedio de las Progenies sobre el promedio de ambos Progenitores:  $b_{op} = h^2$  (Mariotti y Collavino, 2015).

Los análisis estadísticos se hicieron empleando el programa informático INFOSTAT (Di Rienzo *et al.* InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La regresión de las medias de progenies sobre el progenitor medio analizada en conjunto para las 3 edades de corte resultó altamente significativa estimándose una heredabilidad en sentido estricto de 0,66 y una determinación ( $R^2$ ) del 48% (tabla 2, figura 1). El valor de  $R^2$  indica que casi la mitad de la variación de los valores de resistencia

en las progenies puede ser explicada por la variación de los valores de resistencia en los padres en el conjunto de los tres años. Este valor es menor que el informado por Tai *et al.* (1981), lo que es de esperar teniendo en cuenta que esta estimación es la que resulta para el conjunto de los tres años del experimento, es la más representativa del comportamiento de las progenies investigadas. De acuerdo con Pocovi *et al.* (2010) la población del patógeno en la Argentina estaría constituida por una mixtura de esporas genéticamente diversas, lo que permitiría una variación de su constitución en diferentes años que explicaría también la menor heredabilidad encontrada para el conjunto de los años investigados.

Por una parte, Simón *et al.* (2011) determinaron anteriormente que por cada unidad de incremento en la resistencia media de los padres puede recuperarse alrededor de un 8% más de genotipos resistentes, lo cual resulta congruente con los resultados obtenidos en este trabajo. Por otra parte, si se relaciona la  $h^2$  estimada con el promedio de los GDG familiares informados anteriormente por Simón *et al.*, se puede estimar que el 92% de la variabilidad genética disponible para resistencia a roya en estas progenies sería de origen aditivo, valor muy próximo al informado por Hogarth *et al.* (1983).

El mismo procedimiento analítico se utilizó también para investigar por separado cada edad de corte, lo que implica una muestra variable de ambientes (Años). Por las características de la enfermedad y su forma de difusión, cada año de observación puede considerarse independiente de los otros por tratarse de una enfermedad no sistémica que en cada año reinicia el proceso de infección y no presenta huéspedes alternativos.

En el Año 1 (Primer corte) la regresión resultó significativa, con un valor estimado de heredabilidad de 0,90 y un coeficiente de determinación de 59% (tabla 3).

Los valores mencionados indican una alta heredabilidad, con casi un 60% de los valores de resistencia exhibidos por las progenies que se pueden explicar por la variación de la resistencia en los padres (figura 2).

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Medias Progenies	24	0,48	0,46	0,69	54,80	58,33

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	1,21	0,37	0,44	1,98	3,26	0,0036	
<b>Medias</b>							
Progenitores	0,66	0,15	0,36	0,97	4,50	0,0002	20,43

Tabla 2. Análisis de regresión lineal para las 3 edades de corte en forma conjunta.

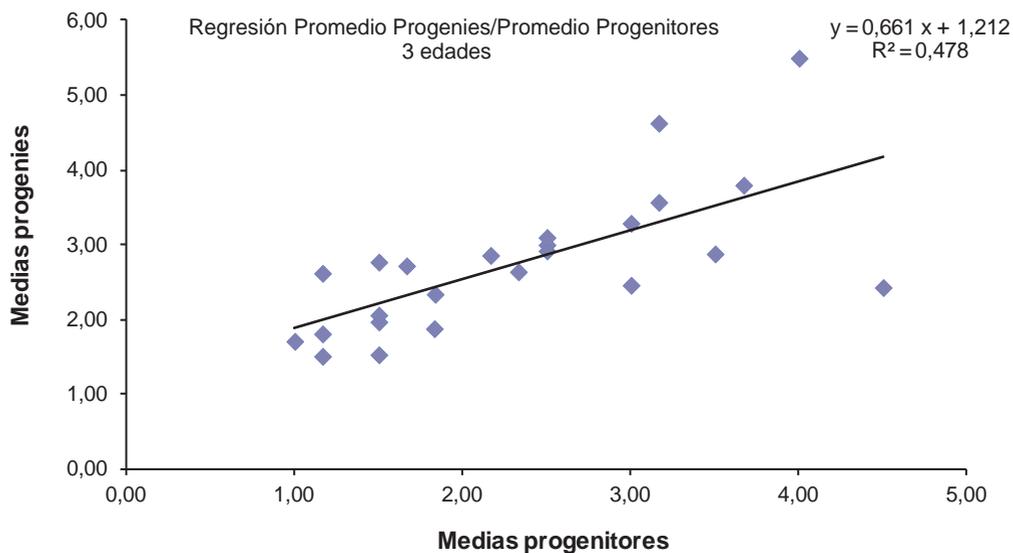
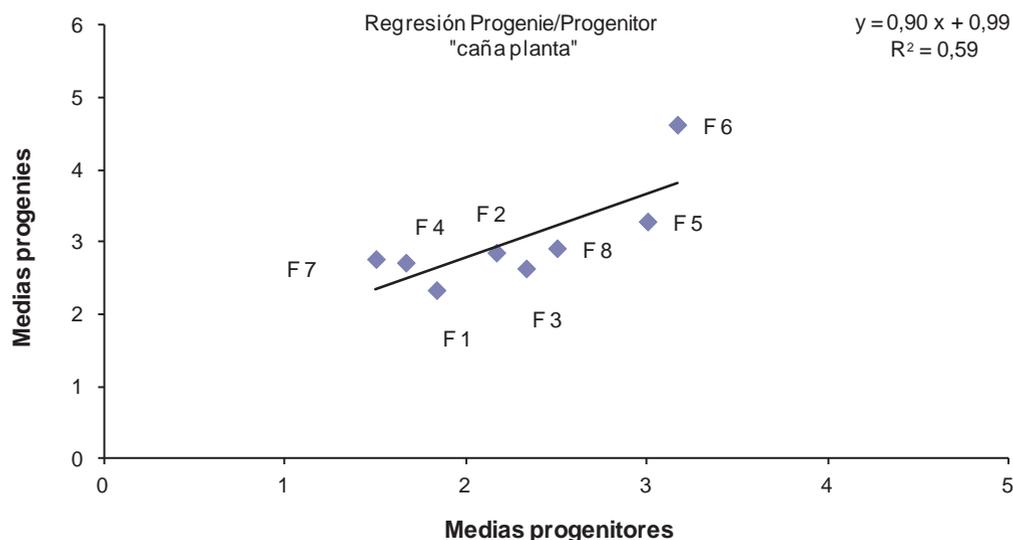


Figura 1. Regresión del promedio de las progenies en el promedio de ambos progenitores en las tres edades de corte. Los valores refieren a la escala de resistencia según Tai *et al.* (1981) explicada en el texto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Medias Progenies	8	0,59	0,52	0,58	14,86	15,09

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	0,99	0,71	-0,76	2,73	1,38	0,2159	
<b>Medias</b>							
Progenitores	0,9	0,3	0,15	1,64	2,94	0,0259	8,56

Tabla 3. Análisis de regresión lineal "caña planta".



**Figura 2.** Regresión progenie/progenitor “caña planta”. Los valores refieren a la escala de resistencia según Tai *et al.* (1981) explicada en el texto.

En el Año 2 (edad “soca 1”) la campaña agrícola se presentó atípica para la zona, registrándose una importante condición de sequía. Esta situación afectó la presión del inóculo y consecuentemente la incidencia de la enfermedad. No obstante ello, el valor estimado para la regresión resultó también altamente significativo, estimándose una heredabilidad en sentido estricto de 0,85 con un elevado coeficiente de determinación (73%), el mayor de los tres años (tabla 4, figura 3). Las heredabilidades estimadas en los años 1 y 2 resultan muy próximas a las informadas por Tai *et al.* (1981).

En el Año 3 (edad “soca 2”), el valor de la heredabilidad fue bajo (0,33) y no significativo estadísticamente que resultó en una determinación de tan solo el 11%, lo que indica que el ajuste para el modelo lineal fue insatisfactorio en este caso (tabla 5, figura 4). Este resultado sugiere la ocurrencia de interacciones entre las resistencias observadas en los materiales y los ambientes en que se expresan y

explican la menor heredabilidad estimada en el análisis conjunto de los tres años.

Se destaca que en el Año 3 las precipitaciones registradas fueron de 923 mm, muy superiores a la de los años anteriores. Esto determinó un ambiente favorable para el desarrollo de la enfermedad, lo que se expresa en una mayor presión del inóculo y alta incidencia de la enfermedad.

Las condiciones ambientales favorables para la infección indujeron una menor discriminación de las resistencias entre los genotipos dentro de las familias intermedias y a la vez acentuaron los comportamientos de las familias extremas.

Se aprecia que las diferencias entre los años de observación tienen que ver con los efectos ambientales que determinan las características de las epidemias y eventualmente con diferencias en la estructura poblacional del patógeno, en coincidencia con lo propuesto por Glynn *et al.* (2013) que sugieren que las variaciones entre años po-

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Medias Progenies	8	0,73	0,69	0,22	5,16	5,40

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	0,64	0,33	-0,18	1,46	1,90	0,106	
<b>Medias</b>							
Progenitores	0,85	0,21	0,34	1,37	4,03	0,0069	15,08

**Tabla 4.** Análisis de regresión lineal “soca 1”.

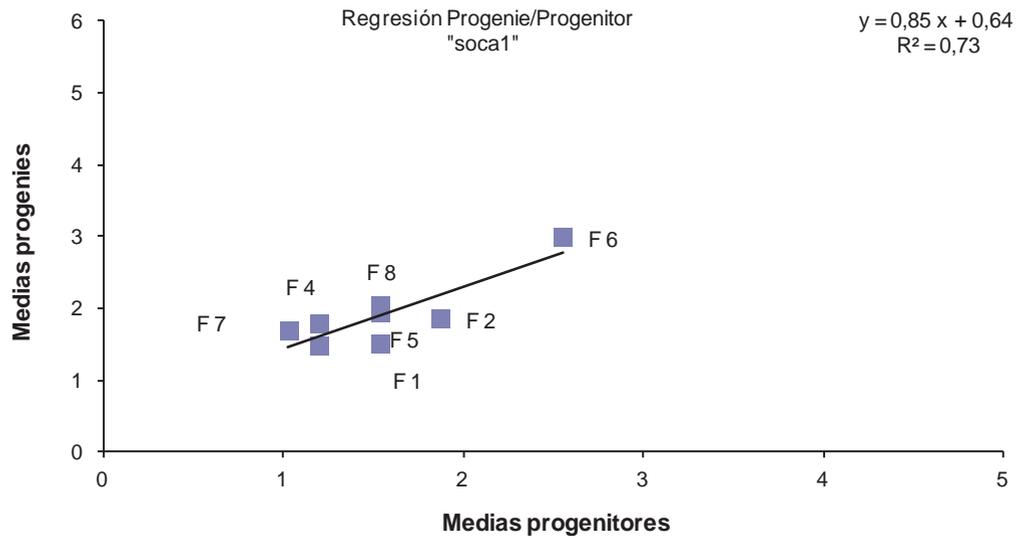


Figura 3. Regresión progenie/progenitor "soca 1". Los valores refieren a la escala de resistencia según Tai *et al.* (1981) explicada en el texto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Medias Progenies	8	0,11	0,00	1,94	27,04	27,28

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	2,24	1,28	-0,9	5,38	1,74	0,1318	
<b>Medias</b>							
Progenitores	0,33	0,39	-0,61	1,27	0,86	0,4228	1,78

Tabla 5. Análisis de regresión lineal "soca 2".

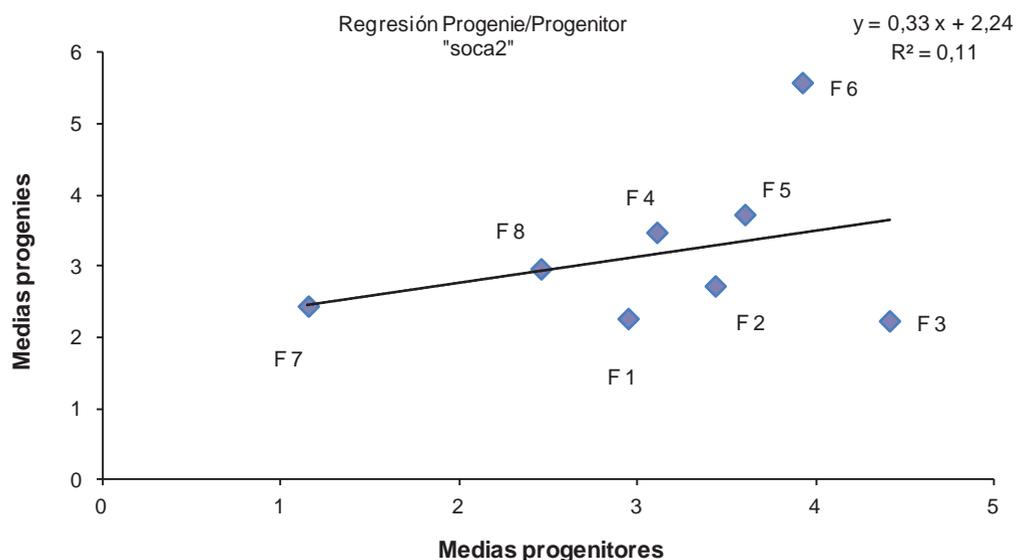


Figura 4. Regresión progenie/progenitor "soca 2". Los valores refieren a la escala de resistencia según Tai *et al.* (1981) explicada en el texto.

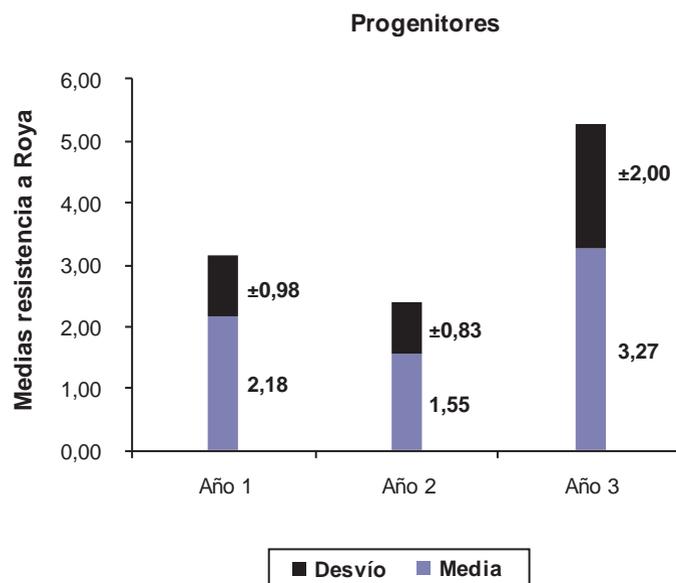


Figura 5. Grados de resistencia a roya para los progenitores para los tres años.

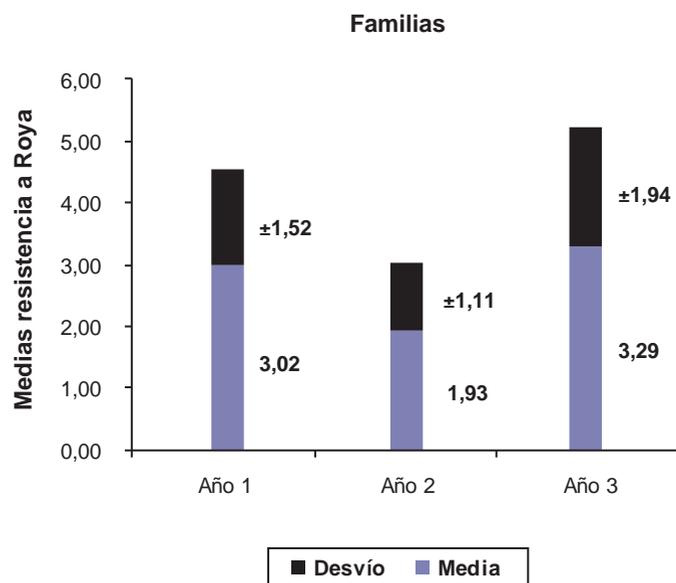


Figura 6. Grados de resistencia a roya para las familias para los tres años.

drían deberse a diferencias ambientales entre estaciones y a diferencias en las poblaciones de los patógenos. Estas diferencias también pueden inducir interacciones entre resistencias observadas y ambientes de expresión.

Los progenitores mostraron en general una mayor resistencia a la roya que sus progenies híbridas derivadas. En cuanto a las amplitudes observadas en las expresiones de

resistencia en los padres, estas oscilaron entre  $1,55 \pm 0,83$  en el Año 2 a  $3,27 \pm 2,00$  en el Año 3. Similar tendencia se observa en el caso de las resistencias registradas en las familias, entre  $1,93 \pm 1,11$  en el Año 2 a  $3,29 \pm 1,94$  en el Año 3 (figuras 5 y 6).

A pesar de estas diferencias entre años, todas las familias muestran en las tres edades un comportamiento relati-

vamente estable en relación con los niveles de resistencia y en razonable correspondencia con las resistencias exhibidas por sus progenitores. Las familias 1, 3 y 7 se presentan como las más resistentes en las tres edades y coinciden con las combinaciones progenitoras del tipo RxR; la familia 6 claramente como la más susceptible (SxS), mientras que las demás familias muestran comportamientos intermedios, observándose una baja frecuencia de interacciones de pequeña magnitud (figura 7). En el caso de la familia 2 derivada de una combinación del tipo SxS, se observa que uno de los padres (NCO 310) no se comportó en este experimento como susceptible, sino como moderadamente resistente (figura 8). Debe notarse también que LCP 85-384, inicialmente clasificada como resistente, parece quebrar su resistencia durante el desarrollo del experimento, lo que se registra en el tercer año en esta variedad (figura 8) y en la familia 4 en donde interviene como progenitor.

La factibilidad de recuperar recombinaciones con cierto grado de resistencia en familias que integran progenitores calificados como susceptibles (Simón *et al.*, 2011) sugieren una base predominantemente poligénica en los materiales investigados.

En el caso de los progenitores, en cambio, se presentaron interacciones de mayor magnitud entre años (figura 8). Este contraste se puede explicar porque en el promedio de los comportamientos individuales dentro de cada una de las familias tienden a moderarse las interacciones en el nivel familiar al intervenir los valores de resistencia promedios correspondientes a los 30 diferentes genotipos que

las integran, mientras que los progenitores son genotipos únicos. Debe considerarse que en el caso de las familias se presentan diferentes recombinaciones genotípicas para la resistencia las que en su conjunto determinan menores niveles de interacción con el ambiente (figuras 9 y 10).

Los padres NA 89-1090, NCO 310, RB 72-454 y Q 136 mostraron los mayores valores de resistencia en los tres años de observación y amplitudes entre 1,00 a 1,67, excepto NCO 310 que alcanzó un valor de 2,33 en el tercer año, que fue el de mayor incidencia de la enfermedad.

Los padres NA 91-212, NA 84-3013, NA 94-984, NA 78-639 y LCP 85-384 presentaron resistencias de grados 2,00 a 3,00 en los dos primeros años, pero en el tercer año expresaron valores más altos, entre 3,67 a 5,00, en coincidencia con la mayor incidencia de la enfermedad. Puntualmente la variedad LCP 85-384 registró un promedio de resistencia de 1,83 en los dos primeros años a un valor de 5,0 en el tercer año, en respuesta a la mayor presión de inóculo. Esta observación coincidiría con lo informado por Rago *et al.* (2009) y Glynn *et al.* (2013) respecto de un “quiebre” de la resistencia a la roya en esta variedad, que actualmente se reconoce como altamente susceptible (Racedo *et al.*, 2013). Tanto Glynn *et al.* (2013) como Racedo *et al.* (2013) informan que el gen *Bru1* no se encuentra presente en LCP 85-384, lo que agregado a la información anterior parece sugerir la presencia de algún otro gen mayor de resistencia en esta variedad, el que no ha podido ser identificado, y que podría ser el causante del quiebre de la resistencia constatado en esta variedad tanto en Luisiana como en Argentina.

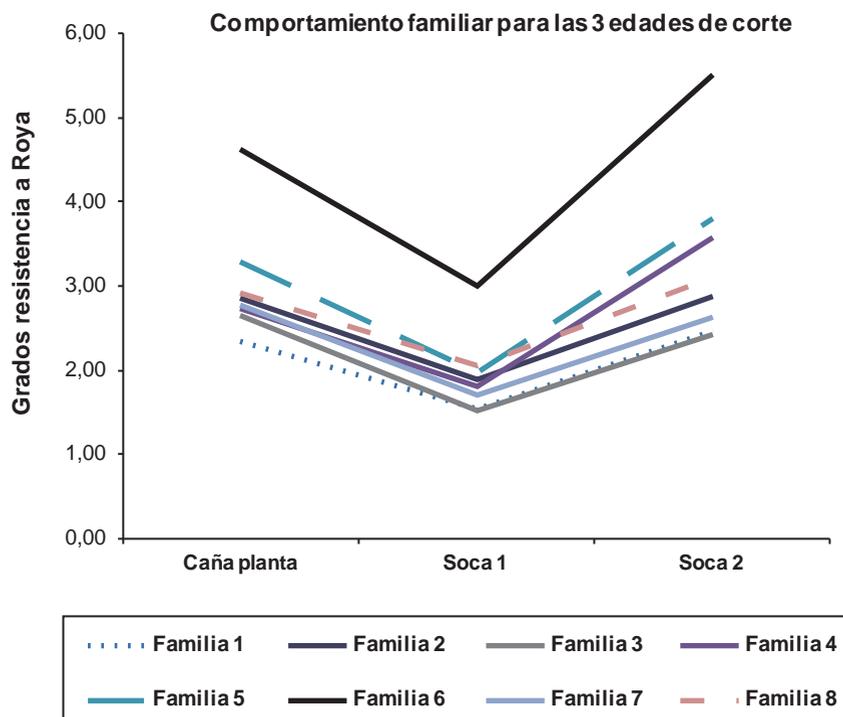


Figura 7. Comportamiento familiar para grado de resistencia a roya marrón en las tres edades.

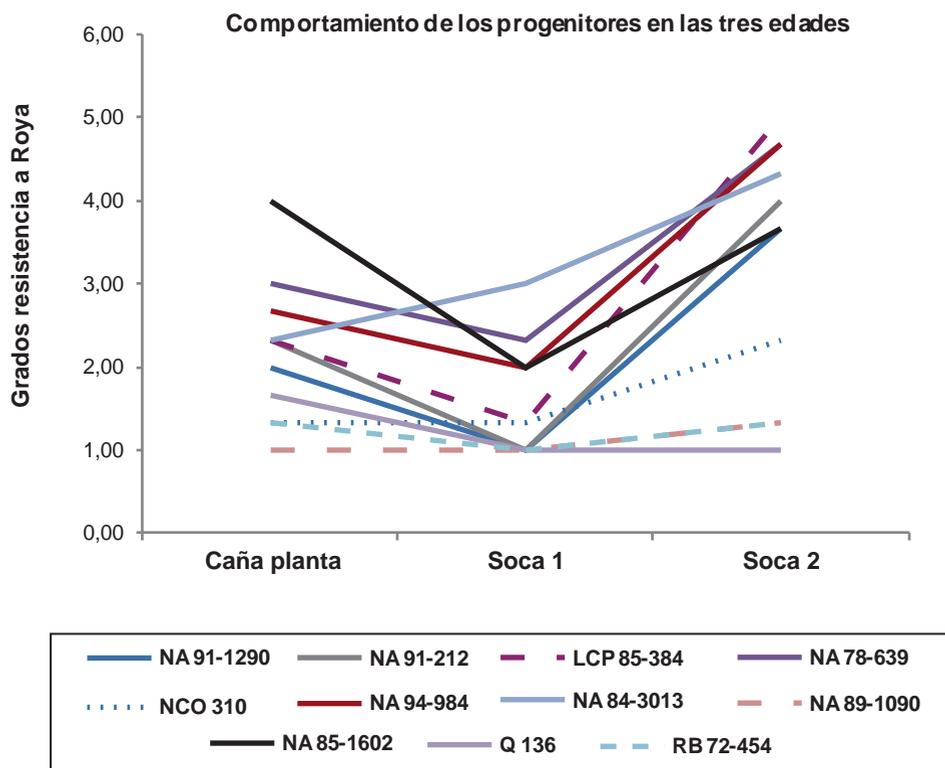


Figura 8. Comportamiento de los progenitores para grado de resistencia a roya marrón en las tres edades.

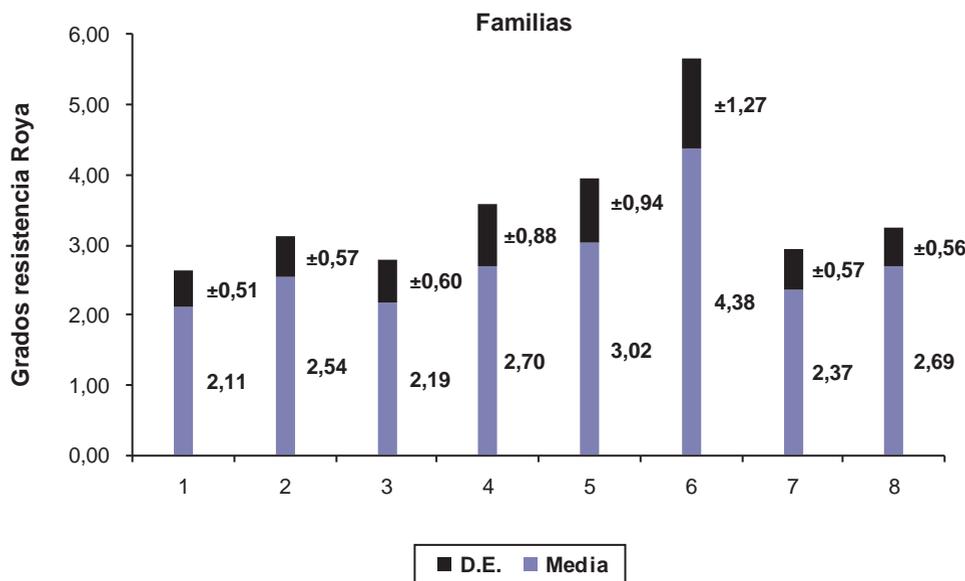


Figura 9. Comportamiento (promedios y desviaciones) en las familias en los tres años en forma conjunta.

Los resultados indican una naturaleza preponderantemente poligénica en la determinación de la resistencia a roya en los materiales investigados. Este tipo de resistencia podría combinarse con otros mecanismos

mediados por genes mayores (como *Bru1*) para asegurar niveles apropiados de resistencia ante la eventualidad de posibles quiebres inducidos por este tipo de genes.

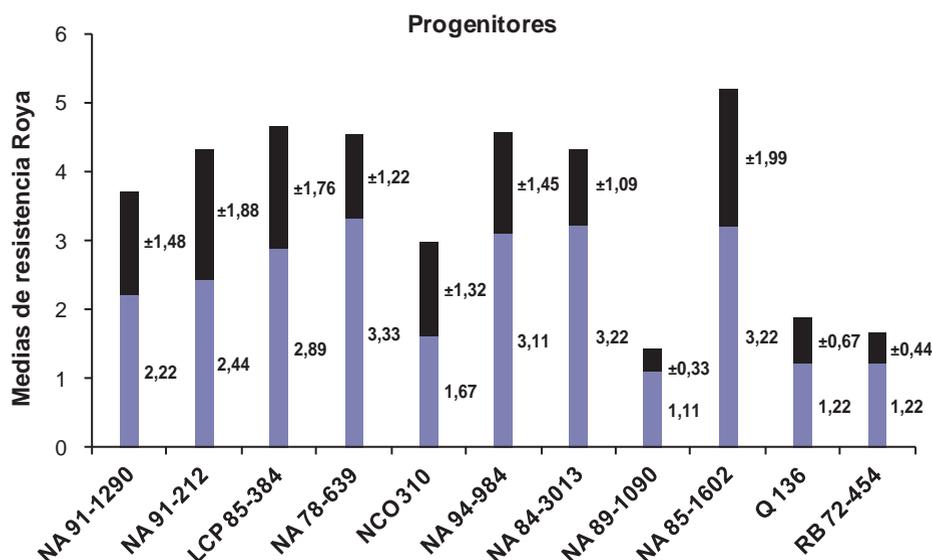


Figura 10. Comportamiento (promedios y desviaciones) en los progenitores en los tres años en forma conjunta.

## CONCLUSIONES

Los valores de heredabilidad encontrados en el conjunto de años y particularmente en los Años 1 y 2 indican la predominancia de efectos génicos aditivos en la expresión de la resistencia a roya común en los materiales investigados.

Los niveles de heredabilidad alcanzados indican la factibilidad de orientar la selección de progenitores resistentes, generando combinaciones que mejoren el potencial de recuperación de genotipos también resistentes.

Cuando se presentan situaciones ambientales extremas que favorecen el desarrollo de la enfermedad (Año 3), la presión del inóculo afecta la expresión de las resistencias y consecuentemente la estimación de la heredabilidad, no permitiendo la discriminación certera de los genotipos, por lo que resulta importante extender las observaciones de resistencia en diferentes años.

Los resultados indican una naturaleza poligénica en la determinación de la resistencia a roya. Este tipo de resistencia podría combinarse con otros mecanismos de resistencia mediado por genes mayores (*Bru1* u otros) para asegurar niveles apropiados de resistencia ante la eventualidad de quiebres inducidos por genes mayores.

Se postula que las condiciones ambientales más favorables para la selección de resistencia a roya común en un sistema de inoculación natural, corresponden con ambientes no extremos, lo que favorece la diferenciación de los tipos de resistencia en escalas visuales apropiadas.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico y de apoyo de la Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa, del Ingenio Río Grande y de la Estación Experimental INTA Famaillá por la colaboración prestada en el transcurso de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASNAGHI, C.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J.C.; ROTT, P. 2000. Resistance of sugarcane cultivar R 570 to *Puccinia melanocephala* isolates from different geographic locations. *Plant Disease* 85 (3):282–286.
- ASNAGHI, C.; ROQUES, D.; RUFFEL, S.; KAYE, C.; HOARAU, J.Y.; TÉLISMART, H.; GIRARD, J.C.; RABOIN, L.M.; RISTERUCI, A.M.; GRIVET, L.; D'HONT, A. 2004. Targeted mapping of a sugarcane rust resistance gene (*Bru1*) using bulked segregant analysis and AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics* 108 (4):759–764.
- COMSTOCK, J.C.; WU, K.K.; SCHNELL, R.J. 1992. Heritability of resistance to *Puccinia melanocephala*, the common rust pathogen of sugarcane. *Sugarcane Vol. 6*:7-10.
- COMSTOCK, J.C.; OVALLE, W.; CHAVARRIA, E.; GLYNN, N.C.; CASTLEBURY, L.S.; RAID, R.N.; OROZCO, H. 2015. Royá naranja de la caña de azúcar, una enfermedad emergente: su impacto y comparación con la roya marrón. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales, Año 5, N.º 7*: 10-19.
- COSTET, L.; LE CUNFF, L.; ROYAERT, S.; RABOIN, L.M.; HERVOUET, C.; TOUBI, L.; TELISMART, H.; GARSMEUR, O.; ROUSSELLE, Y.; PAUQUET, J.; NIBOUCHE, S.; GLASZMANN, J.C.; HOARAU, J.Y.; D'HONT, A. 2012. Haplotype structure around *Bru1* reveals a narrow genetic basis for brown rust resistance in modern sugarcane cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 125: 825-836.
- DAUGROIS, J.H.; GRIVET, L.; ROQUES, D.; HOARAU, J.Y.; LOMBARD, H.; GLASZMANN, J.C.; D'HONT, A. 1996. A putative major gene for rust resistance linked with a RFLP marker in sugarcane cultivar 'R570'. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 92 (8): 1059-1064.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Verificado 2014
- GLYNN, N.C.; LABORDE, C.; DAVIDSON, R.W.; IREY, M.S.; GLAZ, B.; D'HONT, A.; COMSTOCK, J.C. 2013. Utilization of a major brown rust resistance gene in sugarcane breeding. *Mol Breeding*. 31:323-331.

- HOGARTH, D.M.; RYAN, C.C.; SKINNER, J.C. 1983. Inheritance of resistance to rust in sugarcane. *Comments. Field Crops Research* 7:313-316.
- HOGARTH, D.M.; RYAN, C.C.; TAYLOR, P.W.J. 1993. Quantitative inheritance of rust resistance in sugarcane. *Field Crops Research* 34:187-193.
- MARIOTTI, J.A.; COLLAVINO, N.G. 2015. Los caracteres cuantitativos en la mejora genética de los cultivos. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. 325 p.
- POCOVI, M.I.; RECH, G.E.; COLLAVINO, N.G.; CARUSO, G.B.; RÍOS, R.; MARIOTTI, J.A. 2010. Molecular diversity of *Puccinia melanocephala* populations. *Journal of Phytopathology* 158:769-775.
- POCOVI, M.I.; MARIOTTI, J.A. 2015. A bayesian approach to inferring the genetic population structure of sugarcane accessions from INTA (Argentina). *Chilean Journal of Agricultural Research* 75, 2.
- PRIESTLY, R. 1978. Detection of increased virulence in populations of wheat yellow rust. En: SCOTT, P.R.; BAINBRIDGE, A. (Eds.). *Plant disease epidemiology*. Oxford, Blackwell Scientific, pp 63-70.
- RABOIN, L.M.; OLIVEIRA, K.M.; LECUNFF, L.; TELISMART, H.; ROQUES, D.; BUTTERFIELD, M.; HOARAU, J.Y.; D'HONT, A. 2006. Genetic mapping in sugarcane, a high polyploid, using bi-parental progeny: identification of a gene controlling stalk color and a new rust resistance gene. *Theoretical and Applied Genetics* 112: 1382-1391.
- RACEDO, J.; PERERA, M.F.; BERTANI, R.; FUNES, C.; GONZÁLEZ, V.; CUENYA, M.I.; D'HONT, A.; WELIN, B.; CASTAGNARO, A.P. 2013. Bru1 gene and potential alternative sources of resistance to sugarcane brown rust disease. *Euphytica* 191 (3) : 429-436
- RAGO, A. M. 2005. Variabilidade patogênica de *Puccinia melanocephala* e *Ustilago asitaminea* no Estado de São Paulo. Thesis (MSc.) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", São Paulo. Brasil. 43 p.
- RAGO, A.M.; PÉREZ GÓMEZ, S.G.; SOPENA, R.A.; FELIPE, A. 2009. Evolución de la Roya Marrón (*Puccinia melanocephala*) de la caña de azúcar en lotes comerciales de Tucumán. Libro de resúmenes XVIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Termas de Río Hondo, Santiago del Estero. E 083
- RAID, R.N.; COMSTOCK, J.C. 2000. Common rust. En: A guide to sugarcane diseases. En ROTT, P.; BAILEY, R.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.; SAUMTALLY, S. (Eds.) Montpellier, Francia, CIRAD/ISSCT. 85-89.
- RAMDOYAL, K.; SULLIVAN, S.; LIM SHIN CHONG, L.C.Y.; BADALOO, G. H.; SAUMTALLY, S.; DOMAINGUE, R. 2000. The genetics of rust resistance in sugar cane seedling populations. *Theoretical and Applied Genetics* 100 (3-4): 557-563.
- RYAN C.C.; EGAN B.T. 1989. Rust. En: RICAUD, C.; EGAN, B.T.; GILLASPIE, A.G.; HUGHES; C.G. (Eds.) *Diseases of Sugarcane. Major Diseases*. Elsevier Science publisher. B.V., Ámsterdam, Países Bajos, 189-210 pp.
- SIMÓN, G.E.; ZAMPINI, S.M.; COLLAVINO, N.G.; MARIOTTI, J.A. 2011. Evaluación de la resistencia genética a la roya común (*Puccinia melanocephala*), en cruzamientos híbridos biparentales de caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*. Ediciones INTA. Año 1 N.º 1: 15-20.
- TAI, P.Y.P.; MILLER, J.D.; DEAN, J.L. 1981. Inheritance of resistance to rust in sugarcane. *Field Crops Research* 4:261-268.
- XIAO-YAN, W.; WEN-FENG, L.; YING-KUN, H.; XIN, L.; ZHIMING, L.; JIONG, Y.; HONG-LI, S.; RONG-YUE, Z. 2013. Evaluation of sugarcane introgression lines for resistance to brown rust disease caused by *Puccinia melanocephala*. *Tropical Plant Pathology* 38 (2):097-101.

# Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay

TISCORNIA, G.<sup>1</sup>, CAL, A.<sup>1</sup> y GIMÉNEZ, A.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos (heladas, granizos, sequías, inundaciones) resultan en perjuicios importantes para la producción agropecuaria requiriendo de varios años para la recuperación económica y financiera del deterioro ocasionado. Un ejemplo de esto es la precipitación registrada a nivel nacional en diciembre de 2013 con anomalías negativas de 100 mm a 200 mm en contraste con las ocurridas al mes siguiente, enero de 2014, cuando se registraron anomalías positivas de 300 mm a 400 mm. Considerando esto, el análisis y caracterización de la variabilidad climática en Uruguay, como uno de los factores más relevantes para la producción agropecuaria, resulta de fundamental importancia para la gestión de riesgos asociados al clima. El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar los componentes de tendencia de largo plazo, decadal e interanual, de las variables climáticas consideradas relevantes para las actividades agropecuarias, en diferentes períodos del año y en determinadas zonas de Uruguay, siguiendo la metodología propuesta por Green *et al.* (2011) en la que se descompone la variabilidad climática en esas tres dimensiones. Según los resultados obtenidos se puede concluir que para todas las variables estudiadas y en todas las localidades y períodos analizados, la variabilidad interanual es la de mayor incidencia.

**Palabras clave:** variabilidad climática interanual, variabilidad climática decadal, tendencia climática de largo plazo.

## ABSTRACT

*Climate variability and extreme events associated with its (frost, hail, droughts, floods) result in serious damage to agricultural production, requiring several years for economic and financial recovery. An example of this, was the rainfall recorded during December 2013 with negative anomalies of 100mm to 200mm in contrast to January 2014 when positive anomalies were from 300mm to 400mm. Thus, climate variability in Uruguay is a very relevant factor and its analysis and characterization is critical to climate risk management. This study aimed to quantify the components of long-term trend, decadal and inter-annual variability of climate variables considered relevant in farming systems, in different periods of the year and in certain areas of Uruguay, following the methodology proposed by Green *et al.* (2011) in which the climate variability is decomposed into those three dimensions. As the main conclusion and according to the results, for every analyzed variable and in every location and period, the inter-annual variability is the most important one.*

**Keywords:** inter-annual variability, decadal variability, climatic trend.

<sup>1</sup>Unidad de Agroclima y Sistemas de Información (GRAS), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Andes 1365 piso 12, Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: gtiscornia@inia.org.uy, agimenez@inia.org.uy, acal@inia.org.uy.

## INTRODUCCIÓN

Como se ha venido señalando en informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2013; IPCC, 2014), el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero tiene como resultado cambios en la variabilidad climática diaria, estacional, interanual y a lo largo de decenios. Estos informes también señalan que son de esperar cambios en la frecuencia, intensidad y duración de fenómenos climáticos extremos.

En estudios a nivel regional (Giménez, 2006; Giménez *et al.*, 2009), se constataron aumentos de la variabilidad de las precipitaciones evidenciados por las magnitudes de los coeficientes de variación que se incrementaron en primavera y verano considerando 30 años (1971-2000) en relación con los 30 años anteriores (1931-1960). Adicionalmente, se han registrado para la región aumentos en la frecuencia de precipitaciones intensas (superiores a 25 mm en 24 h) (Bidegain *et al.*, 2012).

Así mismo, explorando los patrones de precipitación interanual para la región, hay evidencia que muestra que años con eventos El Niño-Oscilación Sur tienden a tener precipitación por encima del promedio, especialmente desde noviembre hasta el siguiente enero y años con altos valores de Índice de Oscilación Sureste (SOI) tienden a tener menor precipitación que la promedio, especialmente desde octubre hasta diciembre. (Pisciottano *et al.*, 1994). En este mismo trabajo se encontró que para el sureste de Uruguay, las anomalías húmedas durante eventos El Niño son relativamente débiles, pero anomalías secas durante eventos de alto SOI son significativas. Díaz *et al.* (1998) confirman que las anomalías de precipitaciones en la región de Sureste de Brasil y Uruguay están conectadas con El Niño-Oscilación Sur (ENSO) durante noviembre a febrero y menos extendida durante octubre a diciembre. Para estos dos períodos es evidente que las anomalías de precipitación están también asociadas con anomalías de la temperatura de la superficie del océano en la Zona de Convergencia del Pacífico Sur y las regiones de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur. En octubre a diciembre, también hay vínculos con la alta región subtropical en el sureste del Pacífico.

Por un lado, en relación con los análisis sobre temperatura para Sudamérica, hay evidencias que sugieren que los extremos de temperaturas están cambiando (Vincent *et al.* 2005). Los cambios más importantes son observados en el porcentaje de noches de frío extremo y noches cálidas. Las tendencias regionales muestran una disminución del 5.5% en el porcentaje de noches frías, mientras que un incremento del 5.6% de noches cálidas. El cambio en las temperaturas extremas durante la noche es más pronunciado durante el verano (diciembre a febrero) y otoño (marzo a mayo). Las estaciones climáticas con tendencias significativas están localizadas cercanas a las costas este y oeste de Sudamérica. Para el caso de Uruguay, se detectaron cambios en el porcentaje de días con noches frías con una tendencia decreciente y una tendencia positiva en los días con noches cálidas aunque no significativa (Rusticucci *et al.*, 2008). Dichos autores destacan un calentamiento de

la temperatura nocturna, con menos noches frías y más noches cálidas.

Por otro lado y como ya es sabido, la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos (heladas, granizos, sequías) resulta en perjuicios muy importantes para el sector agropecuario y frecuentemente el sector requiere de varios años para recuperarse económica y financieramente de los daños ocasionados.

Por un lado, un ejemplo de esta variabilidad a nivel local fueron las precipitaciones registradas a nivel nacional durante los meses de diciembre 2013 y enero 2014. En diciembre 2013 se registraron anomalías negativas de alrededor de 100 mm para algunas zonas del territorio (siendo el percentil 50 para diciembre a nivel nacional entre 60 mm y 100 mm) en contraste con enero 2014 cuando se registraron anomalías positivas de 300 mm a 400 mm para algunas regiones siendo el percentil 50 para ese mes entre 80 mm y 100 mm (web INIA-GRAS). Por otro lado, sucesos recientes en Uruguay de eventos climáticos extremos son las sequías de 1999-2000 y la de 2008-2009 donde según estimaciones de organismos gubernamentales, las pérdidas ocasionadas fueron de entre 200 y 250 millones de dólares (alrededor del 1% del PBI promedio de los últimos años) para el primer caso y de entre 400 y 800 millones de dólares (alrededor del 2% al 3% del PBI promedio de los últimos años) para el segundo (Barrenechea, 2009). Heladas tardías ocurridas en octubre de 2008, afectaron a 1000 de un total de 2200 viñedos instalados en Uruguay, con una pérdida de producción estimada en promedio en un 30% (40.000 toneladas de uva) (Espectador.com, 2009). Excesos hídricos, ocurridos en los años 2000 y 2001 impactaron fuertemente en el desarrollo y rendimiento de cultivos de invierno (trigo y cebada) (Díaz, 2005) y causaron pérdidas importantes de montes de durazneros por asfixia radicular (Soria, 2004).

Teniendo esto en cuenta, la variabilidad climática en Uruguay es un factor muy relevante y el análisis y caracterización de esta a nivel nacional resulta de fundamental importancia para la gestión de riesgos asociados al clima en la producción agropecuaria y otros sectores de la economía del país.

El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar las componentes "tendencia de largo plazo", "decadal" e "interanual" de la variabilidad de algunas variables climáticas consideradas de mayor relevancia en la actividad agropecuaria, en diferentes períodos del año y en determinadas zonas de Uruguay.

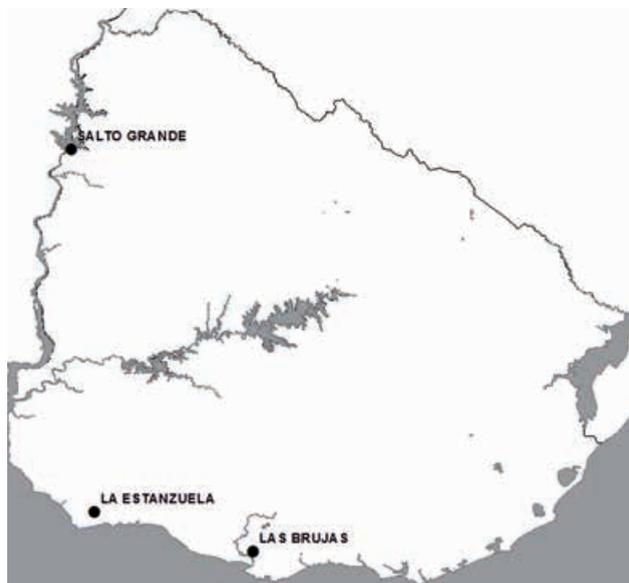
## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se utilizaron registros de variables climáticas de las siguientes estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay:

- INIA Las Brujas, (registro histórico desde julio de 1972).

- INIA La Estanzuela, (registro histórico desde julio de 1965).
- INIA Salto grande, (registro histórico desde julio de 1970).

Su ubicación geográfica puede observarse en la figura 1.



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones agrometeorológicas de INIA Salto Grande (Salto, Uruguay), INIA La Estanzuela (Colonia, Uruguay) e INIA Las Brujas (Canelones, Uruguay).

En los tres casos se utilizaron los registros diarios desde que se disponían datos (detallado anteriormente) hasta octubre de 2011 (Banco de datos INIA-GRAS).

Las variables analizadas fueron:

- Precipitaciones acumuladas en los trimestres septiembre, octubre y noviembre (SON), octubre, noviembre y diciembre (OND), noviembre, diciembre y enero (NDE) y diciembre, enero y febrero (DEF), abarcando la temporada primavera-verano.
- Días sin lluvia (DSLL) en los meses de diciembre (D), enero (E) y febrero (F), de la temporada de verano.
- Promedio mensual de la temperatura máxima media del mes de diciembre, de enero y de febrero y para el trimestre diciembre-enero-febrero (DEF), temporada de verano.
- Promedio de la temperatura mínima del trimestre junio-julio-agosto (JJA), temporada de invierno.
- Días con helada (temperatura mínima del césped menor a 0 °C). En Uruguay, y dada la variación intra-anual de la temperatura, existe un período en el que ocurren heladas (abril a octubre) concentrándose en los meses de junio, julio y agosto (Castaño *et al.*, 2011; de Mello, 2013; Bidegain *et al.*, 2012).

Para el caso de las tres estaciones agrometeorológicas seleccionadas en este análisis (INIA Las Brujas, INIA La Estanzuela e INIA Salto Grandes) el período de heladas ocurrió desde abril a octubre (registrándose solo algunos casos puntuales y aislados de heladas tardías fuera de ese período); estas se concentraron en los meses de junio, julio y agosto. Las fechas medias de primera y última helada se detallan en el cuadro 1.

La información fue obtenida del banco de datos de estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de investigación Agropecuaria (Banco de datos INIA-GRAS) disponible on-line y actualizado diariamente.

	LB	LE	SG
<b>Fecha media primera helada</b>	25 de mayo (desvío de 17 días)	16 de mayo (desvío de 27 días)	19 de mayo (desvío de 21 días)
<b>Fecha media última helada</b>	23 de septiembre (desvío de 27 días)	1 de octubre (desvío de 27 días)	24 de septiembre (desvío de 25 días)

**Cuadro 1.** Fecha media de primer y última helada para las estaciones seleccionadas en este análisis: estaciones de Las Brujas (LB), La Estanzuela (LE) y Salto Grande (SG).

Para este análisis en particular se consideraron los meses de abril (A) y mayo (M), (heladas tempranas) y septiembre (S) y octubre (O), (heladas tardías). Esto se debió al potencial efecto que tienen las heladas fuera del período típico de ocurrencia de junio a agosto (Castaño *et al.*, 2011) para diferentes rubros productivos (CIRVCC-UDELAR, 2012).

La metodología de análisis empleada se basó en la utilizada por Green *et al.* (2011) en la que se descompone la variabilidad climática en tres dimensiones: a) tendencia de largo plazo (para las estaciones agroclimáticas seleccionadas ronda 40 años), b) decadal (considerando períodos de 8 años) y c) la variabilidad interanual. Estas tres dimensiones se corresponderían a la variación debida a actividades antropogénicas asociada con el cambio climático (tendencia de largo plazo) y a componentes de baja y alta frecuencia de la variabilidad climática natural (decadal relacionada con eventos ENSO (El Niño Oscilación Sur) e interanual respectivamente).

Esta metodología consta de dos etapas de análisis. Una primera etapa en la que se hace una regresión simple entre la serie observada y el aumento de la temperatura global de la superficie del mar (al igual que Green (2011), se considera un promedio de la temperatura estimada por 23 modelos de circulación general) a fin de remover la tendencia de largo plazo asociada al cambio climático. Posteriormente, se determina la variabilidad decádica mediante la aplicación de un filtro de pasa-bajos (Mann, 2004) que permite retener la fluctuación con frecuencia menor a 8 años.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las variables: precipitaciones (ppt) y días sin lluvia (DSLL), en todas las localidades y períodos analizados, el componente que tuvo mayor peso fue el de la variabilidad interanual con porcentajes que variaron entre 75% y 91%, (cuadro 2). El componente de la variabilidad decadal tuvo una incidencia claramente inferior (9% a 21%) y el de la tendencia a largo plazo mostró una incidencia muy baja con valores máximos de 4%.

	Tendencia			Decadal			Interanual		
	LB	LE	SG	LB	LE	SG	LB	LE	SG
ppt SON	0	0	2	17	18	16	76	76	79
ppt OND	0	0	4	19	16	15	79	80	79
ppt NDE	0	0	0	23	22	9	72	79	90
ppt DEF	0	0	0	25	12	9	75	88	91
DSLL D	4	2	0	17	7	21	77	86	77
DSLL E	0	0	4	19	10	21	81	90	75
DSLL F	8	0	0	10	11	24	78	86	76

**Cuadro 2.** Disgregación de los componentes de la variabilidad mostrado el porcentaje de la variación total explicada por cada una de las dimensiones (tendencia largo plazo, decadal e interanual) para las variables: precipitación (ppt), y días sin lluvias (DSLL) en distintos meses y períodos del año: diciembre (D), enero (E), febrero (F), septiembre-octubre-noviembre (SON), octubre-noviembre-diciembre (OND), noviembre-diciembre-enero (NDE) y diciembre-enero-febrero (DEF) para los registros de las estaciones de Las Brujas (LB), La Estanzuela (LE) y Salto Grande (SG).

En relación con las temperaturas máxima, media y mínima media del aire, como se observa en las figuras 2 y 3, la incidencia de los componentes de la variabilidad, en las distintas localidades y períodos estudiados, fue similar a la determinada para las variables de precipitaciones y días sin lluvia, con valores altos para el componente interanual (71% a 86%), bajos para el componente decadal (14% a 23%) y muy bajos para el componente de tendencia de largo plazo (0% a 6%). Resultados similares se manifiestan en otros estudios realizados en Uruguay, en los cuales se resalta la importancia de la magnitud de la variabilidad interanual en variables tales como precipitaciones y temperatura del aire (Giménez, A., 2006, Giménez y Lanfranco, 2009, FAO-MGAP, 2012).

En cuanto al análisis de las variables días con heladas tempranas (abril y mayo) y días con heladas tardías (septiembre y octubre), los resultados se muestran en el cuadro 3. Para estas variables, sin bien se mantuvo la tendencia general de mayor incidencia de la variabilidad interanual, en algún sitio y mes, la componente decadal manifestó valores más altos que en los casos de las variables analizadas anteriormente. En tal sentido, los días con heladas en mayo alcanzaron valores de incidencia de la variabilidad decadal de 34% y 35% en las estaciones de Las Brujas y Salto Grande respectivamente. Así mismo, la componente

de tendencia a largo plazo alcanzó valores de 10% para los días con heladas en mayo en Las Brujas y los días con heladas en octubre en Salto Grande.

	Tendencia			Decadal			Interanual		
	LB	LE	SG	LB	LE	SG	LB	LE	SG
días con helada A	4	6	0	17	12	22	79	81	74
días con helada M	10	0	1	34	22	35	56	73	57
días con helada S	0	6	2	18	13	17	77	76	76
días con helada O	1	0	10	18	28	22	75	68	68

**Cuadro 3.** Disgregación de los componentes de la variabilidad mostrado el porcentaje de la variación total explicada por cada una de las dimensiones (tendencia largo plazo, decadal e interanual) para la variable días con helada en los meses de abril (A), mayo (M), septiembre (S) y octubre (O), para los registros de las estaciones de Las Brujas (LB), La Estanzuela (LE) y Salto Grande (SG).

Por un lado, los altos valores obtenidos para el componente decadal de las heladas (especialmente las heladas tempranas del mes de mayo) puede evidenciar una relación entre las fases cálida y fría del ENOS y las heladas ya observada para la región centro-este de Argentina (Pampa húmeda) por Müller (2006). Esta autora concluye que “parte de la variabilidad de las heladas en la Pampa Húmeda quedaría explicada por la ocurrencia de las fases ENOS, cuya relación está dada por una menor (mayor) cantidad de heladas en los años El Niño (La Niña)”. Por otro lado, en análisis efectuados para algunas estaciones meteorológicas de Uruguay, se ha detectado una mayor probabilidad de temperaturas bajo cero durante la fase fría del ENSO (Bidegain y Renom, 2002).

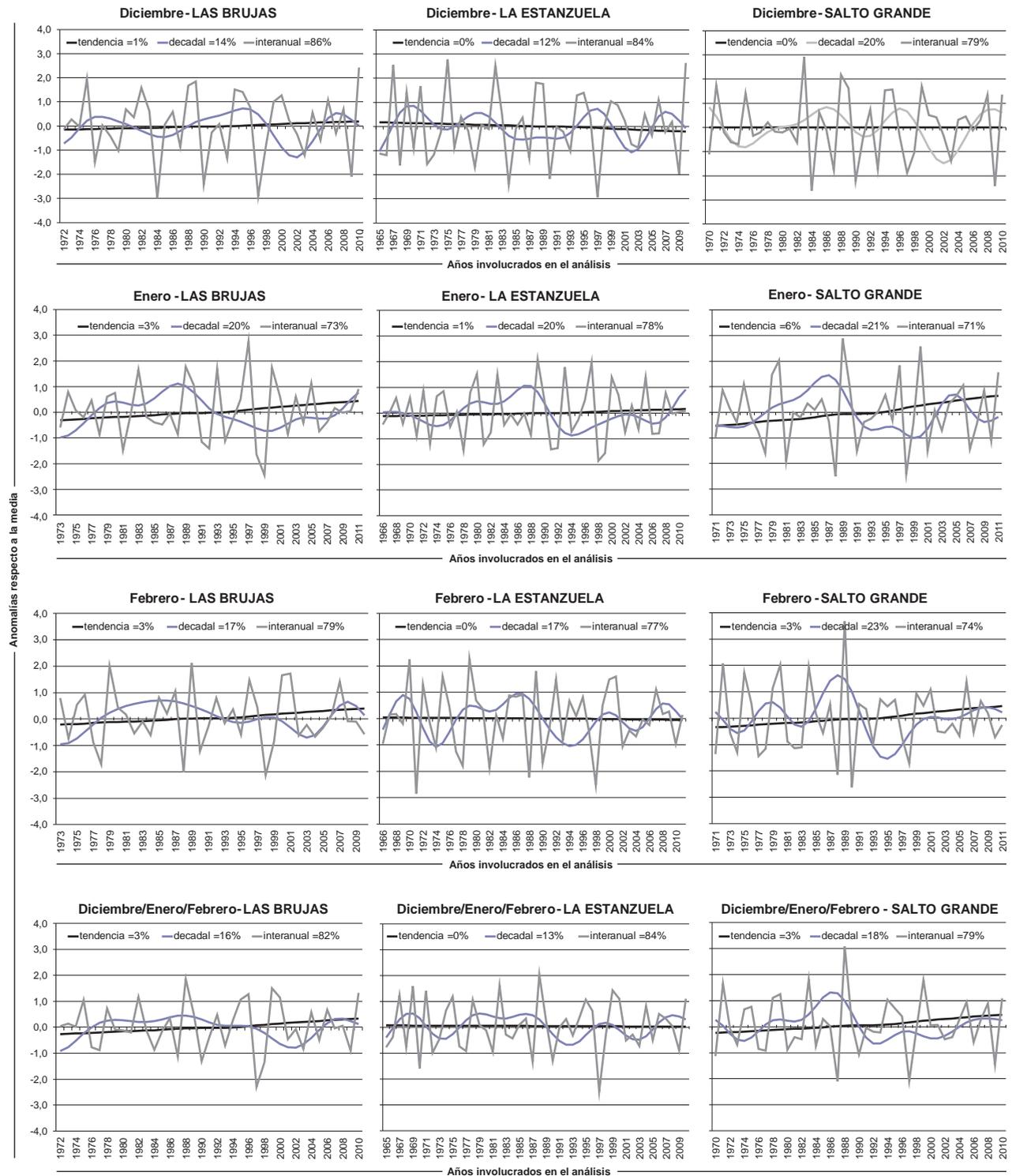
## CONCLUSIONES

Para todas las variables estudiadas y en todas las localidades y períodos analizados, la variabilidad interanual fue la que presentó una mayor incidencia.

La variabilidad decadal presentó una incidencia relativamente alta para los días con heladas en el mes de mayo (heladas tempranas) en la estación de Las Brujas y la estación de Salto Grande, presentando valores de 34% y 35% respectivamente.

En lo que refiere a la tendencia de largo plazo, en términos generales para todas las localidades y variables estudiadas, la variabilidad decadal es el componente de menor incidencia relativa con valores máximos de 10%.

Es importante destacar que las tendencias a largo plazo observadas en este estudio pueden no estar en coincidencia con las tendencias globales ni los análisis a nivel nacional (Bidegain *et al.*, 2012). Esto seguramente se deba a que se analiza solo una estación en particular y

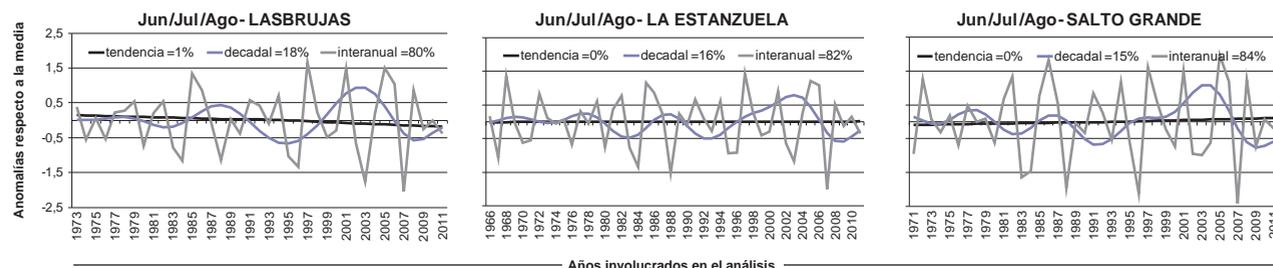


**Figura 2.** Disgregación de los componentes de la variabilidad para la variable temperatura máxima media en los meses de diciembre (primera línea), enero (segunda línea), febrero (tercera línea) y promedio del trimestre diciembre-enero-febrero (última línea) para las tres estaciones meteorológicas consideradas (INIA Las Brujas primera columna, INIA La Estanzuela segunda columna e INIA Salto Grande tercera columna). El eje de las "x" muestra los años para cada una de las tres estaciones agrometeorológicas y el eje "y" muestra la anomalía.

para un período dado, lo que no es representativo de lo que ocurre a nivel nacional y como promedio anual.

Teniendo esto en cuenta y considerando los esfuerzos internacionales y regionales por analizar e implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático,

entendemos que sería importante darle prioridad a la incorporación de la "variabilidad climática" en el entendido de que si se está adaptado a la variabilidad actual, se va a estar más preparado para enfrentar la incertidumbre de los eventos climáticos venideros.



**Figura 3.** Disgregación de los componentes de la variabilidad para la variable temperatura mínima media en el trimestre junio-julio-agosto para las tres estaciones agroclimáticas utilizadas (INIA Las Brujas, INIA La Estanzuela e INIA Salto Grande, respectivamente). El eje de las "x" muestra los años para cada una de las tres estaciones agrometeorológicas y el eje "y" muestra la anomalía.

## BIBLIOGRAFÍA

BAETHGEN, W.E.; MEINKE, H.; GIMENEZ, A. 2004. Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach. En: Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability, NOAA-OGP, Washington, D.C. ENV/EPOC/GF/SD/RD, Organisation for Economic Co-operation and Development, París. p.10.

BANCO DE DATOS INIA-GRAS. Banco de datos de las estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). <http://www.inia.uy/investigación-e-innovación/unidades/GRAS/Clima/Banco-datos-agroclimatico> Verificado: 04 de noviembre de 2011.

BARRENECHEA, P.2009. Estudio Nacional de Economía del Cambio Climático en Uruguay. Dinama, MVOTMA, Uruguay, p. 27.

BIDEGAIN, M.; RENOM, M. 2002. Temperaturas extremas y amplitudes diarias en Uruguay condicionadas según el fenómeno ENSO. XII Congreso Brasileiro de Meteorología, Foz de Iguaçu-PR.

BIDEGAIN, M.; CRISCI, C.; DEL PUERTO, L.; INDA, H.; MAZZEO, N.; TAKS, J.; TERRA, R. 2012. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo en "Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay". FAO-MGAP. TCP URU/3302, p. 43.

CASTAÑO, J. P.; GIMÉNEZ, A.; CERONI, M.; FUREST, J. AUN-CHAYNA, R.; BIDEAIN, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Serie técnica N.º 193. INIA. Uruguay, p. 40.

CIRVCC-UDELAR (Centro Interdisciplinario de Respuesta a la Variabilidad y Cambio climático de la Universidad de la República). 2012. Sensibilidad y capacidad adaptativa de los agro-ecosistemas frente a los efectos del cambio climático en "Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay". FAO-MGAP. TCP URU/3302, p. 128.

DE MELLO, S. 2013. Estudio climatológico y regionalización de heladas en Uruguay. Trabajo de fin de carrera de la licenciatura de Ciencias de la Atmósfera. Tutora: Madeleine Renom. Facultad de Ciencias-Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, p. 101.

DÍAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate*, 11(2), 251-271.

DÍAZ, J. E. 2005. Tolerancia a exceso hídrico: un nuevo objetivo para el Programa de Mejoramiento. Jornada técnica Cultivos de Invierno. Seria Actividades de Difusión N.º 404. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, p. 78.

ESPECTADOR.COM. 2009. <http://www.espectador.com/economia/145857/ricardo-calvo-en-el-sector-de-la-vid-hay-un-exceso-de-produccion> (verificado: 15 de mayo de 2015).

FAO\_MGAP.2012. Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. TCP URU/3302. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/009/as253s/as253s.pdf>

GIMÉNEZ, A. 2006. Climate Change and Variability in the Mixed Crop/Livestock Production Systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas. Final Report. Project LA 27, AIACC.

GIMÉNEZ, A.; LANFRANCO, B. 2009. Vulnerabilidad al Cambio Climático en los Sistemas de Producción Agrícola en América Latina y el Caribe: Desarrollo de Respuestas y Estrategias. Informe final, octubre. Banco Mundial.

GIMÉNEZ, A.; CASTAÑO, J. P.; BAETHGEN, W.; LANFRANCO, B. 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. INIA, Serie técnica N.º 178, p. 56.

GIMÉNEZ, A.; LANFRANCO, B. 2012. Adaptación al cambio climático y la variabilidad: algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.3 N.º 3 1 de mayo-30 de junio, 2012, pp. 611-620

GREEN, A. M.; GODDARD, L.; COUSIN, R. 2011. Web Tool Deconstructs Variability in Twentieth-Century Climate. *Eos*, Vol. 92, N.º 45, pp. 397-398.

IPCC 2013. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico y preguntas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, p. 222.

IPCC2014. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, p. 40.

MANN, M. E. 2004. On smoothing potentially non-stationary climate time series. *Geophysical Research Letters*. Vol. 31. L07214, p. 4.

MÜLLER, G. V. 2006. Variabilidad interanual de las heladas en la Pampa húmeda. *Revista Brasileira de Meteorología*, vol. 21, N.º 1, pp. 141-152.

PISCIOTTANO, G.; DÍAZ, A.; CAZES, G.; MECHOSO, C. R. 1994. El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *Journal of Climate*, 1994, vol. 7, N.º 8, pp. 1286-1302.

RUSTICUCCI, M.; & RENOM, M. 2008. Variability and trends in indices of quality controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology*, 28(8), 1083-1095.

SORIA, J. 2004. Seminario de Actualización Técnica en el Cultivo del Duraznero. Programa Fruticultura. Serie Actividades de Difusión N.º 381. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, p. 44.

VINCENT, L.A.; PETERSON, T.C.; BARROS, V.R.; MARINO, M.B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; KAROLY, D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of climate*, 18(23), 5011-5023.

Web INIA-GRAS. Mapas de precipitación acumulada. <http://www.inia.uy/investigación-e-innovación/unidades/GRAS/Clima/Precipitación-nacional/Mapas-de-precipitación-acumulada> (verificado: 15 de octubre de 2015)

# Efecto del SNP 3702G>A del gen *IGF2* sobre caracteres de crecimiento, canal, físicos-químicos y sensoriales de la calidad de carne en cerdos de la raza Landrace

FASSA, V.B.<sup>1</sup>; CARDEN, T.R.<sup>2</sup>; GOENAGA, P.R.<sup>3</sup>; MARINI, S.J.<sup>4</sup>; CARDUZA, F.J.<sup>5</sup>; GRIGIONI, G.<sup>5</sup>; MARRUBE, G.<sup>1</sup>; LLOVERAS, M.R.<sup>3</sup>

## RESUMEN

El progreso genético alcanzado durante las últimas décadas en los caracteres de productividad y, en especial, en el aumento del contenido de magro en las canales, ha desembocado en un deterioro en los caracteres intrínsecos de la calidad de carne, tanto en sus componentes físico-químicos como sensoriales, en parte debido a la existencia de correlaciones genéticas negativas entre ambos grupos de caracteres. El objetivo del presente trabajo fue corroborar mediante un nuevo experimento los resultados obtenidos previamente por nuestro grupo con relación al efecto del SNP *IGF2* 3702 G>A sobre los caracteres de crecimiento. Asimismo, se evaluó su efecto sobre el contenido de tejido magro en las canales y caracteres físico-químicos y sensoriales de la calidad de carne. Cincuenta cerdos Landrace, hembras y machos castrados, desde los 28 kg hasta 110 kg de peso vivo, fueron asignados a uno de dos grupos de genotipos de acuerdo al alelo que recibieran de su padre (Apat vs. Gpat). Se registraron los siguientes caracteres: velocidad de crecimiento (VC), conversión alimenticia (CA) y espesor de grasa dorsal (EGD). Se hallaron diferencias significativas (12.4 mm vs. 15.0 mm) para el carácter EGD, confirmando los resultados del estudio previo. Al momento de la faena, se midieron en las canales EGD, profundidad del músculo *Longissimus dorsi* (LD), porcentaje de magro y pH 45. Con relación a los caracteres de canal, los cerdos Apat exhibieron menos grasa (18.3 mm vs. 21.6 mm) y mayor contenido de tejido magro (52.5% vs. 50.1%). Estos resultados fueron corroborados por medio de disecciones parciales. En cuanto a los datos físico-químicos de calidad de carne, se evaluaron los siguientes caracteres: pH 45, pHu, *drip loss*, color, terneza y mermas por cocción. Únicamente el parámetro de color del músculo "L\*" mostró diferencias significativas entre ambos genotipos y sexos, la carne de los cerdos es del grupo Apat y de las hembras más brillante que la del grupo Gpat y de los capones. Los resultados de la evaluación sensorial no mostraron diferencias entre genotipos para ninguno de los principales atributos de calidad de carne estudiados. Los resultados indican que el SNP analizado en este ensayo disminuye los depósitos de grasa subcutánea y aumenta el contenido de magro en las canales. No se hallaron evidencias de efectos sobre los caracteres físico-químicos y sensoriales de la calidad de la carne.

**Palabras clave:** porcinos, gen *IGF2*, contenido de magro, caracteres físico-químicos y sensoriales de la calidad de carne.

<sup>1</sup>Cátedra de Genética. Facultad de Cs. Veterinarias UBA. CABA, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: vfassa@fvet.uba.ar

<sup>2</sup>Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UBA. CABA, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>INTA EEA Pergamino. Bs. As. Argentina.

<sup>4</sup>INTA EEA Marco Juárez. Córdoba, Argentina.

<sup>5</sup>INTA ITA Castelar. Bs. As. Argentina.

## ABSTRACT

The genetic progress reached during the last decades on productive traits and, in particular, the increased carcass leanness have led to a deterioration of physicochemical and sensorial meat quality traits, partly because of the existence of negative correlated responses between both groups of traits. The aim of the present study was to validate through a new experiment the results previously obtained concerning the effect of SNP *IGF2* 3702 G>A on growth traits. In addition, we assessed its effect on the amount of lean meat carcasses and on the physico-chemical and sensorial characteristics of meat quality. Fifty Landrace pigs, females and barrows, from 28 kg up to 110 kg of live weight, were assigned according to genotype allele received from his father (Apat vs. Gpat). Regarding the growth traits, average daily gain (ADG), feed conversion (FC) and backfat thickness (BFT) were registered. Significant differences were found only for BFT (12.5 mm vs. 15.0 mm), favoring the Apat group. This supports the results of our previous study. At the slaughter line, backfat, *Longissimus dorsi* (LD) thickness, lean meat percentage and pH45 were measured on the carcasses. Apat pigs showed less fat (18.3 mm vs. 21.6 mm) and leaner meat percentage (52.5 % vs. 50.1%). These results were confirmed through tissue dissection. With regard to the physico-chemical and sensorial meat quality data, the following traits were assessed: pH45, pH24, drip loss, color, tenderness and cooking loss. Only color parameter "L\*" of the muscle showed significant differences between genotype and sex, being swine meat from Apat group and females brighter than Gpat group and barrows. According to the results of the sensorial evaluations, there were no differences between genotypes for any meat quality trait. The *IGF2* 3702 G>A SNP diminish BFT and increases carcass meat content. No evidence of effects on the physical-chemical and sensory characteristics of meat quality were found.

**Keywords:** porcine, *IGF2* gene, fat content, physico-chemical and sensorial characteristics of meat quality.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento en cerdos fue el aumento de la velocidad de crecimiento del tejido magro. La selección ha sido de tal intensidad que ha modificado la estructura del tejido muscular con consecuencias negativas en los caracteres intrínsecos de la calidad de la carne, tanto en sus componentes físico-químicos, como sensoriales (Hamill *et al.*, 2012; Lonergan *et al.*, 2001; Ollivier, 1998; Schwab *et al.*, 2009; NPPC, 1995). La causa es principalmente de origen genético y el problema se debe a cuestiones genéticas básicas, como la elección de las razas para la producción de híbridos comerciales (Lloveras *et al.*, 2008), la existencia de correlaciones genéticas negativas entre caracteres de crecimiento y magro con los de calidad (Ciobanu *et al.*, 2011). En la Argentina, el problema de la calidad de la carne se agrava debido a la creciente difusión de padrillos sintéticos terminales que suelen incluir genes mayores perjudiciales (gen *RYR1*).

El objetivo del trabajo fue: a) corroborar mediante un nuevo experimento los resultados obtenidos por Fassa *et al.* (2013) con relación al efecto del SNP *IGF2* 3702 G>A sobre los caracteres de crecimiento, en especial sobre el espesor de grasa dorsal; b) comprobar si la magnitud del efecto observado en las pruebas de crecimiento se ve reflejado en el contenido de tejido magro de las canales y c) determinar los efectos sobre los caracteres físico químicos y sensoriales de la calidad de carne.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Animales

El experimento fue realizado en la Estación Experimental (EEA) Pergamino del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Los cerdos experimentales (capones y cachorras) fueron generados a partir de 20 camadas provenientes de apareamientos dirigidos entre cerdas Landrace con 2 padrillos de la misma raza provistos por el Núcleo Genético Ceres. Los padrillos eran heterocigotos (AG) para el SNP del gen *IGF2* estudiado y las madres de los genotipos AG y GG. Todas las cerdas fueron servidas dentro de la misma banda semanal y parieron dentro de la misma tanda. Los animales fueron destetados a los 28 días de edad, recriados en iguales condiciones y alimentados con una ración comercial hasta las 8 semanas de edad (25 kg). Los lechones provenientes de todas las camadas fueron genotipados para el SNP *IGF2* 3702 G>A. Puesto que *IGF2* es un gen con efecto de sellado genómico, siendo favorable el alelo A paterno, los cerdos fueron distribuidos en dos grupos: Grupo Apat, compuesto por los individuos (ApatGmat, ApatAmat) que heredaron el alelo A del padre, y el Grupo Gpat formado por individuos (GpatGmat, GpatAmat) portadores del alelo G.

Ambos padrillos estuvieron igualmente representados en el número de hijos estudiados y todos los cerdos fueron negativos para el gen *RYR1* evitando confundir los efectos de ambos genes.

### Diseño experimental

Cincuenta cerdos fueron alojados en boxes individuales con bebederos tipo chupete y comederos secos de una boca en los que se ofrecía comida a voluntad. La alimentación se llevó a cabo en dos fases: crecimiento (de 30 kg a 60 kg) y terminación (60 kg a 110 kg) con raciones estándares de maíz, soja y núcleo vitamínico mineral, formuladas para cubrir los requerimientos en ambas etapas.

La velocidad de crecimiento y la conversión alimenticia fueron evaluadas entre los 30 kg y 90 kg de peso vivo, momento en el que se procedió a la toma del espesor de grasa dorsal, con equipo de ultrasonido (LEAN MEATER RENCO®), de dos formas: en P2, que es a la altura de la primera vértebra lumbar desplazada a 5 cm de la línea media y EG3, que corresponde al promedio de tres mediciones realizadas a la altura del codo, la última costilla y el glúteo medio, también desplazadas a 5 cm de la línea media.

### Faena y evaluación de las canales

Al alcanzar los 110 kg, los cerdos fueron transportados al frigorífico Ex Pork en San Andrés de Giles durante la tarde y faenados a la mañana siguiente. Las canales fueron desangradas, escaldadas, evisceradas, seccionadas a lo largo de la línea media y pesadas en el palco de inspección. Mediante la sonda óptica Hennessy y Grading Probe (HGP) se midió: a) el espesor de grasa subcutánea dorsal entre la 3.<sup>ra</sup>/4.<sup>ta</sup> costilla a 5 cm de la línea media, b) la profundidad del músculo LD debajo de la misma localización y c) el porcentaje de tejido magro a partir de las fórmulas derivadas por Goenaga *et al.* (2008).

### Toma de muestras

Del palco de inspección las canales fueron trasladadas a una cámara a 4 °C y a los 45 minutos *post mórtem*, se midió el pH en las medias canales del lado izquierdo sobre el músculo LD. Se extrajo un bloque de lomo comprendido entre la 9.<sup>a</sup> y 11.<sup>a</sup> costilla y se evaluaron el color del músculo y la grasa con espectrocolorímetro de reflectancia portátil BYK-Gardner. Posteriormente, se procedió a la identificación, acondicionamiento, refrigeración y transporte de las muestras al Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) en INTA Castelar, donde se realizaron las determinaciones físico-químicas y sensoriales de calidad de carne. La determinación del pHu fue realizada a las 24 h sobre las muestras frescas. Posteriormente estas fueron congeladas a  $-20 \pm 1$  °C para su posterior análisis.

Un segundo bloque de lomo, contiguo al primero, comprendido entre la 12.<sup>a</sup> costilla y la última vértebra lumbar fue seccionado, acondicionado, refrigerado y transportado a la Sección Porcinos de la EEA INTA Pergamino para su posterior disección.

### Caracteres de calidad

Antes de realizar las mediciones las muestras fueron descongeladas a  $4 \pm 1$  °C durante la noche.

### Drip loss

Se extrajeron 3 tarugos de 2.5 cm de diámetro y se colocaron en redes plásticas en cámara de frío a  $3 \pm 1$  °C durante 24 h. El porcentaje de *drip loss* fue determinado dividiendo la pérdida de peso durante las 24 h por el peso de los tarugos al ingresar a la cámara.

### Color y pH

Las mediciones de color se realizaron con espectrocolorímetro de reflectancia portátil BYK-Gardner Spectro-guide 45/0 gloss de acuerdo a los lineamientos generales de AMSA (1991). Las condiciones experimentales fueron: observador 10° e iluminante D65. Se utilizó la escala de color CIELab y se determinaron parámetros de luminosidad ( $L^*$ ) y las coordenadas cromáticas de los componentes rojo-verde ( $a^*$ ) y amarillo-azul ( $b^*$ ). Las muestras de músculo fueron expuestas al aire 45 minutos a temperatura ambiente antes de realizarse las mediciones.

Los pH 45 y pHu (45 min y 24 h) se midieron en el músculo LD usando un pH-metro modelo HI 8314 (Hanna Instruments®).

### Mermas por cocción

Los bifes fueron descongelados a 4 °C durante 12 h, pesados y cocinados en una grilladora eléctrica Philips® hasta alcanzar una temperatura interna final de  $71 \pm 0.5$  °C (AMSA, 2015). El porcentaje de pérdidas por cocción fue calculado como la diferencia entre el peso crudo y cocido (en caliente) con relación al peso crudo.

### Terneza instrumental

La resistencia al corte fue determinada siguiendo los lineamientos generales de AMSA (2015), en 8 tarugos de 1.3 cm de diámetro extraídos de cada bife, con cortes paralelos a la orientación de las fibras musculares, mediante cizalla de Warner-Bratzler (model 3000; G-R Manufacturing CO., EE. UU.).

### Evaluación sensorial

Los bifes fueron cocinados del mismo modo que para la determinación de terneza instrumental. Las muestras libres de grasa, hueso y tejido conectivo fueron cortadas en cubos de 1 cm<sup>3</sup> e inmediatamente evaluadas por un panel entrenado de 8 jueces, utilizando una escala de 1 a 9 puntos para jugosidad, terneza, tejido conectivo, olor y sabor. Además, se solicitó a los miembros del panel que informen la descripción e intensidad de sabores y olores extraños si estuvieran presentes.

### Extracción de ADN y determinación de genotipos para IGF2

- *IGF2*: La sustitución G>A del intron3-3072 fue analizada por PCR-RFLP de acuerdo a Fontanesi *et al.* (2010).

- RYR 1: La sustitución C>T se detectó por HRM (High Resolution Melting) con un ciclador Thermal Cycler Rotor Gene Real Time Q (Qiagen) (Marini *et al.*, 2012).

### Análisis estadístico

Los caracteres de crecimiento, canal y calidad de carne fueron analizados individualmente con el modelo lineal general, tomando como factores fijos el genotipo, el sexo y su interacción. En un análisis preliminar, los efectos del peso inicial, del peso final y del padrillo fueron evaluados como covariables, pero se excluyeron del modelo final porque no fueron significativos. La ecuación del modelo fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : representa la variable respuesta (el valor fenotípico) correspondiente al i-ésimo genotipo, j-ésimo sexo, k-ésima repetición

$\mu$ : media general

$\tau_i$ : efecto de i-ésimo genotipo (Grupo Apat vs. Gpat)

$\gamma_j$ : efecto del j-ésimo sexo

$(\tau\gamma)_{ij}$ : efecto de interacción entre el i-ésimo genotipo y el j-ésimo sexo

$\varepsilon_{ijk}$ : error aleatorio correspondiente al i-ésimo genotipo, j-ésimo sexo, k-ésima repetición

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Guide).

## RESULTADOS

Como resultado de los análisis estadísticos realizados, únicamente para el porcentaje de tejido magro la interacción genotipo x sexo resultó significativa ( $p=0.0282$ ), mostrando un comportamiento diferencial de los genotipos en los machos. Los capones Apat exhibieron 52.1% de tejido magro vs. 48.4% los Gpat.

Las frecuencias génicas ( $n=242$ ) fueron para el alelo A: 0.36 y G: 0.64. Las frecuencias genotípicas mostraron la siguiente distribución: AA: 0.10; AG: 0.52 y GG: 0.38.

### Caracteres de crecimiento y canal

En la tabla 1 se presentan las medias estimadas para las variables de crecimiento y canal para los dos genotipos (grupos Apat y Gpat) y ambos sexos (capones y cachorras). No hubo diferencias en la velocidad de crecimiento entre genotipos. Y sí las hubo para el espesor de grasa dorsal determinada en los cerdos vivos con ultrasonido RENCO: los cerdos Apat tuvieron 2.6 mm menos de grasa medido en P2.

En relación con los caracteres de canal, los cerdos Apat exhibieron 3.3 mm menos de grasa, 1.8 mm más de profundidad en el LD y 2.4 puntos (%) más de contenido de tejido magro medido con la sonda HGP. Las disecciones parciales arrojaron 4.8 puntos (%) menos de grasa a favor de los cerdos del grupo Apat. Tal como era de esperar los capones fueron más gordos que las hembras en: a- las mediciones realizadas durante la prueba de crecimiento en los animales vivos (2.4 mm), b- en las mediciones realizadas en el frigorífico sobre las canales (2.3 mm más de grasa, 2.3 mm menos de profundidad en el LD y 2.3 puntos menos del % magro) y c- en la cantidad de grasa resultante de las disecciones realizadas en el laboratorio (4.4% más de tejido adiposo).

	IGF2				Género		
	Grupo A	Grupo G	es	Valor p	Capones	Cachorras	Valor p
	Media	Media			Media	Media	
<b>Caracteres de crecimiento</b>							
VC (g/d)	884,7	857,5	21,38	0,570	889,4	852,8	0,440
P2 (mm)	12,4 <sup>a</sup>	15,0 <sup>b</sup>	0,35	0,001	14,9 <sup>a</sup>	12,5 <sup>b</sup>	0,002
EG3 (mm)	16,8 <sup>a</sup>	18,8 <sup>b</sup>	0,37	0,016	19,1 <sup>a</sup>	16,5 <sup>b</sup>	0,003
CA	3,5	3,8	0,06	0,060	3,7	3,6	0,326
<b>Caracteres de canal</b>							
<b>Sonda HGP</b>							
EG (mm)	18,3 <sup>a</sup>	21,6 <sup>b</sup>	0,417	0,001	21,1 <sup>a</sup>	18,8 <sup>b</sup>	0,012
EMU (mm)	41,9	40,1	0,488	0,093	39,8 <sup>a</sup>	42,1 <sup>b</sup>	0,026
Contenido de Magro (%)	52,5 <sup>a</sup>	50,1 <sup>b</sup>	0,273	0,0002	50,1 <sup>a</sup>	52,4 <sup>b</sup>	0,001
<b>Disecciones</b>							
Grasa disecada (%)	29,3 <sup>a</sup>	34,1 <sup>b</sup>	0,570	0,0005	33,9 <sup>a</sup>	29,5 <sup>b</sup>	0,001

**Tabla 1.** Caracteres de crecimiento y canal para los genotipos IGF2 (grupos A y G).

VC = velocidad de crecimiento entre los 30 y 90 Kg de peso vivo, P2 y EG3 = mediciones del espesor de grasa dorsal con equipo de ultrasonido RENCO, CA = conversión alimenticia entre los 30 y 90 kg, EG y EMU = Espesor de grasa dorsal y profundidad del LD medido entre la 3.ª y 4.ª costilla con sonda óptica HGP, Contenido de magro = % de magro medido con sonda HGP.

Medias y errores estándar (es). En cada fila, medias con distintas letras son significativamente diferentes ( $p<0.05$ ).

### Caracteres de calidad de carne

En la tabla 2 se presentan las medias de las variables físico-químicas en el músculo *LD* de los dos genotipos y sexo para el SNP *IGF2* 3702 G>A. Únicamente el parámetro de color del músculo "L" muestra diferencias entre ambos genotipos (50.2 vs. 48.9) y sexos (48.8 vs. 49.9); la carne de los cerdos del grupo Apat y de las hembras es más brillantes o luminosas que las del grupo Gpat y los capones.

### Caracteres sensoriales

Los resultados de la evaluación sensorial son presentados en la tabla 3. No se detectaron diferencias entre genotipos Apat vs. Gpat para el efecto del polimorfismo en el gen *IGF2*, ni de sexo para ninguno de los principales atributos sensoriales estudiados.

A partir de los valores obtenidos de los jueces, las muestras pueden ser clasificadas como: de terneza y jugosidad

media y con olor y sabor algo intensos. No se describen olores ni sabores extraños.

### DISCUSIÓN

Con respecto a P2 y EG3, las diferencias entre medias fueron significativas, siendo inferiores para los animales con el alelo Apat. También las hembras presentaron valores menores con respecto a los machos castrados. El mismo comportamiento se observa para los caracteres de canal. La magnitud del efecto sobre el contenido de magro entre ambos alelos del SNP del gen *IGF2* es similar a la diferencia entre sexos (machos castrados y hembras) (tabla 1).

Se han realizado diferentes estudios que demuestran el efecto del gen *IGF2* 3702 G>A en los caracteres de importancia económica. Estelle *et al.* (2005) en una población de cerdos Large White encontraron diferencias para peso

	<i>IGF2</i>				Género		
	Grupo A	Grupo G	es	Valor p	Capones	Cachorras	Valor p
	Media	Media			Media	Media	
pH45	6,02	6,07	0,03	0,617	6,03	6,08	0,568
pHu	5,57	5,56	0,01	0,834	5,56	5,56	0,923
Drip loss (%)	26,6	26,9	0,53	0,807	26,8	27,1	0,937
Terneza (N)	49,7	47,4	1,92	0,611	47,7	49,0	0,742
Merms por cocción	28,7	29,7	2,67	0,506	29,3	29,3	0,666
<b>Color músculo</b>							
Cie L	50,2 <sup>a</sup>	48,9 <sup>b</sup>	0,26	0,019	48,8 <sup>a</sup>	49,9 <sup>b</sup>	0,012
Cie b	11,0	11,2	0,10	0,394	11,0	11,3	0,836
Cie a	3,1	3,4	0,16	0,402	3,1	3,5	0,572
<b>Color grasa</b>							
Cie L	77,8	78,7	0,70	0,581	78,3	78,8	0,976
Cie b	9,6	9,4	0,23	0,651	9,6	9,2	0,627
Cie a	2,2	2,4	0,16	0,517	2,4	2,3	0,399

**Tabla 2.** Caracteres físico-químicos en el músculo *Longissimus dorsi* para los genotipos *IGF2* (grupos A y G).

pH 45 y pHu=pH medido a los 45 minutos y 24 h del comienzo de la faena en el *LD* con pH-metro HI 8314, Drip loss = pérdida de líquido, Merms por cocción = pérdida de líquido luego de la cocción, Cie L, Cie b y Cie a = mediciones de color con espectrofotómetro BYK-Gardner.

Medias y errores estándar (es). En cada fila, medias con distintas letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

	<i>IGF2</i>				Género		
	Grupo A	Grupo G	es	Valor p	Capones	Cachorras	Valor p
	Media	Media			Media	Media	
Olor	4,8	4,8	0,11	0,601	4,8	4,7	0,499
Sabor	4,9	5,1	0,11	0,995	4,9	5,1	0,352
Terneza inicial	4,5	4,9	0,12	0,284	4,7	4,9	0,489
Terneza sostenida	5,2	5,6	0,12	0,304	5,3	5,6	0,433

**Tabla 3.** Caracteres sensoriales de calidad de carne en los genotipos *IGF2* (Apat y Gpat)

Medias y errores estándar (es)

del jamón y peso de la paleta en los animales portadores del alelo Apat. El estudio realizado por Van den Maagdenberg *et al.* (2008) demostró que el alelo Apat aumenta el porcentaje del contenido de tejido magro conjuntamente con una disminución del espesor de grasa dorsal. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo. Los autores presentaron evidencia de un aumento en el crecimiento muscular, expresado como mayor área y mayor peso del músculo *LD* relativo al peso de la canal, en animales portadores del alelo Apat. Oczkowicz *et al.* (2009) estudiaron el efecto en cerdos de raza Large White y Landrace. Sus análisis de asociación revelaron que el alelo Apat aumenta el peso y área del lomo, el peso del jamón, el porcentaje de carne en la canal y disminuye el EGD. Fontanesi *et al.* (2010 y 2012) analizando una población de animales Large White Italiano, y utilizando como registro valores de cría, encontraron diferencias significativas entre los animales con el alelo Apat para los caracteres cantidad de cortes magros y peso del jamón.

Burgos *et al.* (2012) concluyeron que las canales en los cerdos de genotipo AA son más pesadas para los cortes de mayor valor económico, con respecto a los individuos con genotipo AG, informando que corresponde aproximadamente a 1.8 kg más en cerdos de 125 kg. En el mismo ensayo estos autores analizaron la capacidad de infiltración grasa de los dos alelos del gen *IGF2* 3702 G>A. Los animales portadores del alelo Gpat muestran un aumento del tejido rico en grasa como la panceta y mayor cantidad de grasa subcutánea. Los jamones de los cerdos que heredan el alelo Gpat son más ricos en grasa subcutánea e intermuscular. Gardan *et al.* (2008) concluyeron que los animales con el alelo Apat tienen un menor EGD, lo que podría explicarse por el menor contenido de lípidos y la presencia de adipocitos más pequeños en el tejido adiposo subcutáneo y visceral.

En relación con el área del lomo, en nuestro ensayo se halló una diferencia en la profundidad del músculo *LD* a favor de las hembras ( $p=0.0260$ ) y sugestiva para los cerdos Apat ( $p=0.0929$ ) (ver tabla 1). Burgos *et al.* (2012) demostraron que los animales con el alelo Apat presentan cortes, como el lomo, con mayor masa muscular. Gardan *et al.* (2008) sugirieron que el mecanismo que explica el aumento del tejido magro es la hipertrofia postnatal del tejido muscular. Los animales que reciben el alelo Apat presentan mayor número de miofibrillas en el trapecio y en *LD* al momento de la faena. Esta evidencia fue confirmada en el estudio realizado por Stinckes *et al.* (2007). Van den Maagdenberg *et al.* (2007) sugirieron que la influencia del gen *IGF2* en la hipertrofia muscular se produce por dos vías diferentes: por un lado el crecimiento muscular por la actividad en las células satélites y, por otro lado, por la supresión de la degradación de proteínas vía *CAST*. La actividad de *CAST* es mayor y la relación *mCALP:CAST* es menor en los animales Apat con mayor masa muscular debido a las diferencias en la actividad de enzimas proteolíticas que están involucradas en el efecto de la sustitución de *IGF2* en la hipertrofia muscular. Esto indicaría un incremento del tejido magro por dos vías: la disminución de la grasa corporal y el aumento de la masa muscular.

En los caracteres de calidad de carne, se hallaron diferencias entre medias para color de músculo (Cie L) y los genotipos de *IGF2* y sexos. Van den Maagdenberg *et al.* (2008) encontraron un color más pálido en el *LD* y *Triceps brachii* (TB) en los animales de genotipo Apat con respecto al Gpat. Estos autores también hallaron mayor pérdida por descongelado en los animales que heredan el alelo Apat. Para los caracteres fisicoquímicos del músculo, Burgos *et al.* (2012) solo encontraron valores de "L" ligeramente mayores en los animales con genotipo AA. Oczkowicz *et al.* (2012) no encontraron asociación entre genotipos y los caracteres pH 45, pHu y capacidad de retención de agua.

En el presente estudio los caracteres sensoriales no mostraron diferencias entre los dos genotipos para *IGF2*. Estos caracteres han sido escasamente analizados en los estudios realizados por otros grupos de trabajo. Nuestros resultados sugieren la utilidad de incluir al SNP 3072G>A del gen *IGF2* en los esquemas de selección de porcinos, en reemplazo del gen *RYS1* que ocasiona el síndrome de estrés porcino (SSP) y modifica en forma indeseable los caracteres de calidad de la carne originando carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE).

## CONCLUSIÓN

De los resultados del presente trabajo se confirma que el SNP *IGF2* 3702 G>A analizado aumenta el contenido de tejido magro en las canales. No se hallaron evidencias de efectos sobre los caracteres físico-químicos y sensoriales de la calidad de la carne.

## FINACIAMIENTO

PNCAR 013321 2009-2012, PNPA 1126033 2013-2019, UBACyT Código 20020110100018 Programación Científica 2012-2015.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.M.S.A 1991. Guidelines for meat color evaluation. American Meat Science Association.
- A.M.S.A 2015. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science Association.
- BURGOS, C.; GALVE, A.; MORENO, C.; ALTARRIBA, J.; REINA, R.; GARCIA, C.; LOPEZ-BUESA, P. 2012. The effects of two alleles of *IGF2* on fat content in pig carcasses and pork. *Meat Science* 90(2): 309-13.
- CIOBANU, D.; LONERGAN, S.; HUFF-LONERGAN, E. 2011. Genetics of Meat Quality and Carcass traits. En: ROTHSCHILD, M.F.; RUVINSKY, A. (Eds.) *The Genetics of the Pig*. CAB International, Wallingford, Reino Unido, pp. 355–378.
- ESTELLÉ, J.; MERCADÉ, A.; NOGUERA, J.L.; PEREZ-ENCISO, M.; OVILO, C.; SANCHEZ, A.; FOLCH, J.M. 2005. Effect of the porcine *IGF2* intron3-G3072A substitution in an outbred Large White population and in Iberian x Landrace cross. *Journal of Animal Science* 83: 2723-2728.

- FASSA, V.B.; CARDEN, T.R.; SORIA, L.A.; GOENAGA, P.; MARRUBE, G.; LLOVERAS, M.R. 2013. Efecto del SNP G3702A del gen IGF2 sobre caracteres productivos y de la canal en cerdos de raza Landrace. XV Congreso Latinoamericano de Genética, Rosario, Argentina.
- FONTANESI, L.; SPERONI, C.; BUTTAZZONI, L.; SCOTTI, E.; DALLÒLIO, S.; NANNI COSTA, L.; DAVOLI, R.; RUSSO, V. 2010. The insulin-like growth factor 2 (IGF2) gene intron3-g.3072G>A polymorphism is not the only Sus Scrofa chromosome 2p mutation affecting meat production and carcass traits in pigs: Evidence from the effects of a cathepsin D (CTSD) gene polymorphism. *Journal of Animal Science* 88(7): 2235-2245.
- FONTANESI, L.; GALIMBERTI, G.; CALÒ, G.D.; FRONZA, R.; MARTELLI, P.L.; SCOTTI, E.; COLOMBO, M.; SCHIAVO, G.; CASADIO, R.; BUTTAZZONI, L.; RUSSO, V. 2012. Identification and association analysis of several hundred single nucleotide polymorphisms within candidate genes for backfat thickness in Italian Large White pigs using a selective genotyping approach. *Journal of Animal Science* 90 (8): 2450-64.
- GARDAN, D.; GONDRET, F.; VAN DEN MAAGDENBERG, K.; BUYS, N.; DE SMET, S.; LOUVEAU, I. 2008. Lipid metabolism and cellular features of skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue in pigs differing in IGFII genotype. *Domestic Animal Endocrinology* 34: 45-53.
- GOENAGA, P.; LLOVERAS, M.R.; AMÉNDOLA, C. 2008. Prediction of lean meat content in pork carcasses using the Hennessy Grading Probe and the Fat-O-Meater in Argentina. *Meat Science* 79 (3): 611-613.
- HAMILL, R.M.; MCBRYAN, J.; MCGEE, C.; MULLEN, A.M.; TORRES SWEENEY, A.; TALBOT, M.T.; CAIRNS, G.C.; DAVEY, C. 2012. Functional analysis of muscle gene expression profiles associated with tenderness and intramuscular fat content in pork. *Meat Science* 92: 440-450.
- LONERGAN, S.M.; HUFF-LONERGAN, E.J.; ROWE, L.J.; KUHLLERS, D.L.; JUNGST, S.B. 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality<sup>1</sup>, 2. *American Society of Animal Science*. All rights reserved. *J. Anim. Sci.* 2001. 79:2075-2085.
- LLOVERAS, M.R.; GOENAGA, P.; IRURUETA, M.; CARDUZA, F.; GRIGIONI, G.; GARCÍA, P.; AMÉNDOLA, C. 2008. Meat quality traits of commercial hybrid pigs in Argentina. *Meat Science* 79 (3): 458-462.
- MARINI, S.J.; VANZETTI, L.S.; BORELLI, V.S.; VILLAREAL, A.O.; DENEGRI, G.D.; COTTURA, G.A.; PANICHELLI, D.; SILVA, P.; CAMPAGNA, D.; SPINER, N. BRUNORI, J.C.; FRANCO, R. 2012. Ryr1 gene variability and effect on meat pH in argentinean hybrids swines. *InVet*, 14: 19-23.
- NPPC (1995). Genetic evaluation. Terminal line program results. National Pork Producers Council, 311 pp.
- OCZKOWICZ, M.; TYRA, M.; WALINOWICZ, K.; ROZYCKI, M.; REJDUCH, B. 2009. Known mutation (A3072G) in intron 3 of the IGF2 gene is associated with growth and carcass composition in Polish pig breeds. *Journal of Applied Genetics* 50: 257-259.
- OCZKOWICZ, M.; TYRA, M.; ROPKA-MOLIK, K.; MUCHA, A.; ZUKOWSKI, K. 2012. Effect of IGF2 intron 3-g.3072G>A on intramuscular fat (IMF) content in pigs raised in Poland. *Livestock Science* 149: 301-304.
- OLLIVIER, L. 1998. The genetics of the pig. En: ROTHSCCHILD, M.F.; RUVINSKY, A. (Eds.) *The Genetics of the Pig*. CAB International, Wallingford, Reino Unido, pp. 511-540.
- SAS Software Versión 8 (2004). Cary, NC, EE. UU.: SAS Institute Inc.
- SCHWAB, C.R.; BAAS, T.J.; STALDER, K.J.; MABRY, J.W. 2006. Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine. *J Anim Sci.* 84 (6):1577-83.
- STINCKENS, A.; VAN DEN MAAGDENBERG, K.; LUYTEN, T.; GEORGES, M.; DE SMET, S.; BUYS, N. 2007. The RYR1 g1843C>T mutation is associated with the effect of the IGF2 intron3-g.3072 G>A mutation on muscle hypertrophy. *Animal Genetics* 38: 67-71.
- VAN DEN MAAGDENBERG, K.; CLAEYS, E.; STINCKENS, A.; BUYS, N.; DE SMET, S. 2007. Effect of age, muscle type and insulin-like growth factor II genotype on muscle proteolytic and lipolytic enzymes activities in boars. *Journal of Animal Science* 85: 952-960.
- VAN DEN MAAGDENBERG, K.; STINCKENS, A.; CLAEYS, E.; BUYS, N.; DE SMET, S. 2008. Effect of the insulin-like growth factor II and RYR1 genotype in pigs on carcass and meat quality traits. *Meat Science* 80: 293-303.

# Producción de biomasa y respuesta a la fertilización de especies forrajeras subtropicales cultivadas en La Pampa deprimida bonaerense

PESQUEIRA, J.<sup>1</sup>; HUARTE, H.R.<sup>2</sup>; GARCÍA, M.D.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La producción estival de biomasa forrajera de La Pampa deprimida bonaerense resulta muchas veces deficitaria para la alimentación del ganado. Una alternativa para incrementarla es cultivar especies perennes de origen subtropical. Algunas de estas especies, además de producir cantidades importantes de biomasa, han mostrado buena adaptación a condiciones ambientales similares a las de esta área. A pesar de tratarse de especies perennes, los estudios realizados hasta ahora en la zona generalmente abarcan solo los dos primeros años de crecimiento del cultivo. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron evaluar: i) la productividad de especies forrajeras perennes subtropicales en comparación con la del pastizal natural por un periodo de 5 años desde la implantación del cultivo y ii) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa de las especies subtropicales en la zona. Las especies estudiadas fueron *Panicum coloratum* cv. Klein Verde; *Chloris gayana* cvs. Finecut y Topcut y *Setaria sphacelata* cv. Narok. El experimento se condujo en la localidad de Verónica (Punta Indio, Bs. As.), perteneciente a la región de La Pampa deprimida bonaerense. La producción de biomasa seca aérea (BSA) de las especies subtropicales superó la del pastizal natural, comparando igual periodo de crecimiento. La fertilización nitrogenada incrementó la producción de BSA. Hasta el tercer ciclo de crecimiento hubo una buena recuperación de las plantas luego de los periodos invernales. Sin embargo, los cultivos de *C. gayana* y *S. sphacelata* no rebrotaron durante la primavera del cuarto ciclo de crecimiento. En cambio, *P. coloratum* continúa en producción luego de 5 años de la implantación del cultivo. Los datos obtenidos destacan que: i) las especies subtropicales incrementaron la productividad estival con relación al pastizal natural en La Pampa deprimida bonaerense, ii) la fertilización nitrogenada es una herramienta útil para incrementar la producción de biomasa y iii) es necesario incrementar el conocimiento sobre los factores que afectan la perennidad de las especies subtropicales en esta zona.

**Palabras clave:** especies subtropicales, biomasa aérea, fertilización nitrogenada, Pampa deprimida.

## ABSTRACT

*Summer forage biomass production of Buenos Aires flooding Pampa is often deficient for livestock feeding. An alternative to increase it is the culture of subtropical perennial species. Some of them produce large amounts of biomass, and have also shown good adaptation to environmental conditions similar to that of the area.*

<sup>1</sup>Cátedra de Fisiología Vegetal, FCA, UNLZ, Ruta 4 km 2, 1836 Llavallol, Bs. As., Argentina.

Correo electrónico: julietapesqueira@gmail.com mariadinagarcia@gmail.com

<sup>2</sup>Cátedra de Producción y Utilización de Forrajes, FCA, UCA, Capitán General Ramón Freire 183, CABA, Argentina.

Correo electrónico: robertohuarte@uca.edu.ar

Despite being perennial species, studies performed so far in the area generally cover only the first two years of crop growth. Therefore, the objectives of this study were: i) to evaluate the productivity of subtropical perennial forage-species compared to that of the natural grassland during five years after crop implantation and ii) to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the biomass production of the subtropical species in the area. The evaluated species were *Panicum coloratum* cv. Klein Verde; *Chloris gayana* cvs. Finecut and Topcut and *Setaria sphacelata* cv. Narok. The experiment was conducted in Veronica (Punta Indio, Buenos Aires), which belongs to the region of Buenos Aires flooding Pampa. Dry aerial biomass (DAB) of the subtropical species exceeded that of the natural grassland, during the same period of growth. Nitrogen fertilization increased aerial dry biomass production. Until the third growth cycle, there was a good recovery of the plants after winter periods. However, *C. gayana* and *S. sphacelata* did not resume growth during the spring of the fourth growth cycle. Instead, *P. coloratum* continues in production five years after the implantation. The data highlighted that: i) subtropical species produced more than the natural grassland during summer in Buenos Aires flooding Pampa; ii) nitrogen fertilization is a useful tool to increase biomass production and iii) it is necessary to increase knowledge about factors affecting subtropical forage perpetuity in this region.

**Keywords:** Subtropical species, Aerial biomass, Nitrogen fertilization, Flooding Pampa.

## INTRODUCCIÓN

La región de La Pampa deprimida bonaerense abarca 9,5 millones de hectáreas y se caracteriza por tener un relieve llano con sistemas fluviales poco desarrollados (Tricart, 1973). El clima de la región es templado subhúmedo y, aunque las lluvias se distribuyen a lo largo de todo el año, es característico el déficit en verano y el exceso en invierno (Damario y Pascale, 1988). Lo mencionado anteriormente, sumado al drenaje lento, determina que la alternancia de periodos de anegamiento y de sequía sea frecuente. La vegetación originaria de esta zona está compuesta por un pastizal, cuya diversidad florística está asociada con la heterogeneidad geomorfológica y edafológica de la región (Batista *et al.*, 2005). En esta zona, la cría bovina de carácter extensivo es una de las actividades económicas más trascendentes, por lo tanto la utilización del pastizal natural es un recurso clave en la alimentación del rodeo. Sin embargo, la producción estival del pastizal a menudo es insuficiente para alcanzar los requerimientos del rodeo, particularmente en aquellos sistemas de alta producción. En paralelo, el constante avance de la agricultura ha relegado a la ganadería hacia ambientes menos productivos, lo cual incrementa el déficit señalado (Carballo *et al.*, 2004). Una alternativa para considerar para revertir esta situación es el reemplazo de los pastizales naturales, muchas veces degradados, por especies forrajeras tolerantes a las condiciones ambientales descritas y potencialmente más productivas. Dentro de las especies con posibilidades de uso en esta zona, y específicamente con producción estival, se encuentran algunas poáceas perennes con metabolismo  $C_4$  tales como *Panicum coloratum* (L.) o “mijo perenne”, *Chloris gayana* (Kunth) o “grama rhodes” y *Setaria sphacelata* (Schumach.) o “setaria”. Estas especies reúnen, en diferente medida, características que las hacen interesantes para su cultivo en la zona, especialmente por la producción de biomasa de buen valor nutritivo (Stritzler,

2008; Aiken, 1997; Nivyobizi *et al.*, 2010), la tolerancia a la sequía (Ghannoum, 2009; Ponsens *et al.*, 2010) y a la salinidad (Taleisnik *et al.*, 1998; Ribotta *et al.*, 2013; Russell, 1976); al anegamiento (Imaz *et al.*, 2012; Imaz *et al.*, 2015; Hacker y Jones, 1969); a la alcalinidad (Pengelly *et al.*, 2006; Bui, 2013); y a la tolerancia moderada a las heladas (Jones, 1969; Bogdan, 1969; Lambert *et al.*, 1973; Lodge *et al.*, 2010). Sin embargo, la tolerancia a las condiciones ambientales anteriormente señaladas no está suficientemente documentada para climas templados, no habituales para el crecimiento de este grupo de especies. Existen antecedentes que destacan el potencial de algunas especies subtropicales para mejorar la producción estival de La Pampa deprimida bonaerense. Sin embargo, estos antecedentes se circunscriben a la etapa de establecimiento (Pérez *et al.*, 2007; Borrajo *et al.*, 2014), al primer/segundo año de producción (Otondo, 2011) y a la evolución de la densidad de matas de *C. gayana* y *P. coloratum* hasta un cuarto periodo (Otondo *et al.*, 2013). Solamente Pérez *et al.* (2007) comparan la productividad de *C. gayana* y *P. coloratum* con la del pastizal natural. Por lo tanto, la información disponible es aún insuficiente al momento de considerar el replazo del pastizal natural y de decidir cuál de las especies subtropicales es la que mejor se adapta a la región. En función de los antecedentes descriptos, los objetivos del presente trabajo fueron comparar la productividad de especies subtropicales con la del pastizal natural por un periodo de 5 años y evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa de estas especies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Las semillas de *P. coloratum* cv. Klein Verde; *C. gayana* cvs. Finecut y Topcut y *S. sphacelata* cv. Narok estaban

peleteadas y fueron cedidas por Oscar Peman y Asociados S. A. (Jesús María, Córdoba).

### Sitio experimental

El experimento se realizó en el Centro de Estudios Jorge Gándara (Universidad Católica Argentina) (35° 27' S, 57° 22' O), ubicado en Verónica, partido de Punta Indio, perteneciente a la zona de la Cuenca del Salado, en la región de La Pampa deprimida bonaerense.

### Condiciones de cultivo

La siembra se realizó sobre un suelo de uso ganadero intenso, clausurado durante los ocho meses previos al inicio del experimento. La preparación del suelo consistió en una pasada de rastra doble acción y varias pasadas de rotocultivador. La siembra se realizó a mano el 4/12/2009, a 0,3 m de distancia entre hileras y con una densidad de semillas de 4 kg ha<sup>-1</sup> (Jauregui, 2011). Dicha densidad se encuentra dentro del rango recomendado en <http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html>.

La unidad experimental fue de 19 m<sup>2</sup> y el diseño consistió en un DCA con parcelas divididas y tres repeticiones. El pastizal natural (en adelante llamado pastizal) se utilizó como testigo. Las especies predominantes observadas en el área seleccionada para el experimento fueron *Cynodon dactylon*, *Sida rhombifolia*, *Solanum glaucophyllum* y *Carduus acanthoides*. En un área vecina, no accesible al ganado, las especies predominantes incluyeron además *Bromus catarthicus*, *Lolium multiflorum*, *Cirsium vulgare*,

*Cynara cardunculus* y *Paspalum dilatatum*. Estas diferencias denotan la degradación presente en el área de estudio. Luego del primer corte de biomasa aérea de cada año se fertilizó la mitad de cada parcela experimental con urea granulada para obtener una dosis de nitrógeno de 75 kg ha<sup>-1</sup>. El fertilizante se aplicó a  $\approx 5$  cm de la línea de siembra y  $\approx 1$  cm de profundidad. En ambos sitios las malezas se controlaron en preemergencia con glifosato al 2% v/v y en posemergencia por métodos mecánicos.

La tabla 1 resume las características edáficas y la tabla 2 muestra la precipitación acumulada y las temperaturas medias de los periodos de crecimiento de las especies evaluadas.

### Cosecha de biomasa aérea

Las cosechas de biomasa aérea se realizaron sobre un metro lineal contemplando la mitad del ancho de cada entresurco; de esta manera las áreas de corte consideradas fueron de 0,3 m<sup>2</sup>. Las superficies se eligieron al azar dentro de cada parcela y se demarcaron para los cortes subsecuentes. En la misma superficie se realizó el recuento de macollos. La cosecha de biomasa se realizó cada vez que el cultivo alcanzó una altura de 0,6 m, dejando 0,2 m y 0,1 m de altura foliar remanente para el cultivo y el pastizal, respectivamente. Durante cada ciclo de crecimiento, comprendido desde octubre a marzo, se realizaron 3 cortes. El material cortado se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante. La altura foliar del resto de la parcela se emparejó con una motoguadaña luego de cada corte.

### Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante ANVA y el test de comparación de medias de Tukey ( $\alpha$ : 0,05) agrupados de la siguiente manera: i) un factorial 5 (material vegetal) x 3 (año) para comparar la producción de las especies implantadas con el pastizal natural (testigo), ii) un factorial 4 (especie) x 3 (año) x 2 (fertilización) para evaluar el efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa de las especies implantadas, iii) un factorial 4 (especie) x 2 (año) x 2 (fertilización) para evaluar la densidad de macollos de las especies implantadas y iv) un factorial 5 (año) x 2 (fertilización) para evaluar la evolución de la producción de biomasa y el efecto de la fertilización durante 5 años en *P. coloratum*.

## RESULTADOS

### Producción de biomasa seca aérea

La evolución de la producción de BSA durante los 3 primeros ciclos de crecimiento mostró una interacción significativa entre los factores año y material vegetal ( $p=0,0009$ ). Ambos cultivares de *C. gayana* y el pastizal natural incrementaron la producción el tercer ciclo de crecimiento, mientras que la producción de *P. coloratum* y *S. sphacelata* se mantuvo constante.

Durante el primer ciclo de crecimiento (2009-2010), la producción de BSA de *S. sphacelata* y *C. gayana* cv. Fine-

pH	6,1
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,27
Materia orgánica (%)	5,1
Fósforo extractable (ppm)	11,2

**Tabla 1.** Características edáficas del sitio en evaluación. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-0,2 m.

Ciclo de crecimiento	Parámetros	
	PA (mm)	TM (°C)
Primero (2009/2010)	826,6	20,1
Segundo (2010/2011)	344	20,6
Tercero (2011/2012)	739,9	20,9
Cuarto (2012/2013)	694	20,2
Quinto (2013/2014)	648	20

**Tabla 2.** Precipitación acumulada (PA) y temperatura media (TM) durante los periodos de crecimiento evaluados (octubre/marzo).

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional para Punta Indio (Verónica).

cut superaron la del pastizal en 3.833 y 3.323 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sin embargo, la producción de *P. coloratum* no difirió de la del pastizal ( $p=0,0011$ ). En el segundo ciclo de crecimiento (2010-2011), *S. sphacelata* y ambos cultivares de *C. gayana* superaron la producción del pastizal; no así *P. coloratum*, cuya producción resultó intermedia, sin diferir del pastizal ni de *C. gayana* ( $p=0,0006$ ). Durante el tercer ciclo de crecimiento (2011-2012), la producción de *S. sphacelata* y ambos cultivares de *C. gayana*, en promedio, duplicaron la del pastizal, mientras que *P. coloratum* produjo 1.416 kg ha<sup>-1</sup> menos que el mismo ( $p<0,0001$ ) (figura 1). A pesar de la baja producción de BSA de *P. coloratum* durante los primeros ciclos de crecimiento, comparada con la de las otras especies, los datos de densidad de macollos indican un buen establecimiento de la pastura (tabla 3).

### Densidad de macollos

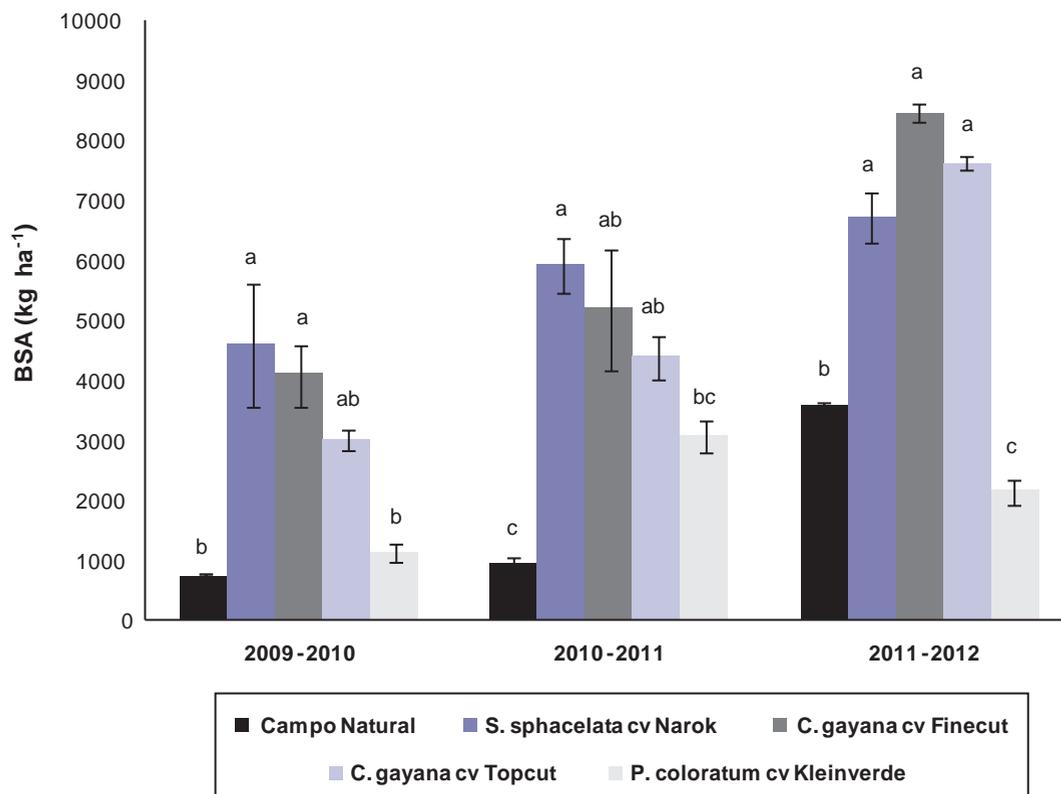
Durante los dos primeros ciclos de crecimiento no se detectó interacción significativa entre los factores especie, fertilización y año ( $p=0,6719$ ). El agregado de 75 kg ha<sup>-1</sup> de urea incrementó la densidad de macollos un 20% con respecto al control, independientemente de la especie y del año; y el segundo ciclo de crecimiento la densidad de macollos aumentó un 23% (tabla 3).

### Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de BSA

La fertilización indujo el incremento de la BSA durante el primer ( $p=0,0321$ ) y segundo ( $p=0,0002$ ) ciclo de crecimiento (43,8% y 49,6%, respectivamente) (tabla 4). La interacción entre especie y fertilización no fue significativa para la BSA en el primer ciclo de crecimiento ( $p=0,5518$ ) ni en el segundo ( $p=0,1860$ ). A partir del tercer ciclo de crecimiento, dicha interacción fue significativa ( $p=0,0005$ ); la fertilización indujo incrementos de la BSA de *C. gayana* cv. Topcut y Finecut del 64% y 67,5%, respectivamente, pero no afectó la BSA de *P. coloratum* ni de *S. sphacelata* (tabla 4).

### Evolución de la producción de *P. coloratum* durante 5 años

Si bien *P. coloratum* mostró la menor BSA desde el primer hasta el tercer ciclo de crecimiento, esta fue la única especie que rebrotó durante el cuarto ciclo de crecimiento y pudo ser evaluada durante 5 periodos consecutivos (figura 2). La interacción entre año y fertilización fue significativa para la producción de BSA ( $p=0,0119$ ) de esta especie. La fertilización nitrogenada no



**Figura 1.** Producción de BSA de las especies forrajeras subtropicales y del pastizal natural en Verónica, Buenos Aires. Los datos son promedio de tres repeticiones y las barras representan el error estándar de la media. Dentro de cada ciclo de crecimiento, medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey,  $p\leq 0,05$ ).

		Macollos m <sup>-2</sup>	
Especie	Tratamiento	2009-2010	2010-2011
<i>C. gayana</i> cv Finecut	Control	176,3 ± 1,5	176,3 ± 1,3
	Fertilizado	197,0 ± 2,9	198,3 ± 0,9
<i>C. gayana</i> cv Topcut	Control	179,0 ± 4,0	174,3 ± 1,3
	Fertilizado	215,5 ± 2,5	213,0 ± 2,0
<i>P. coloratum</i> cv Kleinverde	Control	131,0 ± 15,7	217,3 ± 21,2
	Fertilizado	178,0 ± 12,0	272,3 ± 23,2
<i>S. sphacelata</i> cv Narok	Control	166,0 ± 2,7	223,7 ± 20,2
	Fertilizado	180,7 ± 16,7	279,0 ± 18,7
Interacción especie * tratamiento * año		p= 0,6719	
Especie		p= 0,0626	
Fertilización		p= <0,0001*	
Año		p= <0,0001*	

**Tabla 3.** Efecto de la fertilización nitrogenada (urea) sobre la densidad de macollos durante el primer y segundo ciclo de crecimiento. Los datos son promedio de tres repeticiones ± el error estándar de la media. \* indica diferencia significativa (Tukey, p≤0,05).

		BSA (kg ha <sup>-1</sup> )			
Especie	Tratamiento	2009-2010	2010-2011	2011-2012	
<i>C. gayana</i> cv Finecut	Control	4.061,3 ± 522,5	5.166,4 ± 1012,3	8.447,3 ± 157,2	b
	Fertilizado	6.468,6 ± 988,1	8.086,8 ± 722,8	14.144,3 ± 251,0	c
<i>C. gayana</i> cv Topcut	Control	2.991,6 ± 154,4	4.360,4 ± 370,6	7.599,8 ± 118,6	b
	Fertilizado	5.046,8 ± 1464,8	7.949,3 ± 1070,9	12.436,9 ± 334,8	c
<i>P. coloratum</i> cv Kleinverde	Control	1.102,5 ± 151,3	3.042,8 ± 266,7	2.132,2 ± 206,2	a
	Fertilizado	1.913,0 ± 410,0	3.755,2 ± 393,8	3.441,8 ± 324,2	a
<i>S. sphacelata</i> cv Narok	Control	4.570,3 ± 1010,2	5.899,6 ± 467,0	6.690,9 ± 426,0	b
	Fertilizado	4.871,2 ± 1477,9	7.839,8 ± 573,7	7.834,7 ± 407,1	b
Especie		p= 0,0023 *	p= 0,0004 *	p< 0,0001 *	
Tratamiento		p= 0,0321 *	p= 0,0002 *	p< 0,0001 *	
Especie x Tratamiento		p= 0,5518	p= 0,1860	p= 0,0005 *	

**Tabla 4.** Efecto de la fertilización nitrogenada (urea) sobre la producción de BSA de las especies subtropicales durante los primeros tres ciclos de crecimiento en Verónica, Buenos Aires. Los datos son promedio de tres repeticiones ± el error estándar de la media. Dentro de cada ciclo de crecimiento (columnas), medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey, p≤0,05).

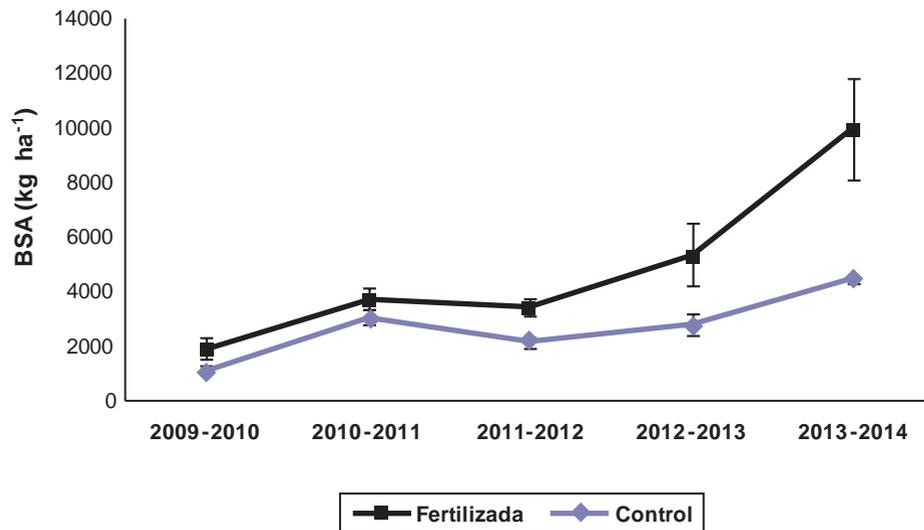
\*indica diferencia significativa

incrementó la BSA desde el año de implantación hasta el cuarto ciclo de crecimiento, en cambio, indujo un aumento del 125% durante el quinto ciclo de crecimiento (figura 2).

## DISCUSIÓN

La producción del pastizal natural observada coincide con lo informado por Hidalgo y Cauhepé (1991), Batista *et al.* (2005) y Donzelli *et al.* (2013). Las producciones de las especies subtropicales se encuentran dentro de los rangos

publicados por INTA (2014) para zonas del subtrópico y semiárido central de la Argentina. Pérez *et al.* (2007) informaron que el promedio de las producciones de *C. gayana* y *P. coloratum* casi duplicó la producción del pastizal natural para el año de implantación en la Cuenca del Salado. En cambio, el promedio de producción de las especies evaluadas en este trabajo superó 4,3 veces la producción del pastizal durante el año de implantación (figura 1). Sin embargo, el tercer año después de la siembra la diferencia disminuyó debido a la recuperación del pastizal natural que



**Figura 2.** Efecto de la fertilización nitrogenada (urea) sobre la producción de BSA de *P. coloratum* cv. Klein Verde durante 5 ciclos de crecimiento en Verónica, Buenos Aires. Los datos son promedio de tres repeticiones y las barras representan el error estándar de la media.

se encontraba muy degradado al momento de la siembra. A pesar de la baja producción de BSA de *P. coloratum* durante los primeros ciclos de crecimiento (figura 1), la densidad de macollos no difirió con respecto a la de las otras especies evaluadas (tabla 3). Además se observa que la incorporación de nitrógeno incrementa la producción de BSA de estas especies en la zona mencionada. En algunos ciclos de crecimiento se obtuvieron valores de BSA superiores a los 10.000 kg ha<sup>-1</sup> en las parcelas fertilizadas de *C. gayana* y *P. coloratum* (tabla 4).

Si bien *C. gayana* y *S. sphacelata* se consideran como especies largamente perennes en sus zonas típicas de producción (Bogdan, 1977; Jank *et al.*, 2002; Borrajo y Pizzio, 2006), estas especies no sobrevivieron más allá del tercer ciclo de crecimiento en Verónica. La muerte de las plantas coincidió con un nivel elevado de precipitaciones durante el invierno de 2012. En efecto, desde marzo a octubre de 2012 se registraron 785,3 mm (83% del promedio anual para la región), lo cual generó periodos de anegamiento en las parcelas experimentales. Por un lado, a diferencia de lo descrito para *C. gayana* y *S. sphacelata*, las plantas de *P. coloratum* aún permanecen productivas luego de 5 ciclos de crecimiento. Este comportamiento coincide con lo descrito por Imaz *et al.* (2015), quienes observaron que, por un lado, *P. coloratum* fue más tolerante al anegamiento que *C. gayana* cuando se compararon plantas adultas. Por otro lado, *P. coloratum* muestra resiembra natural a diferencia de *C. gayana* (comunicación personal de J. Otondo). Posiblemente la dormición de las semillas que presenta *P. coloratum* permita la germinación en momentos más propicios para la supervivencia de las plántulas (Voigt y Tischler, 1997; Tischler y Ocumpaugh, 2004). Coincidentemente con nuestros resultados, Otondo *et al.* (2013) observaron una mayor persistencia de las matas de *P. coloratum* hasta el cuarto ciclo de crecimiento respecto de las de *C. gayana* en ambientes

hidro-halomórficos bajo condiciones de clausura. Hasta el momento no se encontraron otros estudios que comparen la producción de las especies evaluadas en este trabajo con la del pastizal natural más allá del segundo ciclo de crecimiento del cultivo, ni la respuesta de estas a la fertilización nitrogenada en el área de la Depresión del Salado.

A menudo se ha considerado que el factor restrictivo del cultivo de especies subtropicales perennes en zonas templadas es la supervivencia de estas después del periodo invernal debido a la ocurrencia de bajas temperaturas. No obstante, los resultados obtenidos en este estudio mostraron que todas las especies evaluadas mantuvieron o aumentaron la producción de biomasa los años siguientes a la siembra a pesar de las bajas temperaturas mínimas invernales. Por lo tanto, la perennidad de estas especies en la zona podría estar más condicionada por la ocurrencia y duración de periodos de anegamiento que por la incidencia de temperaturas bajas.

## CONCLUSIONES

La evolución de la acumulación de BSA de los materiales evaluados en este trabajo indica: i) buena recuperación de las plantas luego del periodo invernal; ii) producción de BSA superior al pastizal natural en suelos degradados por sobrepastoreo; iii) perennidad corta (tres años) para *C. gayana* y *S. sphacelata*; iv) perennidad prolongada para *P. coloratum* cv. Klein Verde (más de 5 años). Estos resultados generan interrogantes a dilucidar en nuevos estudios en cuanto a las condiciones ambientales que limitan la supervivencia de las plantas de *C. gayana* y *S. sphacelata*, y la producción sostenida en el tiempo de las tres especies evaluadas en condiciones edáficas más restrictivas dentro del área de la Cuenca del Salado.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIKEN, G.E. 1997. Temporal effects on steer performance and nutritive values for eastern gamagrass grazed continuously for different durations. *J. Anim. Sci.* 75: 803-808 (verificado: 13 de diciembre de 2014).
- AVILA, R.; Barbera, P.; Blanco, L.; Burghi, V.; De Battista, J.P.; Frasinelli, C.; Frigerio, K.; Gándara, L.; Goldfarb, M.C.; Griffa, S.; Grunberg, K.; Leal, K.; Kunst, C.; Lacorte, S.M.; Lauric, A.; Martínez Calsina, L.; McLean, G.; Nenning, F.; Otondo, J.; Petruzzi, H.; Pizzio, R.; Pueyo, J.D.; J.; Ré, A.E.; Ribotta, A.; Romero, L.; Stritzler, N.; Tomas, M.A.; Torres Carbonell, C.; Ugarte, C.; Veneciano, J. 2014. Gramíneas forrajeras para el sub-trópico y el semiárido central de la Argentina. INTA. Disponible: [http://inta.gob.ar/documentos/gramineas-forrajeras-para-el-subtropico-y-el-semiarido-central-de-la-argentina/at\\_multi\\_download/file/INTA%20-%20Gramineas%20forrajeras%20para%20el%20subtr%C3%B3pico%20y%20el%20semi%C3%A1rido%20central%20de%20la%20Argentina.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/gramineas-forrajeras-para-el-subtropico-y-el-semiarido-central-de-la-argentina/at_multi_download/file/INTA%20-%20Gramineas%20forrajeras%20para%20el%20subtr%C3%B3pico%20y%20el%20semi%C3%A1rido%20central%20de%20la%20Argentina.pdf) (verificado: 13 de diciembre de 2014).
- BATISTA, W.B.; TABOADA, M.A.; LAVADO, R.S.; PERELMAN, S.B.; LEÓN, J.C. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. En: OESTERHELD, M.; AGUIAR, M.R.; GHERSA, C.M.; PARUELO, J.M. (Eds.). *La heterogeneidad de la vegetación de los agro-ecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. Pp. 113-129.
- BOGDAN, A.V. 1969. *Chloris gayana* without antocyanin colouration. *Herb. Abstr. Hurley Berks* 39:1-13.
- BOGDAN, A.V. 1977. *Grasses and Legumes. En: Tropical Pasture and Fodder Plants*. Longman: Londres y Nueva York. Pp. 77-86.
- BORRAJO, C.I.; MORALES, F.; LAURENCO, C.; LAPLACE, S. 2014. Comparación de gramíneas subtropicales en un suelo Natracuol de la Cuenca del Salado. 37.º Congreso AAPA. RAPA vol. 34, Sup. 1: 473.
- BORRAJO, C.I.; PIZZIO, R. 2006. Manual de Producción y Utilización de *Setaria*. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible: [http://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_megatermicas/178-Manual\\_Setaria.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/178-Manual_Setaria.pdf). Verificado: 16 de junio de 2013
- BUI, E. 2013. Possible role of soil alkalinity in plant breeding for salt-tolerance. *Biol. Lett.* 9: 20130566.
- CARBALLO, C.; TSAKOU MAGKOS, P.; GRAS, C.; ROSSI, C.; PLANO, J.L.; BRAMUGLIA, G. 2004. "Articulación de los pequeños productores con el mercado: limitaciones y propuestas para superarlas". Serie Estudios e Investigaciones N.º 7, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Dirección de Desarrollo Agropecuario, Buenos Aires.
- DAMARIO, E.A.; PASCALE, A.J. 1988. Caracterización agroclimática de la Región Pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires* 9: 41-54.
- DONZELLI, M.V.; RESSIA, M.A.; JANKOVIC, V.; BORRAJO, C.I.; CALDENTY, F.; BERGER, H.; FAVERÍN, C.; MARESCA, S. 2013. Caracterización de dos comunidades típicas de la Cuenca del Salado. 36.º Congreso Argentina de Producción Animal. Disponible: <http://inta.gob.ar/documentos/caracterizacion-de-dos-comunidades-tipicas-de-la-cuenca-del-salado/>. Verificado: 15 de octubre de 2013
- GHANNOUM, O. 2009. Review: C<sub>4</sub> photosynthesis and water stress. *Annals of Botany* 103: 635-644.
- HACKER, J.B.; JONES, R.J. 1969. The *Setaria sphacelata* complex—a review. *Tropical Grasslands* 3: 13-34.
- HIDALGO, L.G.; CAUHEPÉ, M.A. 1991. Producción de forraje de las comunidades de la Depresión del Salado. *Revista de AACREA* 149: 58-62.
- IMAZ, J.A.; GIMENEZ, D.O.; GRIMOLDI, A.A.; STRIKER, G.G. 2012. The effects of submergence on anatomical, morphological and biomass allocation responses of tropical grasses *Chloris gayana* and *Panicum coloratum* at seedling stage. *Crop & Pasture Science* 63: 1145-1155.
- IMAZ, J.A.; GIMÉNEZ, D.O.; GRIMOLDI, A.A.; STRIKER, G.G. 2015. Ability to recover overrides the negative effects of flooding on growth of tropical grasses *Chloris gayana* and *Panicum coloratum*. *Crop & Pasture Science* 66: 100-106.
- JANK, L.; QUESENBERRY, K.H.; BLOUNT, A.R.S.; MISLEVY, P. 2002. Selection in *Setaria sphacelata* for winter survival. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45: 273-281.
- JAUREGUI, J.A. 2011. Evaluación de la producción de biomasa de *Setaria sphacelata* (Schumach.) var. anceps (cv. Narok) en Cuenca del Salado. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. Disponible: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/eva-luacion-produccion-biomasa-setaria-sphacelata.pdf>. Verificado: 24 de abril de 2013
- JONES, R.M. 1969. Mortality of some tropical grasses and legumes following frosting in the first winter after sowing. *Tropical Grasslands* 3: 57-63.
- LAMBERT, J.P.; BOYD, A.F.; HARRIS, W. 1973. Comparison of seasonal growth pattern, frost tolerance, and cutting response of *Setaria sphacelata* sensu lato varieties with cocksfoot and ryegrass. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 1(1): 15-22.
- LODGE, G.M.; BRENNAN, M.; HARDEN, S. 2010. Field studies of the effects of pre-sowing weed control and time of sowing on tropical perennial grass establishment, North-West Slopes, New South Wales. *Crop and Pasture Science* 61(2): 182-191.
- NIVYOBIZI, A.; DESWYSEN, A.; DEHARENG, D.; PEETERS, A.; LARONDELLE, Y. 2010. Nutritive value of some tropical grasses used by traditional small farms in the highlands of Burundi. *Trop. Anim. Health Prod.*, 42: 561-567.
- OTONDO, J. 2011. Efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 85 pp.
- OTONDO, J.; MELANI, E.M.; CICCHINO, M.A.; CALVETTY, M. 2013. Evolución de la densidad de matas de pasturas subtropicales de la Cuenca del Salado. 36.º Congreso AAPA. RAPA vol. 33, Sup. 1: 237.
- PENGELLY, B.C.; HALL, E.; AURICHT, G.; BENNELL, M.; COOK, B.G. 2006. Identifying potential pasture species for grazing systems in the Mallee-Wimmera. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra. 109 pp.
- PÉREZ, R.A.; ROSSI, C.A.; OTONDO, J.; TORRÁ, E.; BIDART, A. 2007. Implantación de gramíneas subtropicales en bajos alcalino-sódicos del pastizal de la cuenca del salado. IV Congreso Nacional y I del Mercosur de la Asociación para el Manejo de Pastizales Naturales. Villa Mercedes, San Luis.
- PONSENS, J.; HANSON SCHELLBERG, J.; MOESELER, B.M. 2010. Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accessions. *Field Crops Research* 118: 57-72.
- RIBOTTA, A.N.; GRIFFA, S.M.; DÍAZ, D.; CARLONI, E.J.; LÓPEZ COLOMBA, E.; TOMMASINO, E.A.; QUIROGA, M.; LUNA, C.; GRUNBERG, K. 2013. Selecting salt-tolerant clones and evaluating genetic variability to obtain parents of new diploid and tetraploid germplasm in rhodesgrass (*Chloris gayana* K.) *South African Journal of Botany* 84: 88-93.

RUSSELL, J.S. 1976. Comparative salt tolerance of some tropical and temperate legumes and tropical grasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 16: 103-109.

STRITZLER, N.P. 2008. Producción y calidad nutritiva de especies forrajeras subtropicales. *Revista Argentina de Producción Animal* 28(2): 165-168.

TALEISNIK, E.; PEREZ, H.; CÓRDOBA, A.; MORENO, H.; GARCÍA SEFFINO, L.; ARIAS, C.; GRUNBERG, K.; BRAVO, S.; ZENOFF, A. 1998. Salinity effects on the early development stages of *Panicum coloratum*: cultivar differences. *Grass and Forage Science* 53: 270-278.

TISCHLER, C.R.; OCUMPAUGH, W.R. 2004. Kleingrass, Blue Panic, and Vine Mesquite. En: MOSER, L.E., BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.). *Warm-season (C<sub>4</sub>) grasses*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. EE. UU.

TRICART, J. 1973. La geomorfología de La Pampa deprimida como base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan mapa de suelos de la región Pampeana, INTA. Buenos Aires. XII colección científica. 202 p.

VOIGT, P.W.; TISCHLER, C.R. 1997. Effect of seed treatment on germination and emergence of 3 warm-season grasses. *J. Range Manage.* 50(2): 170-174.

# Crianza artificial de terneros de tambo utilizando sustitutos lácteos de distinto contenido energético

JULIANO, N.<sup>1</sup>; DANELON, J.L.<sup>1</sup>; FATTORE, R.O.<sup>2</sup>; CANTET, J.M.; MARTINEZ, R.<sup>1</sup>, MICCOLI, F.<sup>1</sup>, PALLADINO, R.A.<sup>1,3</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta productiva de terneros machos enteros alimentados con 3 dietas líquidas diferentes más un alimento balanceado comercial. Los sustitutos lácteos utilizados fueron: 1) sustituto lácteo tradicional, de composición similar a los comúnmente encontrados en el mercado (20% PB y 15% EE), y 2) sustituto lácteo alta energía (20% PB y 20% EE). Como testigo se alimentó un grupo con leche proveniente del tambo. Se evaluó el tiempo al desleche, ganancia diaria de peso vivo (GDPV), estimación de consumo de materia seca (CMS) y nutrientes, y eficiencia de conversión. Se utilizaron 21 terneros machos de raza Holando-Argentino provenientes de una explotación comercial del partido de Luján (provincia de Buenos Aires, Argentina) (7 por tratamiento), los cuales fueron criados en sistema de estaca durante 60 días. Se realizaron mediciones del consumo de alimento sólido y líquido diariamente y aumento de peso cada 21 días. Los resultados obtenidos muestran que no hubo diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las variables analizadas, excepto en la eficiencia de conversión (kg MS/kg ganancia de peso total) y en la GDPV entre los días 3 y 24, la cual fue mayor para el tratamiento testigo leche en ambos casos. Se concluye que a pesar de que los sustitutos lácteos evaluados no logran equiparar la GDPV y la conversión con respecto al grupo testigo durante los primeros 24 días, todos los tratamientos presentaron un comportamiento productivo similar en la totalidad de la crianza.

**Palabras clave:** lacto-reemplazante, grasa, GDPV, eficiencia de conversión.

## ABSTRACT

*The aim of this study was to evaluate the growth performance of male calves fed 3 different liquid diets plus a commercial feed. Milk replacers used were: 1) conventional milk replacer, similar to those commonly found in the market (20 % CP and 15 % EE), and 2) one with higher fat content (20 % CP and 20 % EE). The control group was fed with whole milk. We evaluated time to weaning, daily live weight gain (DLWG), dry matter intake (DMI) nutrients intake, and conversion efficiency. We used 21 Holstein male calves from a dairy farm in Luján (Buenos Aires, Argentina) (7 per treatment) reared outside with bucket system. Weight gain measurements were made every 21 days, solid and liquid feed intakes were measured daily. The results show no significant differences between treatments for any of the variables analyzed, except the conversion efficiency (kg DM/kg total weight gain) and daily weight gain between days 3 and 24, which was higher for control group in both cases. We conclude that although milk replacers evaluated fail to equate conversion and DLWG compared with the control group during the first 24 days, all treatments had a similar performance overall.*

**Keywords:** Milk replacer, fat, daily gain, conversion efficiency.

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), CABA, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: rpalladi@agro.uba.ar

<sup>2</sup>Eurotec Nutrition Argentina. Av. Vieytes 1828 (C1275AGV), CABA, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: rfattore@eurotec.com.ar

<sup>3</sup>INPA-CONICET

## INTRODUCCIÓN

Durante las primeras semanas de vida, los terneros requieren una dieta láctea (Relling y Mattioli, 2002) a la cual sigue un proceso de transición durante unas semanas en el cual los pre-estómagos y el estómago verdadero van desarrollando su funcionalidad y tamaño hasta llegar a comportarse como un rumiante completamente funcional. La velocidad de desarrollo de los compartimentos y la capacidad de absorción de estos depende fundamentalmente del tipo de alimentación consumida durante este período (Tanan, 2005).

Aunque la leche materna representa el mejor alimento para los recién nacidos, en sistemas de producción lechera donde la cría de terneros se realiza sin contacto con la madre, razones sanitarias y principalmente económicas impulsan a los productores a reemplazar la leche de la dieta líquida por lacto-reemplazantes, también denominados "sustitutos lácteos" (SL). Además de tener menor costo, presentan algunas ventajas con respecto a la leche, como la facilidad de almacenaje y manipulación. Además pueden evitar los riesgos que conlleva la utilización de leche de descarte para alimentar a los terneros. Aunque también pueden traer aparejadas algunas desventajas como la necesidad de tener que prepararlos diariamente en igualdad de condiciones (concentración y temperatura).

Algunos trabajos remarcan la importancia del consumo de nutrientes provenientes de la dieta líquida, particularmente entre el nacimiento y los 60 días de edad, debido al efecto residual que podría tener en el caso de las hembras, sobre la producción futura de leche (Rincker *et al.*, 2006; Moallem *et al.*, 2006; Pollard *et al.*, 2007, citados por Van Amburgh *et al.*, 2010). Soberon *et al.* (2012), por ejemplo, encontraron significativos aumentos en la producción de leche de la primera, segunda y tercera lactancia de terneras cuando, durante la crianza, el aporte de energía por parte de la dieta líquida era proporcionalmente mayor, lo que permitiría hipotetizar que otros factores pueden afectar el desarrollo (aparte del consumo de energía *per se*).

A pesar de los supuestos beneficios de una mayor participación de los nutrientes lácteos en la dieta, en la mayoría de los sistemas de crianza la dieta líquida es usualmente limitada para estimular el consumo de alimento seco por parte del animal y promover un temprano desarrollo ruminal (Bush y Nicholson, 1986, citados por Quigley *et al.*, 2006). Generalmente, el aumento en la ingesta de nutrientes de la dieta líquida provoca un menor consumo de alimento balanceado y forraje (Jasper y Weary, 2002), mayor GDPV (Brown *et al.*, 2005) y mayor deposición de grasa y proteína (Díaz *et al.*, 2001), con un aumento del costo de la dieta total. Por lo tanto, los alimentos sólidos promueven el desarrollo físico y funcional del rumen (Anderson *et al.*, 1987).

Cambios en la composición del SL pueden provocar cambios en el comportamiento productivo y el consumo de la dieta sólida. En este sentido, Jaster *et al.* (1992) encontraron beneficios al aumentar la ingesta total de grasa a partir de su incremento en el SL. Por un lado, Kuehn *et al.* (1994) compararon el uso de dos SL con 15 y 20% de grasa y encontraron que los animales que consumieron el SL

con 20% tuvieron menor GDPV como consecuencia de un menor consumo de la dieta sólida. Por otro lado, otros investigadores concluyeron que un porcentaje mayor de grasa asegura el consumo de energía y un crecimiento óptimo sobre todo en climas fríos (Scibilia *et al.*, 1987).

El objetivo de este trabajo fue evaluar durante los primeros 60 días de vida, la respuesta productiva de terneros machos raza Holando-Argentino alimentados con un SL de mayor contenido graso (y en consecuencia de mayor energía total) en comparación con uno tradicionalmente utilizado y la leche entera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Animales y diseño experimental

Se utilizaron 21 terneros machos enteros, de raza Holando-Argentino, provenientes de un tambo comercial del partido de Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina, nacidos entre el 9 de agosto y el 9 de septiembre de 2011. Se seleccionaron terneros nacidos en un período no mayor a los 30 días para evitar efectos estacionales. Los terneros se dividieron al azar en 3 grupos de 7 animales cada uno, en un diseño completamente aleatorizado y se les suministró una dieta líquida diferente, consistente en a) sustituto lácteo tradicional (SLT) (Pronutra Gold®; 20% PB, 15% EE, 3,5 Mcal EM/kg MS de Eurotec Nutrition Argentina), b) sustituto lácteo alta energía (SLAE) (20% PB, 20% EE, 3,93 Mcal EM/kg MS) y c) leche proveniente del tambo (L). Cada ternero fue pesado al momento del nacimiento y luego al tercer día de vida antes de ser asignados al azar a cada tratamiento. Posteriormente, todos los animales fueron pesados cada 21 días (a partir del tercer día de vida) hasta finalizado el ensayo (día 60 de vida). Las pesadas se realizaron antes de la alimentación de la mañana. La crianza fue realizada utilizando el sistema de estacas individuales que fueron cambiadas de lugar cada 4-7 días para evitar que los terneros permanecieran sobre suelo sucio o embarrado.

### Procedimientos y toma de datos

A todos los terneros se les suministró calostro durante los primeros 2 días de vida en 2 tomas diarias a 37 °C. La cantidad de calostro suministrada inicialmente fue del 12% del peso al nacimiento. A partir del 3.º día desde el nacimiento se ofreció a cada ternero 2 tomas diarias a razón de 2 l/toma (8 y 17 h; 4 litros diarios) de SLT, SLAE o L a 37 °C según tratamiento y alimento balanceado iniciador (AB) *ad libitum*, (Ternero Iniciador CONECAR®; 16% PB, 2,8 Mcal EM/kg MS) hasta el momento de finalizado el ensayo. La preparación del sustituto lácteo se realizó disolviendo 125 gramos de polvo por litro de agua para lograr una concentración de sólidos similar a la leche. Diariamente (por la mañana) se retiró y pesó el remanente de AB y el de dieta líquida (luego de 10 minutos de cada toma). El criterio adoptado para dar por finalizado el estudio (deslechar los terneros) fue cuando el consumo de balanceado fue mayor o igual a 1 kg durante 3 días seguidos, o a los 60

días del nacimiento, lo que ocurra primero. Se determinó el tiempo al desleche (en días) para cada ternero.

Con los datos obtenidos se calculó el consumo de materia seca (CMS) de las dietas sólida y líquida, ganancia de peso vivo (GDPV) y eficiencia de conversión. Se recogieron muestras semanales de alimento balanceado, leche y de los sustitutos lácteos para su posterior análisis en laboratorio (materia seca (MS), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE) y cenizas, (AOAC, 1984); PB ( $N_{\text{total}} \times 6,25$ ) por el método de Kjeldahl (AOAC, 1984) con equipo Pro-Nitro® (J.P. Selecta, Barcelona, España); FDN y FDA, (Goering y Van Soest, 1970) con analizador de fibra ANKOM® (modelo 220). El cálculo de la EM para leche, SLT y SLAE se realizó con la ecuación del NRC (1984) y para AB con ecuación Menke & Steingass (1988). Las muestras de leche fueron analizadas con equipo Milkoscan (Foss Electric, Hillerød, Denmark). Cada muestra semanal de AB y SL estuvo compuesta de 7 muestras diarias tomadas por la mañana. Las muestras de leche se tomaron una vez por semana, previas al suministro. Con estos datos se calculó el consumo de nutrientes.

Cada animal fue pesado en 4 ocasiones: al nacimiento, a los 3, 24, 45 y 60 días (fin del ensayo). Se utilizó una balanza de hacienda (Bianchetti ZEE-300®, precisión de 100 g) y para pesar el sustituto lácteo y el alimento balanceado se utilizó una balanza de mesada (precisión de 1 g). Los casos de morbilidad (diarreas, neumonías) se trataron según el criterio del veterinario presente en el establecimiento. Diariamente se tomaron datos de temperatura ambiente máxima, mínima y precipitación. Además, diariamente se evaluó mediante escala visual la característica del bosteo para detectar casos de diarreas que requieran tratamiento veterinario.

### Análisis de datos

Se trató de un diseño completamente aleatorizado. Los resultados fueron analizados por ANVA y las medias dife-

renciadas por Test de Tukey. Las diferencias fueron declaradas significativas cuando  $p \leq 0,05$ . Se utilizó un procedimiento de modelos mixtos con medidas repetidas siendo el ternero el factor aleatorio. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \text{trat}_i + \text{tiempo}_j + \text{trat}_i \times \text{tiempo}_j + \text{Error}_{ij}$$

donde:  $\mu$  es la media general, **trat** es el efecto del tratamiento (dieta líquida), **tiempo** representa el período de medición cuando corresponde (por ejemplo, en la GDPV parciales para cada período de medición), **trat<sub>i</sub> x tiempo<sub>j</sub>**, es la interacción, y **Error** es el error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del experimento sobre las variables analizadas para la totalidad del período experimental se observan en la tabla 1.

El peso inicial (día 3 de vida), peso final, días al desleche, GDPV promedio, consumo de AB y consumo de dieta líquida para toda la duración del ensayo no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. La única variable que presentó diferencias significativas fue la conversión (kg MS/kg ganancia de peso total) para la totalidad de la duración del experimento. En el tratamiento L se observa una tendencia a menor consumo de AB, aunque los terneros logran mantener una GDPV numéricamente mayor que en los tratamientos SLT y SLAE, lo cual se tradujo en una mejora de la conversión a favor del tratamiento leche ( $p < 0,01$ ).

Estos resultados son consistentes con los observados en otros estudios, en donde ya sea por mayor oferta de dieta líquida (Jasper y Weary, 2002; Kristensen *et al.*, 2007; Borderas *et al.*, 2009; Hill *et al.*, 2010) o por oferta de mejor calidad (Kuehn *et al.*, 1994; Daniels *et al.*, 2008) el consumo de MS de AB fue menor.

	SLT	SLAE	Leche	EEM	Significancia <sup>1</sup>
<b>Peso Inicial (kg)</b>	41,1	41,4	40,0	0,71	NS
<b>Peso final (kg)</b>	67,4	67,7	70,0	0,91	NS
<b>Ganancia peso total (kg)</b>	26,3	26,3	30,0	0,81	NS
<b>GDPV promedio (kg/d)<sup>2</sup></b>	0,47	0,47	0,53	0,020	NS
<b>Consumo total de AB (kg tal cual)</b>	35,7	30,3	26,1	1,67	NS
<b>Consumo total de dieta líquida (litros)</b>	187,0	198,0	192,5	5,50	NS
<b>CMS total (kg MS)<sup>3</sup></b>	52,3	49,0	46,4	2,86	NS
<b>Conversión (kg MS/kg ganancia peso total)<sup>4</sup></b>	2,03 a	2,01 a	1,57 b	0,111	**
<b>Días al desleche</b>	50	53	53	0,9	NS

**Tabla 1.** Efecto del tipo de dieta líquida sobre el comportamiento productivo de terneros Holando-Argentino.

<sup>1</sup>NS = no significativo; \*\* =  $P < 0,01$ . <sup>2</sup>Ganancia diaria de peso vivo. <sup>3</sup>Consumo de materia seca. <sup>4</sup>Los valores de significancia corresponden a la transformación de la variable conversión (inversa del valor de conversión). SLT: Sustituto Lácteo Tradicional (20% PB, 15% EE, 3,5 Mcal EM/kg MS). SLAE: Sustituto Lácteo Alta Energía (20%PB, 20% EE, 3,93 Mcal EM/kg MS). Leche: Leche entera. AB: Alimento Balanceado Iniciador (16% PB, 2,8 Mcal EM/kg MS). Medias seguidas de letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Ganancia diaria de peso vivo (kg/d)	SLT	SLAE	Leche	EEM	Significancia <sup>1</sup>
GDPV días 3-24 <sup>2</sup>	0,088 <sup>b</sup>	0,090 <sup>b</sup>	0,258 <sup>a</sup>	0,03	*
GDPV días 25-45	0,59	0,59	0,56	0,03	NS
GDPV días 46-59	0,87	0,87	0,93	0,03	NS
Conversión <sup>3</sup> (kg MS/kg ganancia peso por período)					
Conversión días 3-24	4,30 <sup>a</sup>	4,81 <sup>a</sup>	3,25 <sup>b</sup>	0,88	†
Conversión días 25-45	1,63	1,56	1,42	0,88	NS
Conversión días 46-59	1,83	1,61	1,47	0,88	NS

**Tabla 2.** Consumo de las distintas fracciones, ganancia diaria de peso vivo y conversión de terneros Holando-Argentino según etapa de crecimiento.

<sup>1</sup>NS = no significativo; \* = P<0,05; \*\* = P<0,01; † = P<0,10. <sup>2</sup>Ganancia diaria de peso vivo. <sup>3</sup>Los valores de significancia corresponden a la transformación de la variable conversión (inversa del valor de conversión). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

La interacción tiempo x tratamiento resultó no significativa en todos los casos con excepción de la conversión y de la GDPV, las cuales resultaron significativamente diferentes entre tratamientos durante la primera etapa del experimento (días 3-24). Los terneros que recibieron el tratamiento SLT y SLAE tuvieron una GDPV menor a los 100 g/d durante el primer período del experimento mientras que aquellos animales que consumieron leche presentaron una GDPV mayor a los 250 g/d (tabla 2). Los CMS para los tres períodos resultaron similares entre tratamientos, con lo que las diferencias encontradas parecen estar explicadas por la composición de los sustitutos lácteos ofrecidos. Cuando los SL son elaborados con proteínas provenientes de fuentes no lácteas, su utilización por parte del ternero joven

es menor. Durante las primeras semanas de vida, el aparato digestivo del ternero está adaptado a la digestión de proteínas lácteas, por lo que si se le ofrecen fuentes proteicas distintas, la utilización de nutrientes y energía será menor. La formación del coágulo en el abomaso se produce por acción de la quimosina y únicamente en presencia de caseína, por lo que si la proteína no es de origen lácteo, el coágulo no se formará y la tasa de pasaje del alimento líquido será mayor, con una menor eficiencia de utilización. Cuando los SL son elaborados con proteína de origen lácteo, la firmeza del coágulo dependerá del tratamiento al que fue sometido durante la desnaturalización, fundamentalmente de la temperatura. A mayor temperatura durante la desnaturalización, menor será la firmeza del coágulo (Tanani, 2005).

	SLT	SLAE	Leche	EEM	Significancia <sup>1</sup>
CMS <sup>2</sup> dieta líquida	20,70	22,30	23,50	1,16	NS
CMS AB	31,50	26,70	22,90	3,91	NS
Consumo Proteína dieta líquida	4,80 <sup>b</sup>	5,44 <sup>ab</sup>	6,26 <sup>a</sup>	0,30	**
Consumo Proteína AB	5,58	4,71	4,04	0,69	NS
Consumo EE <sup>3</sup> dieta líquida	3,36 <sup>c</sup>	4,55 <sup>b</sup>	6,86 <sup>a</sup>	0,24	**
Consumo EE AB	0,24	0,20	0,17	0,03	NS
Consumo EM <sup>4</sup> (Mcal) dieta líquida	72,6 <sup>c</sup>	93,7 <sup>b</sup>	111,8 <sup>a</sup>	4,45	**
Consumo EM (Mcal) AB	103,10	87,00	74,50	12,63	NS
CMS total	52,30	49,00	46,40	2,86	NS
Consumo Proteína total	10,40	10,20	10,30	0,43	NS
Consumo EE total	3,6 <sup>c</sup>	4,8 <sup>b</sup>	7,0 <sup>a</sup>	0,22	**
Consumo EM (Mcal) total	175,70	180,70	186,30	8,81	NS

**Tabla 3.** Efecto del tipo de dieta líquida sobre el consumo total de nutrientes (kg MS).

<sup>1</sup>NS = no significativo; \* = P<0,05; \*\* = P<0,01; † = P<0,10. <sup>2</sup>Consumo de materia seca. <sup>3</sup>Extracto Etéreo. <sup>4</sup>Energía Metabolizable. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Los terneros que recibieron el tratamiento leche presentaron mayores GDPV y mejor conversión promedio durante la primera etapa, debido a que recibían una dieta adecuada al funcionamiento de su aparato digestivo. Cuando la dieta líquida es compuesta por leche entera, se logra la mejor utilización de los nutrientes y la firmeza del coágulo es mayor, por lo que es digerido más lentamente y utilizado con mayor eficiencia. Durante las etapas 2 (días 25 a 45) y 3 (días 46 a 59) la GDPV no difirió entre tratamientos. Esto probablemente se debió al mayor consumo de AB por parte de los terneros en los tratamientos SLT y SLAE aunque esta no fue estadísticamente significativa. Según la bibliografía, los animales sometidos a dietas líquidas de menor contenido energético aumentan el consumo de AB para satisfacer sus requerimientos energéticos (Jaster *et al.*, 1992; Hill *et al.*, 2008).

Cuando se analiza el consumo de nutrientes para cada tratamiento durante la totalidad del ensayo se observan diferencias en algunas variables. Para el tratamiento control (leche), tanto el consumo de proteína, extracto etéreo (grasa) y EM fue mayor (tabla 3). También se observa el mismo resultado para esas variables en el caso del SLAE respecto del SLT.

A pesar de que no se observan diferencias significativas entre tratamientos en cuanto al CMS total de la dieta líquida durante el experimento, si se observaron diferencias en el consumo de los nutrientes presentes en esta. Esto se debe a la diferencia en cuanto a la composición nutricional de las dietas líquidas (tabla 4).

El mayor consumo de proteína, EE y EM proveniente de la dieta líquida se da en el tratamiento control (L), seguido por el tratamiento SLAE y por último el tratamiento SLT.

Se evaluó el efecto residual de los tratamientos sobre el posterior engorde de los terneros. Todos los animales permanecieron bajo un mismo régimen alimenticio. En la tabla 5 se presentan las GDPV y los pesos de venta de los animales.

	SLT	SLAE	Leche	AB
<b>PB (%)</b>	23,39	24,61	26,40	18,73
<b>EE (%)</b>	15,59	20,5	28,96	4,29
<b>EM (Mcal/kg MS)*</b>	3,25	4,07	5,53	3,25

**Tabla 4.** Composición nutricional de las dietas líquidas y alimento balanceado utilizados durante el experimento.

\*El cálculo de la EM se realizó con la ecuación del NRC (2001).

No se encontraron diferencias significativas en la GDPV ni en el peso al momento de venta para faena ( $p > 0,05$ ). Bajo las condiciones del experimento, los cambios en la dieta de los animales durante los primeros 60 días de vida no presentaron ningún tipo de efecto residual sobre la ganancia de peso vivo post-experimento.

Teniendo en cuenta que con el uso de SL se disminuyen ciertos riesgos sanitarios asociados al consumo de leche cruda, además de la facilidad de almacenamiento, probablemente la utilización de un SLT resulte adecuada para la crianza de terneros machos provenientes del tambo ya que no se verá comprometida la producción futura de los animales. Por último, es necesaria la evaluación en condiciones locales del efecto de la dieta en edades tempranas sobre el comportamiento productivo de las hembras.

## CONCLUSIONES

A pesar de las diferencias en composición química de las dietas líquidas estudiadas, no se observaron diferencias significativas en el tiempo al desleche, ganancia diaria de peso vivo, estimación de consumo de materia seca y nutrientes de los terneros. Solamente se registró una mejora en la eficiencia de conversión en el tratamiento L, como consecuencia de una mejor respuesta productiva durante la primera etapa de la crianza (3 a 24 días). Los resultados deben tomarse con precaución dado el bajo número de animales evaluados. A futuro se recomienda estudiar el impacto de estas dietas sobre el comportamiento productivo de hembras durante la etapa de crianza y sobre sus respectivas lactancias.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Establecimiento La Clarita, GUILS S. A. y al Sr. Luis Zabalo por brindar el espacio y los animales para la realización del ensayo. Se agradece especialmente a la empresa Eurotec Nutrition Argentina por el financiamiento del estudio realizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, K.L.; NAGARAJA, T.G.; MORRILL, J.L. 1987. Ruminant metabolic development in calves weaned conventionally or early. *J. Dairy Sci.* 70:1000-1005.
- BORDERAS, T.F.; de PASILLÉ, A.M.B.; RUSHEN, J. 2009. Feeding behavior of calves fed small or large amounts of milk. *J. Dairy Sci.* 92:2843-2852.

	SLT	SLAE	Leche	EEM	Significancia <sup>1</sup>
<b>Peso de venta (kg)</b>	187	183,71	182,14	4,984	NS
<b>GDPV<sup>2</sup> (kg/d)</b>	0,83	0,861	0,851	0,0681	NS

**Tabla 5.** Peso final y ganancia diaria de peso vivo de terneros Holando-Argentino durante la recría (posexperimento).

<sup>1</sup>NS = no significativo; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; † =  $P < 0,10$ . <sup>2</sup>Ganancia diaria de peso vivo.

- DANIELS, M.K.; HILL, S.R.; KNOWLTON, K.F.; JAMES, R.E.; MCGILLIARD, M.L.; AKERS, R.M. 2008. Effects of milk replacer composition on selected blood metabolites and hormones in pre-weaned Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 91:2628–2640.
- DIAZ, M.C.; VAN AMBURGH, M.E.; SMITH, J.M.; KELSEY, J.M.; HUTTEN, E.L. 2001. Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *J. Dairy Sci.* 84:830–842.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agriculture Research Service/USDA Handbook N.º 379, Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, D.C.
- HILL, T.M.; BATEMAN II, H.G.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R.L. 2008. Effect of consistency of nutrient intake from milk and milk replacer on dairy calf performance. *Prof. Anim. Sci.* 24:85-92.
- HILL, T.M.; BATEMAN II, H.G.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R.L. 2010. Effect of milk replacer program on digestion of nutrients in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 93:1105–1115.
- JASPER, J.; WEARY, D.M. 2002. Effects of *ad libitum* milk intake on dairy calves. *J. Dairy Sci.* 85:3054–3058.
- JASTER, E.H.; MCCOY, G.C.; SPANSKI, N.S. 1992. Effect of extra energy as fat or milk replacer solids in diets of young dairy calves on growth during cold weather. *J. Dairy Sci.* 75:2524-2531.
- KRISTENSEN, N.B.; SEHESTED, J.; JENSEN, S.K.; VESTERGAARD, M. 2007. Effect of milk allowance on concentrate intake, ruminal environment, and ruminal development in milk-fed Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 90:4346-4355.
- KUEHN, C.S.; OTTERBY, D.E.; LINN, J.G.; OLSON, W.G.; CHESTER-JONES, H.; MARX, G.D.; BARMORE, J.A. 1994. The effect of dietary energy concentration on calf performance. *J. Dairy Sci.* 77:2621-2629.
- MENKE, K. H.; STEINGASS, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28:209-221.
- QUIGLEY, J.D.; WOLFE, T.A.; ELSASSER, T.H. 2006. Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *J. Dairy Sci.* 89:207–216.
- RELLING, A.E.; MATTIOLI, G.A. 2002. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. UNLP. Editorial EDULP. 72 pp.
- SCIBILIA, L.S.; MULLER, L.D.; KENSGINGER, R.S.; SWEENEY, T.F.; SHELLENBERGER, P.R. 1987. Effect of environmental temperature and dietary fat on growth and physiological responses of newborn calves. *J. Dairy Sci.* 70:1426-1433.
- SOBERON, F.; RAFFRENATTO, E.; EVERETT, R.W.; VAN AMBURGH, M.E. 2012. Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:783-793.
- TANAN, K.G. 2005. Nutrient sources for liquid feeding of calves. En: Garnsworthy, P.C. (Ed.) *Calf and heifer rearing*. Nottingham University Press, Nottingham. pp. 83-112. 352 pp.

# Efecto del agregado de fósforo y nitrógeno en el crecimiento de cultivos de alfalfa en rebrotes de primavera y verano en un suelo vertisol de Entre Ríos

SEVILLA, G.H.<sup>1</sup>; AGNUSDEI, M.G.<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se analizó el efecto de P y N sobre la acumulación de biomasa (AB) primavero-estival (pri06-ver07) de alfalfa (grado de reposo 6) en un suelo vertisol en la provincia de Entre Ríos. En un diseño en bloques completos al azar ( $n = 2$ ) se aplicaron cada otoño 0 o 100 kg P ha<sup>-1</sup> y a principio de pri06 y ver07 0 o 150 kg N ha<sup>-1</sup>, resultando las combinaciones: 0P0N (condición natural), 100P0N (P no limitante) y 100P150N (P-N no limitantes). Se determinó: AB aérea total y de las fracciones hoja y tallo mediante cortes desfasados sobre parcelas independientes y porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%RFAi). Se ajustaron funciones lineales entre AB y RFAi acumulada para estimar la eficiencia de uso de la radiación (EUR), sigmoideas entre AB y tiempo térmico (TT) y polinómicas entre % RFAi-TT, y AB de hojas y AB de tallos. Los datos se procesaron por ANOVA y Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) mediante SAS. El balance hídrico fue generalmente negativo y menor en ver07. La AB máxima se alcanzó ~500 °Cd en 100P0N-100P150N, con tasas de crecimiento (TC) máximas en pri06 de 0,42-0,45 g MS m<sup>-2</sup> °Cd<sup>-1</sup>, respectivamente. Las TC promedio de pri06 casi duplicaron las de ver07. La EUR para 100P0N-100P150N (0,60 g MS MJ<sup>-1</sup>) promedió un tercio del potencial esperable para la especie. El %hoja de 100P0N-100P150N en pri06 se estabilizó en ~50% en yema floral temprana (~500 °Cd, 13-14 nudos o máximo %RFAi), manteniéndose relativamente constante en ~50% en el resto de los tratamientos. La AB de hojas no aumentó por encima de 90 g MS tallo m<sup>-2</sup>. Independientemente del nivel de nutrientes, 500 °Cd sería el intervalo máximo de pastoreo para evitar pérdidas por senescencia y favorecer el estado fisiológico de las pasturas durante primavera-verano. Se aportan parámetros ecofisiológicos localmente inéditos para la toma de decisiones de manejo, la modelación, como para conocer el potencial productivo de alfalfa en la región.

**Palabras clave:** *Medicago sativa*, acumulación de biomasa, EUR, nutrientes.

## ABSTRACT

The effect of soil P and N availability on the spring-summer (spr06 – sum07) biomass accumulation (BA) of alfalfa (dormancy group 6) in a Vertisol soil was evaluated. In a complete randomized block design ( $n = 2$ ) dressings of 0 or 100 kg P ha<sup>-1</sup> each autumn and 0 or 150 kg N ha<sup>-1</sup> were applied at the beginning of spr06 and sum07, resulting in the combinations: 0P0N (natural condition), 100P0N (P non-limiting) and 100P150N (P-N non-limiting). Aerial BA and leaf - stem composition in successive harvests on independent plots, % intercepted photosynthetically active radiation (PARi) were determined. Lineal fits were performed for radiation

<sup>1</sup>INTA - Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concepción del Uruguay. CC 6, CP 3260 Concepción del Uruguay, Argentina. Correo electrónico: sevilla.gabriel@inta.gob.ar

<sup>2</sup>INTA - EEA Balcarce. CC 276, CP 7720 Balcarce, Argentina. agnusdei.monica@inta.gob.ar

use efficiency (RUE) estimation. Curvilinear functions were adjusted to describe the associations between the following variables BA and thermal time (TT), % PARI and TT, leaves and stems BA. Data were processed by ANOVA and Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) using SAS. The water balance was generally negative and lower in sum07. BA ceiling was reached  $\sim 500$  °Cd in 100P0N-100P150N, with maximum growth rates (GR) of 0.42-0.45 g DM m<sup>-2</sup> °Cd<sup>-1</sup> during spr06, respectively. Average spr06 GR almost doubled those of sum07. The RUE for 100P0N-100P150N (0.60 g DM MJ<sup>-1</sup>) averaged one-third of the expected potential for the species. The %leaf of 100P0N-100P150N decreased to a plateau of  $\sim 50\%$  at "early bud stage" ( $\sim 500$  °Cd, 13-14 nodes, or maximum %PARI) during spr06, whereas stayed relatively stable at  $\sim 50\%$  in the rest of the treatments. The BA of leaves did not increase above 90 g stem DM m<sup>-2</sup>. Regardless of the level of nutrients, 500 °Cd would be the maximum grazing interval recommended to prevent senescence losses and favor pasture physiology during spring-summer. Locally original ecophysiological parameters applicable for management decisions and modeling purposes, as well as to better understand the productive potential of alfalfa in the region are provided.

**Keywords:** *Medicago sativa*, biomass accumulation, RUE, nutrients.

## INTRODUCCIÓN

La generación de conocimientos sobre la incidencia del ambiente en la producción de alfalfa es clave para elaborar criterios de manejo que mejoren el desempeño y la persistencia del cultivo. Según Collino (2008), el potencial productivo de alfalfa en suelos de buena aptitud en Argentina se encontraría generalmente limitado por la radiación, la temperatura y el agua en un amplio rango de condiciones climáticas, con niveles de eficiencia de uso de la radiación (EUR) que serían al menos un 30% inferiores al potencial esperable para la especie (Collino *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2007a b c y 2008). Hasta lo que conocemos no se dispone de información local equivalente para suelos con restricciones como los vertisoles, donde se cultiva la especie. Las principales limitantes que presentan los vertisoles se relacionan a una alta proporción de arcillas expansibles que confieren baja capacidad de retención e infiltración del agua y que, además, impiden el normal desarrollo de las raíces en el perfil del suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Para un ambiente determinado, después de la deficiencia hídrica, el fósforo (P) y el nitrógeno (N) son frecuentemente los factores que más condicionan la producción forrajera. Ambos nutrientes se hallan relacionados por el efecto negativo que ejerce la carencia de P sobre la fijación atmosférica de N. La alfalfa es altamente demandante en P, situación que se acentúa en suelos vertisoles por el bajo contenido natural de P que poseen y por la alta fijación a las arcillas (Aydinalp, 2010). Se estima que en Entre Ríos se requeriría fertilizar a la siembra con  $\sim 30$  kg P ha<sup>-1</sup> para maximizar la producción de la leguminosa (Quintero *et al.*, 1997). Por su parte el N, regulado por múltiples factores ambientales y de manejo, guarda una estrecha asociación con el N crítico, índice que permite estimar el grado de nutrición nitrogenada durante el crecimiento de los cultivos (Gastal y Lemaire, 2002). En lo referente a la distribución del N en la planta, es interesante la respuesta plástica verificada bajo competencia por luz (Lemaire *et al.*, 2005). En condiciones de sombreado, la planta disminuye tanto su contenido de N como su relación hoja:tallo, lo

que le permite alcanzar niveles superiores del canopeo más iluminados.

En cuanto al manejo de la defoliación, las experiencias desarrolladas se han basado en la aplicación de frecuencias fijas de cosecha del forraje acumulado. En general, los resultados de este tipo de ensayos muestran una asociación negativa entre defoliaciones más frecuentes y la acumulación de reservas carbonadas y nitrogenadas, hecho que se traduce en una reducción de la producción de biomasa total de los rebrotes (Ventroni *et al.*, 2010). Sin embargo, ensayos donde se despejaron los efectos estacionales sobre la acumulación de reservas y la frecuencia de defoliación revelaron que el fotoperíodo y la temperatura pueden incidir más que el manejo sobre las respuestas de las pasturas en algunos períodos (Teixeira *et al.*, 2007a b y c y 2008). En el otoño, por ejemplo, la caída de las temperaturas y el acortamiento del fotoperíodo reducen el crecimiento y generalmente favorecen la acumulación de reservas carbonadas. En primavera, en cambio, las pasturas pueden alcanzar rápidamente un elevado volumen de forraje aún sin haber iniciado la floración. En este contexto, los criterios modernos de manejo de alfalfa proponen que en los períodos de activo crecimiento los ritmos de defoliación se basen preferentemente en la dinámica de crecimiento de las pasturas, teniendo en cuenta indicadores ecofisiológicos como la acumulación térmica y el nivel de interceptación lumínica, en lugar de criterios de desarrollo como la floración o la aparición de yemas basales (Moot *et al.*, 2003).

El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica de acumulación de biomasa (AB) en secano de pasturas de alfalfa grado de reposo (GR) 6 bajo diferentes condiciones de disponibilidad de P y N en un suelo vertisol durante la primavera del 2006 (pri06) y el verano del 2007 (ver07). El enfoque analítico se basó en la cuantificación de los componentes ecofisiológicos de la producción de biomasa [radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) y EUR], y su asociación con la fenología y el tiempo térmico (TT). Se incluyó un tratamiento en condiciones aproximadamente no limitantes de P y N como punto de referencia. El agregado de N tuvo por finalidad evitar restricciones de

nutrición nitrogenada resultantes de deficiencias no controlables en la fijación simbiótica.

Tanto por el abordaje metodológico como por el ambiente del estudio, los datos obtenidos son inéditos para el área. Estos constituyen el primer paso tendiente a conocer y aprovechar el potencial ecológico de la región para la producción de forraje de alfalfa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en la EEA INTA - Concepción del Uruguay ( $32^{\circ}$  29'S  $58^{\circ}$  20' W y 25 m.s.n.m.) sobre un suelo Pelluderte típico con 4,2% de P extractable, 3,5% de materia orgánica (MO) y 6,5 de pH. Hubo dos períodos experimentales: la primavera del 2006 (pri06, del 16-08-06 al 24-10-06) y el verano del 2007 (ver07, del 22-01-07 al 13-03-07).

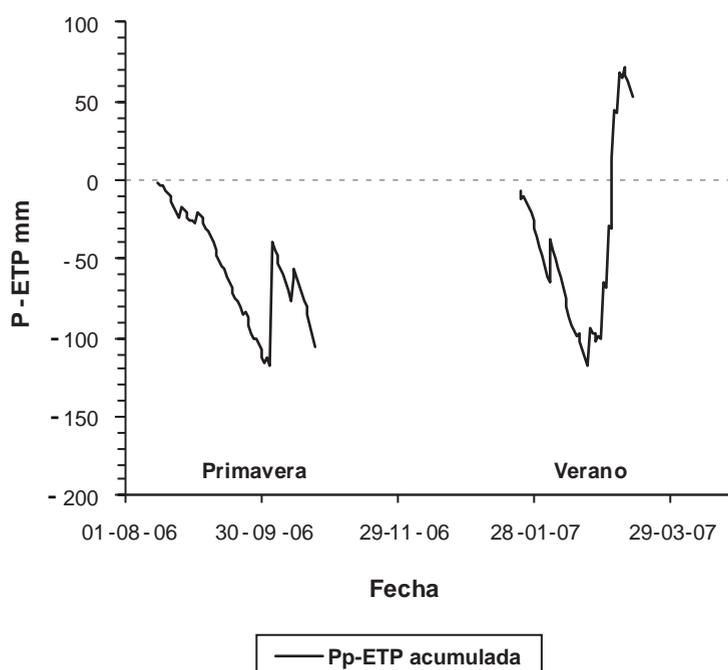
La temperatura media ( $t^{\circ}m$ ), las precipitaciones (Pp) y la evapotranspiración potencial de Penman (ETP) entre abril 2006-marzo 2007 y el promedio histórico 1980-2007 de estas variables se obtuvieron a 5 km del ensayo. La  $t^{\circ}m$  durante el experimento ( $18,1 \pm 1,34$  °C) fue similar al promedio histórico ( $17,8 \pm 0,08$  °C), mientras que las Pp ( $1409 \pm 28,6$  mm frente a  $1152 \pm 48,1$  mm) y la ETP ( $1364 \pm 15,0$  mm frente a  $1209 \pm 20,0$  mm) fueron superiores durante el estudio.

El balance hídrico (diferencia acumulada Pp-ETP) fue negativo por falta de Pp durante más del 80% del tiempo durante la pri06 y ver07 (figura 1). Aunque en la pri06 el déficit hídrico promedio estimado no fue extremo (-56 mm

frente a  $\sim$ -20 mm para el promedio histórico 1980-2007), su severidad queda reflejada por la caída consistente hasta niveles extremos ( $\sim$ -100 mm) propios del verano.

El 26-04-05 (otoño) se sembraron 20 kg  $ha^{-1}$  de semilla viable peleteada de alfalfa "ProINTA Luján" (GR 6), en líneas distanciadas a 0,20 m. En un diseño en bloques al azar ( $n= 2$ ) se impusieron los tratamientos de fertilización 0P0N (condición natural), 100P0N (corrección de la deficiencia de P) y 100P150N (P y N no limitantes), resultantes de la aplicación anual cada otoño de 0 o 100 kg P  $ha^{-1}$  y 0 o 150 kg N  $ha^{-1}$  al inicio de los rebrotes de pri06 y ver07. Conceptualmente, las combinaciones de P y N que se generaron, tuvieron por objetivo evaluar el efecto del P (0P0N frente a 100P0N) y el efecto del N una vez corregida la deficiencia de P (100P0N frente a 100P150N).

La acumulación de biomasa aérea (AB) de materia seca (MS, g MS  $m^{-2}$ ) se determinó sobre los 5,6  $m^2$  centrales de parcelas independientes de 9  $m^2$  mediante cortes desfases entre una y dos semanas a partir de los cortes iniciales de homogeneización el 16-08-06 en pri06 y el 22-01-07 en ver07. Se efectuaron cinco cortes en primavera y cuatro en verano con motosegadora manual, dejando una altura de rastrojo remanente de 2,5 cm. Los tres primeros cortes en primavera y dos primeros en verano se hicieron en estado vegetativo, el cuarto de primavera y tercero de verano en yema floral temprana —"early bud stage"— (Kalu y Fik, 1981) y el quinto de primavera y cuarto de verano en plena floración. Simultáneamente se sacaron dos muestras, una para estimar MS y otra para determinar composición en hoja y tallo.



**Figura 1.** Diferencia acumulada entre las precipitaciones (Pp) y la evapotranspiración potencial de Penman (ETP) en los períodos de primavera (agosto-octubre 2006) y verano (enero-marzo 2007).

Se calculó el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%RFAi) como  $\%RFAi = \{RFA_0 - [(RFA_{n_1} + RFA_{n_2} + RFA_{n_3})/3]\} \times 100 / RFA_0$ , usando la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm) incidente ( $RFA_0$ ) y difusa no interceptada en la base del canopy por encima del material muerto ( $RFA_{ni}$ ), medida mediante un sensor CAVA BAR-RAD (Cavadevices.com) semanalmente a las 12 h. En cada muestreo se realizó una medición de  $RFA_0$  y tres de  $RFA_{ni}$  por parcela. Considerando una relación lineal RFAi-tiempo, la RFAi acumulada en cada rebrote ( $MJ\ m^{-2}$ ) se calculó como:  $\sum (\%RFAi\ diaria \times RFA)$ , donde RFA= Radiación Global  $\times 0,48$  (Gosse *et al.*, 1986).

Se ajustaron curvas sigmoideas de AB-TT (temperatura base 5 °C) según la ecuación  $y = a / \{1 + \exp[-(x-b)/c]\}$ , donde  $a$ = asíntota superior,  $b$ = punto de inflexión y  $c$ = asíntota inferior. A partir de sus derivadas primera y segunda, se determinaron la duración (°Cd) y las tasas de crecimiento (TC,  $g\ MS\ m^{-2}\ ^\circ Cd^{-1}$ ) de las fases retardada o exponencial (*lag*) y lineal o de TC máximas. Se ajustaron funciones polinómicas de segundo grado para la relación %RFAi-TT y de tercer grado para la relación biomasa de hojas-biomasa de tallos. Se estimó la EUR ( $g\ MS\ MJ^{-1}$ ) como la pendiente de regresiones lineales  $y = a + b \times x$  entre la  $\sum RFAi$  ( $x$ ) y la AB ( $y$ ) en cada fecha de muestreo. La pendiente no se forzó por el origen dado que la ordenada al origen ( $a$ ) difirió de cero en tres de las ecuaciones. Las variables TT, TC y %RFAi máxima ( $n = 2$ ) se analizaron con ANOVA y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey

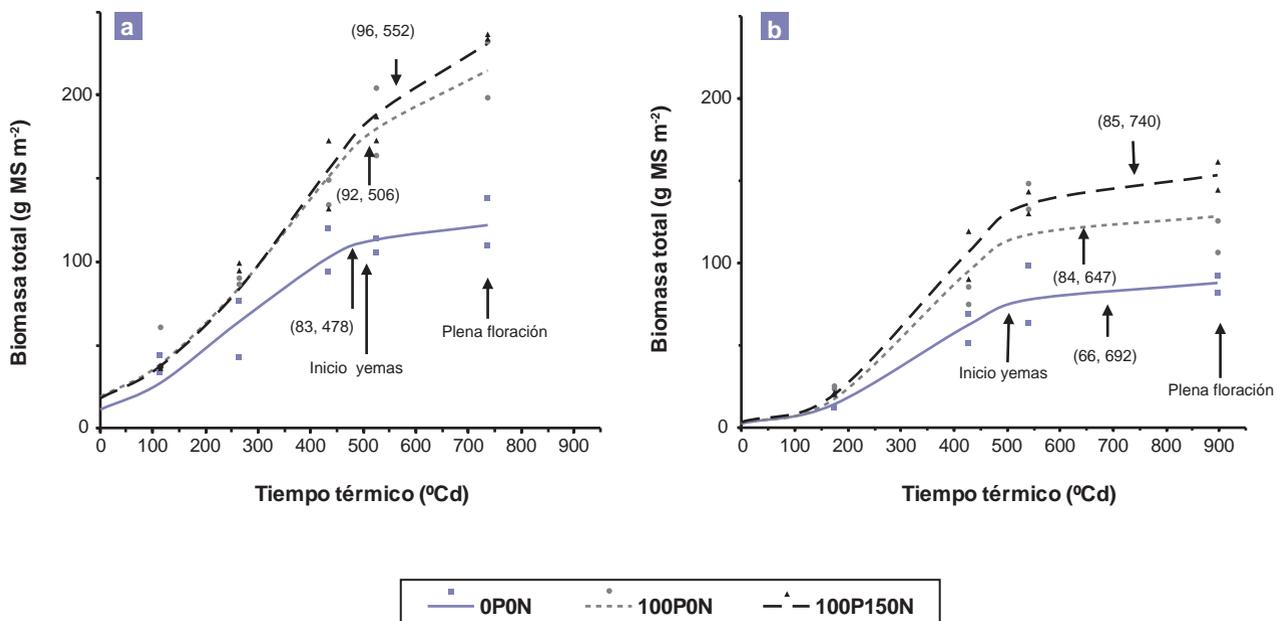
( $\alpha = 0,05$ ). Los modelos y coeficientes de regresión de la AB-TT, el %RFAi-TT ( $n = 10$  en pri06 y  $n = 8$  en ver07), la EUR ( $n = 8$ ) y la biomasa de hojas-biomasa de tallos ( $n = 54$ ) se analizaron con un ANOVA (ajuste de los modelos y significancia de los coeficientes de regresión), covarianza (paralelismo de los  $b$ ) y contrastes ortogonales (tres o más  $b$ ,  $\alpha = 0,05$ ). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Acumulación de biomasa

La AB fue adecuadamente descrita por funciones sigmoideas (figura 2 a y b). El agregado de P (100P0N frente a 0P0N) afectó significativamente la AB final aumentándola en un 74% y 34% para pri06 (figura 2a) y ver07 (figura 2b), respectivamente. La deficiencia de P es característica de los vertisoles de Entre Ríos (Quintero *et al.*, 2000), siendo sus formas inorgánicas uno de los nutrientes edáficos menos disponibles (Vance *et al.*, 2003).

Por su parte, el agregado de N (100P150N) no mejoró la AB final respecto del tratamiento 100P0N. Ello no indica que ambos tratamientos dispusieron de N en cantidades equivalentes, sino que las pasturas no requirieron más N que el disponible en 100P0N para asistir las demandas de crecimiento en ambas estaciones. Se requieren evaluaciones adicionales sobre contenido de N en planta para analizar en qué medida los bajos niveles de crecimiento



**Figura 2.** Acumulación de biomasa aérea total ( $g\ MS\ m^{-2}$ ) para las combinaciones de 0 o  $150\ kg\ ha^{-1}$  de nitrógeno estacionales y 0 o  $100\ kg\ ha^{-1}$  anuales de fósforo (■ 0P0N, ● 100P0N y ▲ 100P150N) durante el rebrote (°Cd) en primavera (a) y verano (b). Las ecuaciones de ajuste para biomasa total en primavera fueron (figura 2a) 0P0N=  $124,1 / \{1 + \exp[-(x-254,6)/112,9]\}$ , 100P0N=  $227,8 / \{1 + \exp[-(x-337,9)/140,2]\}$ , 100P150N=  $247,1 / \{1 + \exp[-(x-358,1)/142,4]\}$ , y en verano (figura 2b) 0P0N=  $88,5 / \{1 + \exp[-(x-338,2)/100,5]\}$ , 100P0N=  $128,8 / \{1 + \exp[-(x-336,9)/87,1]\}$  y 100P150N=  $154,4 / \{1 + \exp[-(x-351,3)/93,2]\}$ . El tiempo térmico (°Cd) donde se produce la máxima interceptación de radiación (%RFAi) se indica entre paréntesis (%RFAi, °Cd).

estuvieron asociados a subnutrición nitrogenada y, eventualmente, a limitaciones en la fijación simbiótica.

Las pasturas templadas como la alfalfa requieren entre 100-150 kg de N ha<sup>-1</sup> para cubrir sus demandas potenciales para alcanzar la producción techo en un ciclo de rebrote (Lemaire *et al.*, 1992; Agnusdei *et al.*, 2010). De acuerdo con el modelo de dilución de N en planta (Lemaire y Sallette, 1984; Lemaire *et al.*, 1985; Greenwood *et al.*, 1990), la AB esperable si las pasturas hubieran usado alrededor de 150 kg N ha<sup>-1</sup>, rondaría los 5500 kg MS ha<sup>-1</sup>. Tomando este nivel de referencia, los valores de AB observados en el experimento (figura 2 a y b) sugieren que el crecimiento de las pasturas durante los rebrotes de pri06 y ver07 estuvo restringido entre dos y cuatro veces, dependiendo del tratamiento y la estación, respecto del potencial alcanzable por la especie bajo óptimas condiciones ambientales.

Estacionalmente, la AB final fue menor en ver07 que en pri06 (figura 2 a y b). En ambas estaciones el balance entre Pp y ETP fue mayormente negativo (figura 1), aunque las menores temperaturas primaverales habrían disminuido la demanda atmosférica en esta estación, provocando una mayor disponibilidad de agua del perfil.

Las restricciones ambientales no solo pueden afectar la producción final de forraje, sino también la dinámica de crecimiento (figura 2). La tabla 1 presenta el tiempo térmico (TT) estimado del arranque del rebrote (fase de crecimiento exponencial) y del período de TC máximas (fase lineal), con sus correspondientes valores de TC. Los tratamientos 100P0N y 100P150N durante pri06 presentaron similar dinámica de crecimiento y un nivel máximo de %RFAi de 94 ± 1,2%. El resto de los casos no alcanzó este nivel de captura de radiación, con valores de 83 ± 3,5, 66 ± 2,8, 84 ± 1,4 y 85 ± 1,4 %RFAi para 0P0N en pri06 y 0P0N, 100P0N y 100P150N en ver07, respectivamente.

Las TC promedio de pri06 fueron 1,7 veces mayores que las de ver07 (0,35 ± 0,002 vs 0,21 ± 0,008, tabla 1). Por su parte, el TT hasta alcanzar 80% de la RFAi en los

tratamientos que luego llegaron a 90-95% de la RFAi fue en promedio ~2,6 veces menor que el resto. Esto muestra que la caída en las TC, tanto por deficiencia de P como hídrica, prolongó más que proporcionalmente el arranque del crecimiento de las pasturas e impidió que estos últimos tratamientos alcanzaran TC máximas. El TT promedio estimado para la fase de las TC máximas de los tratamientos fertilizados en pri06 fue de 383 °Cd. Los restantes tratamientos no alcanzaron a expresar TC máximas, con un TT de 449 °Cd.

### Análisis del crecimiento

El análisis del crecimiento permite evaluar la forma en que los tratamientos afectaron la captura de radiación y su conversión en biomasa. Ambos componentes ecofisiológicos son estimados a partir de dos parámetros: la  $\Sigma$  RFAi durante el rebrote y la EUR.

Los valores de EUR (figura 3) fueron menores en 0P0N (0,37 ± 0,074 b) respecto a 100P0N (0,57 ± 0,062 a) y 100P150N (0,59 ± 0,041 a) para los rebrotes de pri06, pero no difirieron en ver07 (0P0N= 0,50 ± 0,086 a; 100P0N= 0,48 ± 0,135 a y 100P150N= 0,63 ± 0,103 a). Independiente de las diferencias observadas entre tratamientos, se destacan los bajos valores alcanzados, que para los tratamientos fertilizados en primavera (~0,60 g MS MJ<sup>-1</sup>) equivale a un tercio del potencial de alfalfa (Gosse *et al.*, 1986; Teixeira *et al.*, 2008 y 2011). Estos valores dimensionan el grado de limitación para el crecimiento de la alfalfa en el ambiente estudiado.

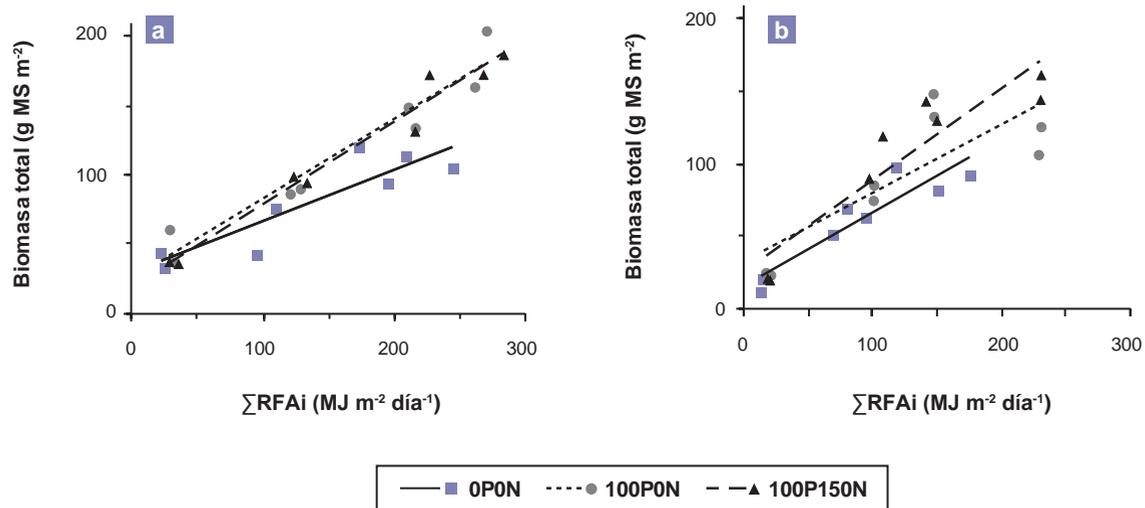
Por un lado, la severa sequía experimentada durante la mayor parte del período experimental (figura 1) hace que el cultivo deba explorar el suelo buscando agua (Collino *et al.*, 2005), hecho que puede estar severamente comprometido en los vertisoles.

También la temperatura pudo estar lejos de la temperatura óptima. Mientras Collino *et al.* (2005) encontraron que la EUR en alfalfa aumenta 0,086 g MS MJ<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> hasta una

		Fase lag		Fase lineal	
		Tiempo térmico	TC	Tiempo térmico	TC
Tratamientos que alcanzaron 90-95%RFAi	100P0N Pri	162 ± 2,5b	0,31 ± 0,030a	386 ± 83,5a	0,42 ± 0,045a
	100P150N Pri	178 ± 14,0b	0,30 ± 0,000a	379 ± 68,0a	0,45 ± 0,050a
Tratamientos que no alcanzaron 90-95%RFAi	0P0N Pri	431 ± 44,0a	0,24 ± 0,010ab	-	-
	0P0N Ver	481 ± 48,0a	0,15 ± 0,030b	-	-
	100P0N Ver	421 ± 0,5a	0,23 ± 0,050ab	-	-
	100P150N Ver	461 ± 57,0a	0,27 ± 0,015a	-	-

**Tabla 1.** Valores del tiempo térmico (°Cd) y sus correspondientes tasas de crecimiento (TC, g MS m<sup>-2</sup> °Cd<sup>-1</sup>) en la fase retardada o exponencial (lag) para las combinaciones de 0 o 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno estacionales y 0 o 100 kg ha<sup>-1</sup> anuales de fósforo (0P0N, 100P0N y 100P150N) en primavera (Pri) y verano (Ver) y en la fase lineal o de tasas máximas para 100P0N y 100P150N en primavera (Pri).

Letra distinta dentro de columna indica diferencia significativa (a= 0,05).



**Figura 3.** Biomasa acumulada en relación con la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $\text{g MS MJ}^{-1}$ ) en primavera (a) y verano (b) para las combinaciones de 0 o  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno estacionales y 0 o  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  anuales de fósforo (■ 0P0N, ● 100P0N ▲ 100P150N). Las pendientes de regresión representan la EUR (eficiencia de uso de la radiación). En primavera los valores fueron: 0P0N=  $29,4 + 0,37 \times R^2 = 0,81$ , 100P0N=  $26,3 + 0,57 \times R^2 = 0,93$  y 100P150N=  $20,1 + 0,59 \times R^2 = 0,97$  y en verano: 0P0N=  $17,2 + 0,50 \times R^2 = 0,85$ , 100P0N=  $32,2 + 0,48 \times R^2 = 0,67$  y 100P150N=  $26,4 + 0,63 \times R^2 = 0,87$ .

t<sup>m</sup> de  $21,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , en el presente ensayo el 70% del tiempo en pri06 y el 50% en ver07 la temperatura estuvo fuera de ese punto óptimo. Por su parte, temperaturas supra óptimas durante el 39% de las horas de sol ( $29,1 \pm 0,13 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y durante el 90% de la noche ( $21,0 \pm 0,12 \text{ }^\circ\text{C}$ ) el ver07, pudieron afectar la fotosíntesis neta por mayores pérdidas de carbono respirado.

En pri06, más allá de los bajos valores de EUR, la AB final de 0P0N fue alrededor de un 33% menor que cuando se aplicó P (100P0N). El resultado indica que la deficiencia de P afectó en menor medida la RFAi y, por ende el desarrollo del área foliar (23%), que su conversión en biomasa de forraje (77%). En ver07, 0P0N sufrió una reducción total del orden del 27% respecto a 100P0N. La disminución en la RFAi fue del 71%, mientras que el efecto sobre la EUR fue 29%. Contrariamente, el N no afectó a los componentes del crecimiento en ninguno de los dos rebotes (100P0N frente a 100P150N).

### Efectos sobre la estructura de la pastura

En los tratamientos con fósforo (100P0N y 100P150N) de pri06, el %hoja disminuyó  $0,03\%$  por  $^\circ\text{Cd}$  hasta  $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$  (figura 4 b y c), correspondiente al estadio de yema floral temprana (“early bud stage”, Kalu y Fik, 1981). Esta drástica caída a valores de  $\sim 50\%$  coincide con lo observado por Romero *et al.* (1987) entre los estadios de yema temprana e inicio de floración (56 a 47%).

El aumento de tallos en la alfalfa responde al alargamiento del fotoperíodo (Lemaire *et al.*, 1985), como también al incremento de la competencia lumínica dentro del canopeo (Lemaire *et al.*, 2005). En los tratamientos con fósforo (100P0N-100P150N) de pri06, el cambio en la partición de

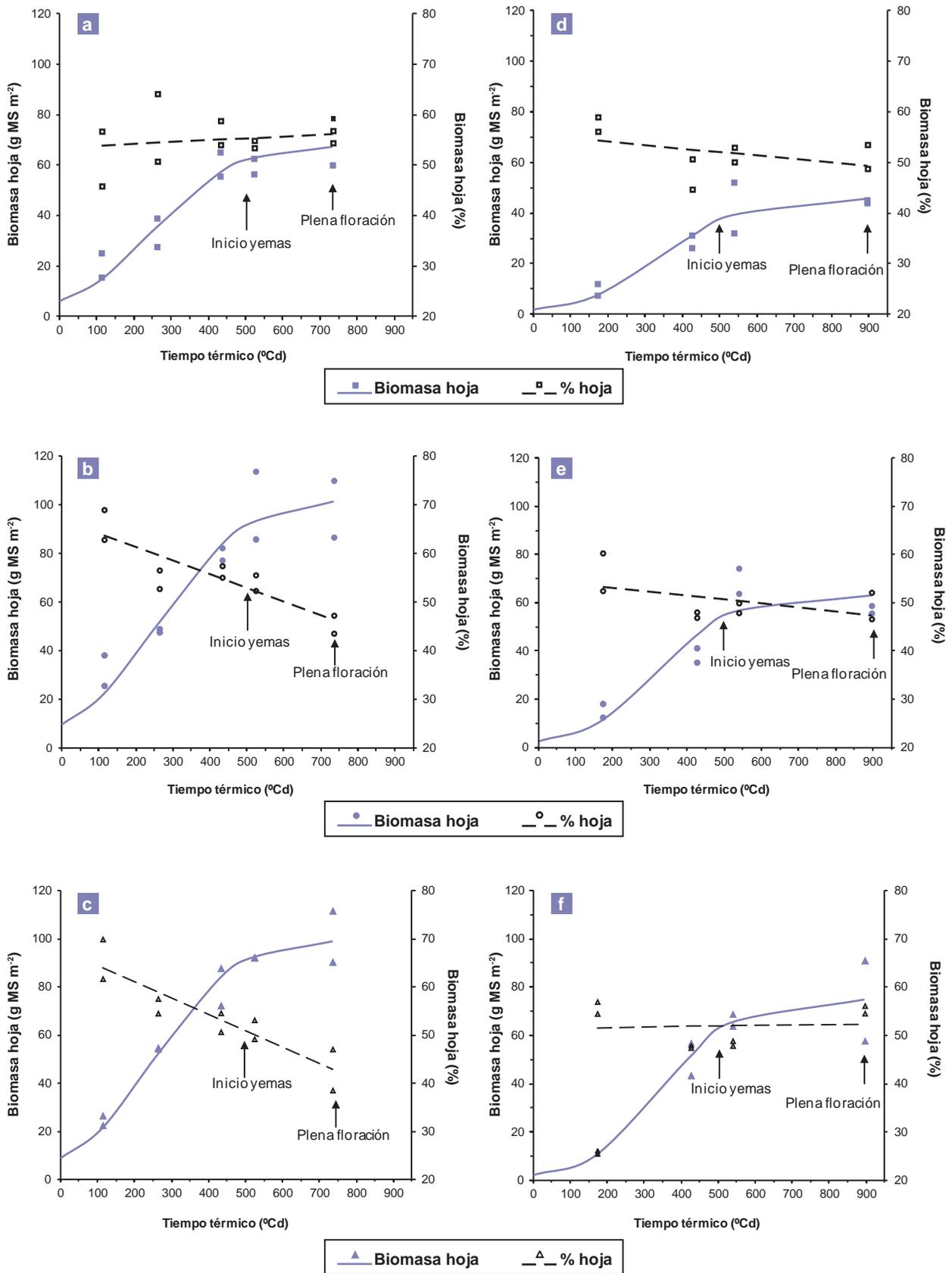
biomasa entre hojas y tallos observado al alcanzar  $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$  coincidió con el máximo %RFAi (90-95%), sugiriendo una respuesta plástica frente al sombreado del canopeo. La pérdida de hojas basales también pudo influir en el aumento en la proporción de tallos. Así, Brown *et al.* (2005) encontraron que la tasa de senescencia del tallo primario pasó de  $\sim 0,3$  a  $1,08 \text{ hojas nudo}^{-1}$  luego que la pastura alcanzó el 95% RFAi.

Por el contrario, 0P0N en pri06 y los tres tratamientos de ver07 mantuvieron alta estabilidad del %hoja (figura 4 a, d, e y f), lo cual se explicaría en el bajo nivel de sombreado experimentalado ( $\sim 80\%$  RFAi).

La biomasa de hojas (y) aumentó marcadamente hasta  $\sim 90 \text{ g MS m}^{-2}$  de tallos (x) para el conjunto de los datos ( $y = 1,1617x + 0,0013x^2 - 0,00003x^3$ ,  $R^2 = 0,90$ ), valor por encima del cual toda acumulación adicional de tallos no fue compensada por un incremento equivalente en hojas. Desde un punto de vista aplicado, identificar estos niveles críticos permitiría definir manejos de alfalfa que optimicen la producción y la calidad nutritiva del forraje.

### Consideraciones de manejo

El presente trabajo buscó generar conocimiento local falante que ayude a flexibilizar y complementar las pautas de manejo de aplicación corriente en cultivos de alfalfa. Entre los resultados más destacados se puede mencionar la gran consistencia que mostró el patrón de crecimiento y desarrollo, llegándose a inicio de yemas florales (“early bud stage”) y al techo de acumulación de biomasa foliar en  $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$  (figuras 2 y 4), independientemente de la dispo-



**Figura 4.** Evolución de la acumulación de biomasa de hojas (g MS m<sup>-2</sup>) y del porcentaje de hojas (%) en relación con el tiempo térmico (°Cd) en primavera (a, b y c) y verano (d, e y f) para las combinaciones de 0 o 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno estacionales y 0 o 100 kg ha<sup>-1</sup> anuales de fósforo (para biomasa de hojas ■0P0N, ●100P0N y ▲100P150N y para % de hoja □0P0N, ○100P0N y △100P150N). Las ecuaciones de ajuste no se presentan por razones de simplicidad.

nibilidad de nutrientes, la estación o el nivel de sombreado. Desde un punto de vista práctico, si la temperatura media prevista para un mes dado es por ejemplo 20 °C (temperatura base 5 °C), la suma térmica de dicho mes será 450 °Cd. Por lo tanto, alrededor de ese momento la pastura debería consumirse, evitando exceder el tiempo máximo recomendado (~500 °Cd) entre dos utilizaciones sucesivas.

Si bien el intervalo señalado no tiene en cuenta de manera explícita la dinámica de reposición de reservas en las raíces como elemento para definir el intervalo óptimo de defoliación, estudios relativamente recientes (Moot *et al.*, 2003) demostraron que aun en rotaciones largas (42 días), los cambios en el nivel de reservas carbonadas subterráneas son mínimos cuando el fotoperíodo es mayor al umbral requerido para la floración de la alfalfa, tal como sucede durante la primavera y el verano en la región pampeana, principal región alifera del país. De acuerdo con lo expuesto, y tal como lo plantean Moot *et al.* (2003), el intervalo entre defoliaciones previo al otoño no debería guiarse por el estado de desarrollo de las plantas (como porcentaje de floración o yemas basales), sino básicamente por parámetros asociados a la dinámica de crecimiento de las pasturas.

Nuestros resultados indican que 500°Cd puede considerarse como un parámetro orientativo del intervalo máximo de rebrote requerido para que la alfalfa sea nuevamente pastoreada durante primavera-verano de modo de compatibilizar objetivos de producción, eficiencia de utilización y calidad nutritiva del forraje bajo las condiciones de la presente experiencia.

## CONCLUSIONES

Los resultados corroboran el efecto negativo de la deficiencia de P para los cultivos de alfalfa.

Los niveles de EUR alcanzados en los tratamientos fertilizados fueron aproximadamente un tercio del valor potencial esperado para esta especie, indicando que el ambiente edafo-climático resultó fuertemente limitante para el crecimiento primavero-estival de las pasturas.

El techo de acumulación de biomasa de hojas requirió una suma térmica desde el inicio del rebrote de ~500 °Cd, coincidente con el inicio de yemas florales ("early bud stage"), lapso que fue relativamente estable entre tratamientos y condiciones climáticas. El parámetro es sugerido como indicador del tiempo óptimo de rebrote de alfalfa durante primavera y verano.

Los resultados presentados aportan parámetros ecofisiológicos sobre la dinámica de crecimiento de la alfalfa, los cuales constituyen información básica para la toma de decisiones de manejo, como también para su uso en modelación.

## BIBLIOGRAFÍA

AGNUSDEI, M.; ASSUERO, A.; LATTANZI, F.; MARINO, M. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in

forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 88, 215-230.

AYDINALP, C. 2010. Some important properties and classification of vertisols under Mediterranean climate. *Afr. J. Agric. Res.* 5, 449-452.

BROWN, H.; MOOT, D.; TEIXEIRA, E. 2005. The components of lucerne (*Medicago sativa*) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. *Eur. J. of Agron.* 23, 348-358.

COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; DE LUCA, M.; RACCA, R. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 45, 383-390.

COLLINO, D. 2008. El ambiente y el rendimiento potencial de la alfalfa. En Reunión Anual de Forrajeras "Oportunidades y desafíos en un escenario que cambia". INTA EEA Pergamino. [http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2008/forrajeras/Forrajeras08\\_comillo.pdf](http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2008/forrajeras/Forrajeras08_comillo.pdf) [Verificación: junio 2009]

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53, 789-799.

GOSSE, G.; VALET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J.; LEMAIRE, G. 1986. Production maximale de matière sèche en rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* 6, 47-56.

GREENWOOD, D.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETSON, J. 1990. Decline % N in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425-436.

IUSS GRUPO DE TRABAJO WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N.º 103. FAO, Roma. 117 p.

KALU, B.; FICK, G. 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for herbage quality. *Crop Sci.* 21, 267-271.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4, 423-430.

LEMAIRE, G.; CRUZ, P.; GOSSE, C.; CHARTIER, M. 1985. Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie* 5, 685-692.

LEMAIRE, G.; KHAITY, M.; ONILLON, B.; ALLIRAND, J.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. 1992. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of lucerne in a dense canopy. *Ann. Bot.* 70, 429-435.

LEMAIRE, G.; AVICE, J.; KIM, T-H.; OURRY, A. 2005. Developmental changes in shoot N dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. *J. Exp. Bot.* 56, 935-943.

MOOT, D.; BROWN, H.; POLLOCK, K.; TEIXEIRA, E. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. En: Moot, D.J. (Ed.) *Legumes for dryland pastures*. Proceedings of a New Zealand Grassland Association symposium, Lincoln University, 18-19 Noviembre 2003. *Grassland Research and Practice Series*. Grassland Research and Practice Series N.º 11, 201-208.

QUINTERO, C.; BOSCHETTI, N.; BENAVIDEZ, R. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Ci. Suelo (Argentina)*. 15, 1-5.

QUINTERO, C.; RISO, L.; GONZALEZ, A.; IZAGUIRRE, M. 2000. Estado de fertilidad de los suelos de Entre Ríos. Principales limitaciones. *Rev. Fac. Agron. (Buenos Aires)*. 20, 15-19.

ROMERO, F.; VAN HORN, H.; PRINE, G.; FRENCH, E. 1987. Digestibility of Florida 77 Alfalfa and Florigrade Rhizoma Peanut. *J. Anim. Sci.* 65, 786-796.

SAS INSTITUTE INC. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; FLETCHER, L. 2007a. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *Eur. J. of Agron.* 26, 394-400.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; MICKELBART, M. 2007b. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *Eur. J. of Agron.* 26, 10-20.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; POLLOCK, K. 2007c. How does defoliation management impact on yield, canopy forming processes and light interception of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops? *Eur. J. of Agron.* 27, 154-164.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *Eur. J. of Agron.* 28, 103-111.

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

VANCE, C.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.* 157, 423-447.

VENTRONI, L.; VOLENEC, J.; CANGIANO, C. 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. *Field Crop. Res.* 19, 252-259.

# Estructura genética de poblaciones de *Phytophthora capsici* en el noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

IRIBARREN, M.J.<sup>1\*</sup>; BORASSI, C.<sup>1</sup>; FERRI, A.<sup>2</sup>; GONZÁLEZ, B.<sup>1</sup>; STECIOW, M.<sup>3</sup>; GUILLÍN, E.<sup>2</sup>

## RESUMEN

*Phytophthora capsici* causa enfermedades destructivas en todo el mundo. El patógeno es heterotálico y los dos tipos de apareamiento (TAs) son requeridos para la reproducción sexual. La razón de TAs varía entre regiones geográficas y por lo tanto también la chance para reproducirse sexualmente. Si se toma en cuenta que la durabilidad de las medidas de control depende de la variación genética, es aconsejable considerar la cantidad y la distribución de variación genética dentro y entre poblaciones de especies, es decir, la estructura genética. Esta está determinada por factores que influyen la evolución poblacional como la mutación, la deriva genética, el flujo genético, el sistema de reproducción y de selección. En este sentido, poco se conoce sobre las poblaciones de *P. capsici* en Argentina. El objetivo fue evaluar la variabilidad genética de aislamientos de *P. capsici* de tres sitios de producción hortícola del NE de Buenos Aires. Sesenta y un aislamientos de *P. capsici* colectados de cultivos de *Capsicum annuum*, *Solanum melongena*, *Solanum lycopersicum* y *Cucurbita* spp. fueron identificados morfológicamente y analizados por tipo de reproducción. Los aislamientos fueron identificados por técnicas moleculares basadas en las secuencias de las regiones ITS1-5.8S e ITS2 del ADNr. Se definieron los haplotipos para cada aislamiento y los parámetros poblacionales fueron estimados por zona geográfica y por especie hospedante junto con el número mínimo de eventos de recombinación. Las desviaciones de la coalescencia básica fueron estimadas a través de Tajima's D.; la estructura genética fue evaluada subsecuentemente a través de pruebas de AMOVA y de estimadores de Fst. La reconstrucción de redes filogenéticas fue analizada con la intención de evaluar las relaciones genealógicas entre haplotipos. Todos los aislamientos mostraron características morfológicas y genéticas típicas de *P. capsici* y pertenecieron al TA A1. No se evidenció una estructura genética cuando fueron incluidas como criterio de partición las especies hospedantes. Sin embargo, la partición geográfica permitió evidenciar alguna estructuración entre poblaciones, con la excepción de Exaltación de La Cruz que resultó el sitio más contrastante con respecto a ambos estimadores de índices de fijación. Al mismo tiempo, esta ubicación redujo los estimadores más bajos de diversidad, lo que probablemente refleja su origen reciente como zona hortícola. Dos a tres eventos de recombinación fueron detectados, lo que sugiere que la reproducción sexual podría haber influido sobre el proceso de diversificación en esta área. La estructura genética y los niveles de variación en esta región son opuestos a los resultados obtenidos por otros investigadores en la región centro oeste de Argentina y podría significar una amenaza para esta área de cultivo, al presente.

**Palabras clave:** *P. capsici*, *Cucurbita* spp., tipo de apareamiento, haplotipo.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Luján (UNLu). Luján (6700). Bs. As., Argentina.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Hurlingham (1686). Bs. As., Argentina.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de La Plata. La Plata (1900). Bs. As. Argentina.

\*Correo electrónico: maria.josefina.iribarren@gmail.com

## ABSTRACT

*Phytophthora capsici* causes destructive diseases worldwide. The pathogen is heterothallic and the two mating types (MTs) are required for sexual reproduction. MTs rates vary amongst geographical regions and so does the chance for sexual reproduction. Taking into account that the durability of control measures depends upon genetic variation, it is advisable to consider its structure within and between populations. The objective of the present paper was to evaluate the genetic variability of *P. capsici* isolates from three horticultural production areas of the Northeast of Buenos Aires. Sixty one isolates of *P. capsici* collected from *Capsicum annuum*, *Solanum melongena*, *Solanum lycopersicum* and *Cucurbita* spp. crops were morphologically identified and analyzed for MTs. The isolates were further identified via molecular techniques based on the sequences of the ITS1 - 5.8S - ITS2 region of the ADNr. Haplotypes were defined for every isolate, and population parameters were estimated both for geographic and host-species partitions, along with the minimum number of recombination events. Departures from the basic coalescent were estimated through Tajima's *D*; the genetic structure was subsequently evaluated through AMOVA tests and *Fst* estimations. Phylogenetic network reconstruction was analysed in an attempt to assess genealogical relationships amongst haplotypes. All isolates showed morphological and genetic characteristics of *P. capsici* and belonged to the A1 MT. No genetic structure was detected when host-species was taken as a criterion for partition; on the other hand, geographic partition detected some structure among populations, with Exaltación de La Cruz resulting in the most contrasting site with regards to both fixation index estimates. At the same time, this location yielded the lowest estimates of diversity, probably reflecting its recent horticultural origin. Two to three recombination events were detected, suggesting that sexual reproduction could have been part of the diversification process in this area. The genetic structure and levels of variation in the region is opposite to what other researchers have found in Northwestern Argentina and could mean a threat to that breeding area now.

**Keywords:** *P. capsici*, *Cucurbita* spp., mating type, haplotype.

## INTRODUCCIÓN

*Phytophthora capsici* Leonian fue descrita por primera vez como patógeno del pimiento en Nuevo México (Leonian, 1922), y pronto se reportó su presencia en muchas otras especies de cultivos hortícolas, en *Solanaceae*, *Cucurbitaceae* y *Fabaceae* (Kreutzer, 1937; Kreutzer *et al.*, 1940; Kreutzer y Bryant, 1946; Davidson *et al.*, 2002; Gevens y Hausbeck, 2004; Gevens *et al.*, 2008). El patógeno puede infectar todas las partes de la planta hospedadora (Gevens *et al.*, 2007) y se ha informado su presencia en diferentes lugares del mundo, incluyendo América del Norte y del Sur, Asia, África y Europa (Hwang y Kim, 1995; Erwin y Ribeiro, 1996; Sun *et al.*, 2008).

Es una especie heterotálica y sus aislamientos tienen uno de los dos tipos de apareamiento (TAs), denominados A1 y A2, que producen oosporas en estrecha proximidad (Lamour y Hausbeck, 2001). Su historia de vida implica habitualmente tanto la fecundación sexual como la reproducción asexual, que ocurre de forma rápida para su propagación y supervivencia (Lamour y Kamoun, 2009). Las oosporas presentes en el suelo y en los restos de plantas se consideran la principal fuente de inóculo (Hausbeck y Lamour, 2004) y pueden sobrevivir durante varios años en condiciones de campo (Erwin y Ribeiro, 1996; French-Monar *et al.*, 2007). La mayoría de las estrategias de control se focalizan en la reducción de las pérdidas mediante el la minimización del agua libre, pero una vez que *P. capsici* se ha establecido en un lugar (en condiciones de ambiente húmedo y cálido) no existe una estrategia de manejo disponible para limitar la enfermedad (Lamour *et al.*, 2012).

El desarrollo de cultivares resistentes para los hospedantes de importancia económica ha sido difícil debido a la diversidad global de las poblaciones del patógeno y a la existencia de cepas fisiológicas dentro de *P. capsici* (Walker y Bosland, 1999; Oelke y Bosland, 2003). Los mejoradores que trabajan en zonas con menor diversidad genética del patógeno pueden tener una mayor probabilidad de identificar cultivares resistentes a escala local (Hurtado-González *et al.*, 2008).

Las poblaciones de *P. capsici* con menor nivel de variación genética son susceptibles a adaptarse menos rápido a los hospedantes resistentes que las poblaciones con alta variabilidad genética (Lamour, 2009), con la condición de que se eviten posibles vías de diseminación desde otras áreas. Si tenemos en cuenta la ausencia de cultivares resistentes para todos los sistemas de cultivos afectados, el alto nivel de diversidad genotípica y la recombinación sexual en muchas situaciones de campo, *P. capsici* presenta el peor escenario, dentro de los oomycetes, para la producción agrícola (Lamour *et al.*, 2012). Por lo tanto se necesita tener un conocimiento detallado de la estructura poblacional de *P. capsici* para entender la composición genética de los aislamientos que se desarrollan en hospedantes y regiones en particular.

Esto ayudará a optimizar el desarrollo y el despliegue de nuevos cultivares resistentes. Se estudiaron previamente poblaciones de *P. capsici* en países en los que este patógeno provoca pérdidas significativas (Lamour y Hausbeck, 2001; Luz *et al.*, 2003; Tian y Babadoost, 2003; French-Monar *et al.*, 2006; Silvar *et al.*, 2006 y Wang *et al.*, 2009).

Los estudios que incluyeron muestras de todo el mundo (Quesada-Ocampo *et al.*, 2011) han demostrado que este patógeno presenta una estructura de población moderada, pero significativa sobre el hospedador, el origen geográfico y la sensibilidad al mefenoxam.

Los datos de estudios anteriores apoyan la hipótesis de que la reproducción clonal domina en las poblaciones de *P. capsici* que fueron obtenidos a partir de cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) de Perú y de las regiones noroeste y oeste de la Argentina (provincias de Tucumán, San Juan y Mendoza) y que la recombinación sexual juega un rol limitado (o ninguno) en la aparición de nuevos genotipos en esas áreas (Hurtado-González *et al.*, 2008, Gobena *et al.*, 2012).

Estos resultados contrastan con las observaciones llevadas a cabo en otras zonas de producción hortícola, donde ambos tipos de apareamiento están presentes y las poblaciones tienen un alto nivel de diversidad genotípica y génica, probablemente como resultado de la reproducción sexual (Meitz *et al.*, 2010, Lamour *et al.*, 2012). Nuestro objetivo en el presente estudio es caracterizar la estructura genética de las poblaciones de *P. capsici* en el cinturón verde de Buenos Aires para evaluar el potencial evolutivo de este patógeno en diferentes especies de cultivo y obtener así una determinación del riesgo que supone para la producción de hortalizas en la región. MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo

Los aislamientos fueron sistemáticamente colectados de 17 campos de producción comercial de vegetales del noreste (NE) de la provincia de Buenos Aires durante 2011 y 2012. Los lugares de muestreo se encuentran en las ciudades de Luján (N= 7), Rodríguez (N= 34) y Exaltación de la Cruz (N= 20) (entre las coordenadas: 34° 19' 14.05" S; 59° 11' 58.87" O y 34° 41' 33.75" S; 58° 54' 4.25" O). Los aislamientos fueron recuperados de las siguientes especies: zapallito, N=37 (*Cucurbita maxima* Duchesne ssp. *Maxima*



**Figura 1.** Mapa de la región noreste de la provincia de Buenos Aires donde se colectaron las muestras.

var Zapallitina Grebensc; forma adulta de la calabaza de verano, popular en Argentina); zucchini, N=3 (*Cucurbita pepo*); berenjena, N=13 (*Solanum melongena*), tomate, N=6 (*Solanum lycopersicum*) y pimiento o Morrón, N=2 (*Capsicum annuum*). Las muestras fueron tomadas ya sea de los tallos, frutos o brotes. Se descartaron otras especies de *Phytophthora* recuperadas de las plantas muestreadas y fueron mantenidas en agua destilada estéril por largos períodos de tiempo.

### Aislamiento del patógeno

Las plantas infectadas se lavaron con agua corriente y con agua destilada estéril. Se tomaron pequeñas secciones de tejido del borde de la lesión en expansión en todos los órganos y se transfirieron a placas agar y jugo V8 (AV8). Las placas fueron incubadas 2 días a 24 °C. Las puntas de las hifas se subcultivaron a partir del micelio en expansión activa y transferidas a V8A. Para el almacenamiento a largo plazo, se guardaron porciones de agar con crecimiento de micelio en tubos Eppendorf de 2 ml con 1 ml de agua destilada estéril y tres semillas estériles pregerminadas de alpiste. Todos los aislamientos de *P. capsici* se identificaron morfológicamente de acuerdo con las características de sus zoosporangios y oogonios y al crecimiento a temperaturas específicas (Erwin y Ribeiro, 1996). Los esporangios usados para identificación fueron producidos a partir de cultivos en V8A a 24 °C bajo condiciones de luz natural durante 2 días.

### Análisis del tipo de apareamiento

El tipo de reproducción se determinó mediante el apareamiento de forma simultánea de cada aislamiento con dos aislamientos testigo: A1 (CBS 11.334) y A2 (CBS 370.72), proporcionados por el *Fungal Biodiversity Centre*, Países Bajos, en placas por separado. Los aislamientos se colocaron a 2 cm de distancia en una placa de Petri con V8A fresco. Un aislamiento de prueba no apareada se utilizó como control negativo. Se usó como control positivo el apareamiento entre los tipos de reproducción opuestos de los aislamientos testigo. Las placas se envolvieron con Parafilm y se incubaron en la oscuridad a 21 °C durante al menos 1 semana. Se examinó al microscopio la formación de oosporas en la interface. Se registraron los aislamientos que produjeron oosporas con el tipo de apareamiento conocido.

### Sensibilidad a fungicidas

Se testeó la sensibilidad al metalaxil en placas V8A modificadas con 100 ppm del fungicida. Se colocó una porción de micelio en activo crecimiento en el centro de la placa y se incubó en la oscuridad a 21 °C durante 7 días. Los aislamientos sensibles, intermedios y resistentes se definieron según el porcentaje de crecimiento (<10%, 10-60% y >60%; Sensible: S; Tolerante: T y Resistente: R, respectivamente). Los controles para cada aislamiento consistieron solo en placas V8A cultivadas en las condiciones mencionadas anteriormente.

### Extracción de ADN

Los cultivos almacenados fueron transferidos a placas con AV8 fresco y se cultivaron en oscuridad a 24 °C durante 7 días. Se recogió el micelio de cada aislamiento y se congeló a seco. Se extrajo ADN de alto peso molecular con el protocolo de Ristaino *et al.* (1998), basado en el método CTAB. El ADN se solubilizó en 25  $\mu$ L de TE y fue almacenado a -20 °C para su uso posterior.

### Amplificación por PCR y edición de la secuencia

La amplificación de la región del gen blanco se realizó en un Eppendorf Master cyclerep gradient S. Universal primers ITS4 y se usó ITS5 de White *et al.* (1990). Los productos de PCR se sometieron a electroforesis en gels de agarosa al 1% para verificar la amplificación de un solo fragmento del tamaño adecuado. Los amplificados se purificaron usando un kit comercial (Wizard SV Clean-Up System Promega) siguiendo las instrucciones del fabricante. Los productos de PCR purificados se resuspendieron en 10  $\mu$ L de agua y se secuenciaron bidireccionalmente usando primers ITS4 y ITS5 en la Unidad de Genómica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. Las secuencias obtenidas se compararon con la secuencia de datos disponibles públicamente en el Genbank usando BLAST-n (Altschul *et al.*, 1990) para determinar si correspondían al locus ITS de *P. capsici* y para comparar los haplotipos ITS locales y extranjeros. Se realizó una alineación de secuencias múltiples con ClustalW (parámetros por defecto) como se implementó en Mega 5.0 (Tamura *et al.*, 2011). Se requirieron solo ligeras correcciones manuales y ajustes debidos a la presencia ocasional de inserciones/deleciones (indeles).

### Variabilidad de la secuencia de ADN, parámetros de poblacionales y análisis de recombinación

La asignación de haplotipos se realizó mediante el programa DnaSP v5.10.01 (Rozas y Librado, 2009). Se consideraron los indels en este análisis para dar cuenta de cada tipo de variación de una manera visual. Los indeles no se tuvieron en cuenta para el análisis posterior ya que algunas brechas o lagunas en la alineación se debían a variaciones de una base en poli-A o repeticiones poli-T. Esto podría conducir a una variación de la homoplusia y por lo tanto a sesgos en las estimaciones de parámetros de población. Los estimados de diversidad de secuencias, el número mínimo de recombinación y la D de Tajima (Tajima, 1989) fueron estimados usando DnaSP para tres particiones: el conjunto de datos globales, la localidad y la especie del hospedador. Los estimados de diversidad de secuencias incluyen el número de sitios de segregación (s) número de haplotipos (h), la diversidad de haplotipos (Hd) (Nei, 1978), Tajima ( $\pi$ ) (Tajima, 1983), la theta de Watterson ( $\theta_w$ ) (Watterson, 1975) y el número promedio de diferencias de nucleótidos por pares (k) (Tajima, 1983). Se calcularon intervalos de confianza de 95% para cada estadística a través de simulaciones de coalescencia usando DnaSPv5.

### Análisis de redes y de estructura de población

La distribución de haplotipos y sus frecuencias se muestran en función del hospedante y la localidad con el algoritmo de *Median-joining network* (MJ) utilizando la versión 4.6.1.0 del programa Network (Bandelt *et al.*, 1999) con los parámetros por defecto. Las pruebas de estructura genética según la localidad y las especies de hospedantes (AMOVA e índices de Fst) se llevaron a cabo con Arlequin 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010). La significancia se determinó usando 1.000 permutaciones.

## RESULTADOS

### Recolección e identificación morfológica de los aislamientos de *Phytophthora*

Las muestras recogidas produjeron 102 aislamientos de *Phytophthora* de los cuales, después de los análisis morfológicos, 61 fueron claramente identificados como *P. capsici* y el resto, como otras especies. Entre los aislamientos identificados, las características típicas mostraron algún grado de variación, especialmente en la relación ancho/largo de los esporangios. Todos los aislamientos de *P. capsici* pertenecieron al tipo de apareamiento A1. Las oosporas se produjeron solo cuando las placas de cada aislamiento incluyeron el aislamiento de referencia del TA A2 (CBS 370.72). El apareamiento entre los tipos de apareamiento opuestos de referencia produjo oosporas viables, tal como se esperaba. Cuando se agregó metalaxil al medio, el crecimiento se redujo significativamente (>90%) y los aislamientos fueron clasificados como sensibles.

### Análisis de las poblaciones

En todos los casos, las simulaciones coalescentes incluyeron la estimación observada dentro del intervalo de confianza del 95% (tabla 1). El número total de sitios de segregación detectados para el locus ITS fue de 13 de 581 pb analizadas (conjunto global de datos), sin desviaciones detectadas del modelo de sitios infinitos de evolución de nucleótidos. Los polimorfismos se encontraron tanto en los locus ITS1 como ITS2. El locus 5.8S resultó monomórfico. Según las estimaciones de diversidad, los aislamientos obtenidos de Rodríguez y Luján resultaron considerablemente más variables que aquellos de Exaltación de la Cruz, incluso a pesar de que el tamaño de la muestra de Luján fue considerablemente menor.

Cuando se tomaron en cuenta las especies hospedantes, los aislamientos de *P. capsici* obtenidos de la berenjena mostraron los valores más grandes en la mayoría de las estimaciones, incluso con un tamaño de muestra más pequeño que el del zapallito. La D de Tajima no difirió significativamente de cero en ningún caso, lo cual sugiere que no hay una desviación significativa del modelo básico en las particiones consideradas. El análisis de los datos para el número mínimo de eventos de recombinación (RM) detectó al menos dos eventos restringidos a Rodríguez cuando el conjunto de datos fue particionado geográficamente. Sin

embargo, cuando el conjunto de datos se dividió por especies hospedadoras el análisis Rm produjo tres eventos, dos detectados para zapallito y una para berenjena.

Se definieron veinte haplotipos a partir de los 61 aislamientos de este estudio, incluyendo sitios con gaps o brechas (tabla 2) y 16 cuando fueron excluidos (tabla 1). El análisis de redes mostró que los tres haplotipos más frecuentes, 13, 14 y 16 (fig. 2) también fueron centrales en la red. Cuando se compara con las secuencias ITS de *P. capsici* que están disponibles al público en Genbank es posible notar que los haplotipos ancestrales (13, 14 y 16) resultaron idénticos a otros aislamientos obtenidos a partir

de un número de especies de cultivo distribuidas en todo el mundo (tabla 2).

El haplotipo 15, también central para la red y con frecuencia representado, fue sin embargo exclusivo para Argentina, y fue aislado del zapallito y de la berenjena en los tres sitios: Rodríguez, Luján y Exaltación de la Cruz. Los haplotipos 1, 2, 3, 4 y 10 solo fueron aislados a partir de berenjena en Rodríguez. Los haplotipos 5, 6, 8, 9, 11 y 12 resultaron únicos para especies de cucurbitáceas en Rodríguez. El haplotipo 7 fue compartido por el tomate y el zapallito en ese sitio, mientras que los haplotipos 19 y 20 se encontraron exclusivamente en los zapallitos de Lu-

	N	Diversidad estimada					
		s	h	Hd	$\pi$	$\Theta_w$	k
<b>Total</b>	61	15	20	0,642	0,0035	2,76816	2,02433
<b>Categoría</b>	<b>Partición por zona geográfica</b>						
<b>Gral. Rodríguez</b>	34	2	17	0,69	0,00439	2,89381	2,53968
<b>Luján</b>	7	0	4	0,722	0,00354	2,57556	2,05556
<b>Exaltación</b>	20	0	5	0,257	0,00046	0,61509	0,26667
<b>Categoría</b>	<b>Partición por especie hospedante</b>						
<b>Zapallito</b>	37	2	14	0,694	0,00385	2,67106	2,23193
<b>Berenjena</b>	13	2	8	0,808	0,00455	3,22247	2,64103
<b>Tomate</b>	6	0	3	0,9	0,00482	2,88	2,8
<b>Pimiento</b>	3	0	2	0	0	0	0
<b>Zucchini</b>	2	0	2	0	0	0	0

**Tabla 1.** Promedio de las estimaciones de diversidad del locus ITS para *P. capsici* con aislados agrupados en categorías predefinidas de hospedador. s= número sitios de segregación, h= haplotipos, Hd= diversidad de haplotipos,  $\pi$  =  $\pi$  de Tajima,  $\Theta_w$  = Theta de Watterson por secuencia y k= el número promedio de diferencias de pares de nucleótidos.

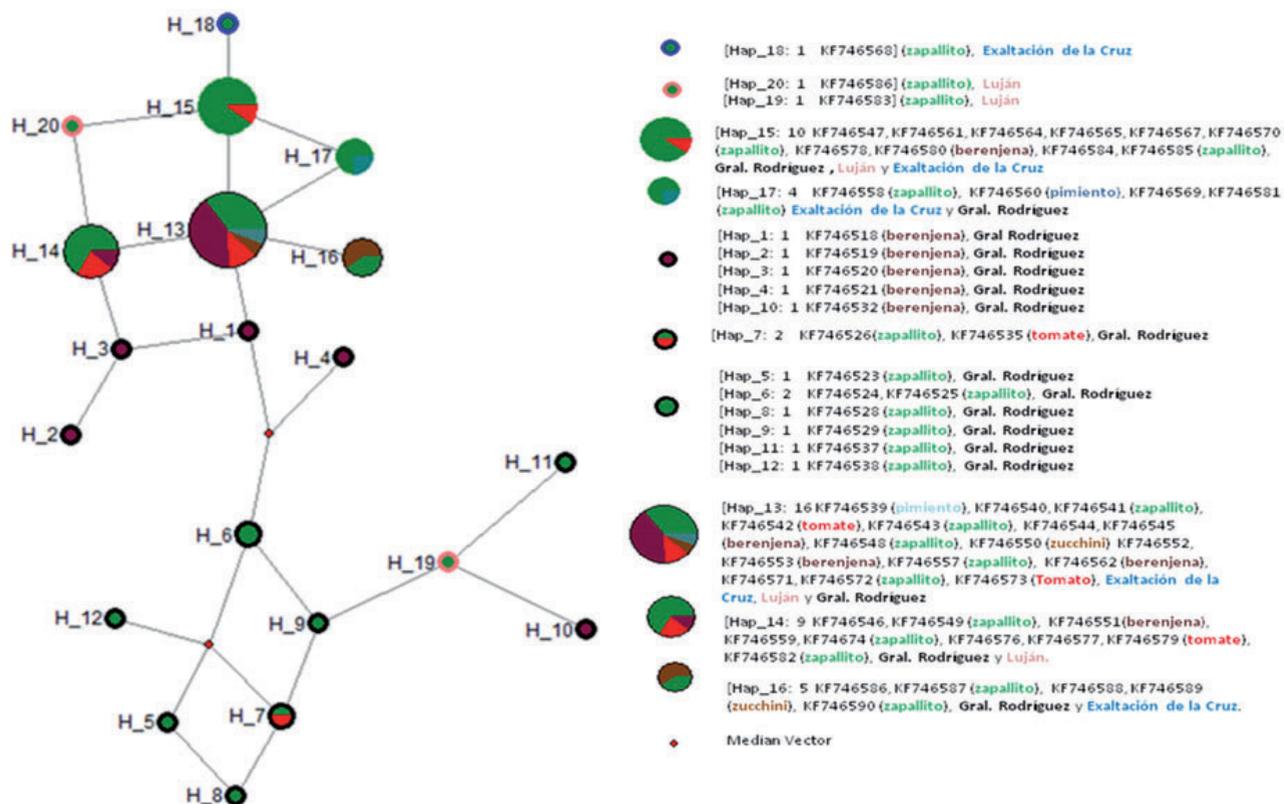
Haplotipo y número de aislamientos	Definición del haplotipo	Número de acceso al Genbank	País de origen		Especie hospedante	Órgano	MT <sup>A</sup>	MS <sup>B</sup>
			Sitios de muestreos de Argentina					
[Hap_1: 1	AACAGGGGGAGTATG	KF746518	Argentina, Rodríguez		berenjena	brote	A1	S
[Hap_2: 1	AACAGGGGGAGTTTA	KF746519	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
[Hap_3: 1	AACAGGGGGAGTTTG	KF746520	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
[Hap_4: 1	AACAGAGGGAGTAGG	KF746521	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
[Hap_5: 1	AACAAAGGGAATATA	KF746523	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_6: 2	AACAAAGGGAGTATG	KF746524	Argentina, Rodríguez		zapallito	tallo	A1	S
[Hap_6: 2	AACAAAGGGAGTATG	KF746525	Argentina, Rodríguez		zapallito	tallo	A1	S
[Hap_7: 2	AACAAAGGGAGTTTA	KF746526	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_7: 2	AACAAAGGGAGTTTA	KF746535	Argentina, Rodríguez		tomate	fruto	A1	S
[Hap_8: 1	AACAAAGGGAATTTA	KF746528	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_9: 1	AACAAAGGGAGTTTG	KF746529	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_10: 1	AACCAAGAAAGTATG	KF746532	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
[Hap_11: 1	AACAAAAAAGCTTG	KF746537	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_12: 1	AACAAAGGAAGTATA	KF746538	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S

Haplotipo y número de aislamientos	Definición del haplotipo	Número de acceso al Genebank	País de origen		Especie hospedante	Órgano	MT <sup>A</sup>	MS <sup>B</sup>		
			Sitios de muestreos de Argentina							
[Hap_13: 16	AACAGGGGGGTATG	KF746539	Argentina, Rodríguez		pimiento	tallo	A1	S		
		KF746540	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S		
		KF746541	Argentina, Exaltación		zapallito	fruto	A1	S		
		KF746542	Argentina, Rodríguez		tomate	fruto	A1	S		
		KF746543	Argentina, Exaltación		zapallito	fruto	A1	S		
		KF746544	Argentina, Rodríguez		berenjena	brote	A1	S		
		KF746545	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S		
		KF746548	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S		
		KF746550	Argentina, Rodríguez		zucchini	fruto	A1	S		
		KF746552	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S		
		KF746553	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S		
		KF746557	Argentina, Luján		zapallito	tallo	A1	S		
		KF746562	Argentina, Rodríguez		berenjena	tallo	A1	S		
		KF746571	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S		
		KF746572	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S		
		KF746573	Argentina, Exaltación		tomate	fruto	A1	S		
		AB217670	Japón		zapallo					
		AB367368	Japón		calabaza					
		AB367369	Japón		zapallito					
		AB367370	Japón		pepino					
		AB367372	Japón		pimiento					
		AJ854286	Italia		zapallito					
		AJ854287	Italia		zapallito					
		DQ464019	EE.UU.		berenjena					
		DQ464029	EE.UU.		berenjena					
		DQ464041	EE.UU.		pimiento					
		EU162757	EE.UU.		zapallito					
		EU162758	EE.UU.		zapallito					
		HQ638209	Corea del Sur		poroto					
		JN937590	Corea del Sur		tomate					
		JQ410453	Brasil		pimiento					
		[Hap_14: 9	AACAGGGGGGTTTG	KF746546	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
				KF746549	Argentina, Luján		zapallito	fruto	A1	S
KF746551	Argentina, Rodríguez			berenjena	fruto	A1	S			
KF746559	Argentina, Luján			zapallito	fruto	A1	S			
KF746574	Argentina, Luján			zapallito	fruto	A1	S			
KF746576	Argentina, Rodríguez			tomate	fruto	A1	S			
KF746577	Argentina, Rodríguez			tomate	fruto	A1	S			
KF746579	Argentina, Rodríguez			tomate	fruto	A1	S			
KF746582	Argentina, Luján			zapallito	tallo	A1	S			
AY423292	EE.UU.			tomate						
DQ069293	Inglaterra			zapallito						
DQ464018	EE.UU.			pimiento						
DQ464021	EE.UU.			tomate						
DQ464022	EE.UU.			pimiento						

Haplotype y número de aislamientos	Definición del haplotipo	Número de acceso al Genbank	País de origen		Especie hospedante	Órgano	MT <sup>A</sup>	MS <sup>B</sup>
			Sitios de muestreos de Argentina					
[Hap_14: 9	AACAGGGGGGGTTTG	DQ464023	EE.UU.		pimiento			
		DQ464024	EE.UU.		pimiento			
		DQ464025	EE.UU.		zapallito			
		DQ464026	EE.UU.		pimiento			
		DQ464031	EE.UU.		pimiento			
		DQ464032	EE.UU.		tomate			
		DQ464042	EE.UU.		pimiento			
		DQ464043	EE.UU.		poroto			
		DQ464044	EE.UU.		poroto			
		DQ464045	EE.UU.		poroto			
		EF617375	EE.UU.		tomate			
		EF617376	EE.UU.		pepino			
		EF617377	EE.UU.		zucchini			
		GU011684	EE.UU.		poroto			
		HQ261520	Italia		berenjena			
		JN382543	Italia		pimiento			
JN382544	Italia		pimiento					
JQ071939	EE.UU.		pimiento					
[Hap_15: 10	TACAGGGGGGGTATG	KF746547	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746561	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746564	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746565	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746567	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746570	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746578	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
		KF746580	Argentina, Rodríguez		berenjena	fruto	A1	S
		KF746584	Argentina, Luján		zapallito	fruto	A1	S
		KF746585	Argentina, Exaltación		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_16: 5	AA-AGGGGGGGTATG	KF746586	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746587	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746588	Argentina, Rodríguez		zucchini	fruto	A1	S
		KF746589	Argentina, Rodríguez		zucchini	fruto	A1	S
		KF746590	Argentina, Exaltación		zapallito	fruto	A1	S
		DQ464033	EE.UU.		pimiento			
		DQ464039	EE.UU.		pimiento			
		HQ643183	Sudáfrica		zucchini			
HQ822261	Sudáfrica		zapallito					
[Hap_17: 4	ACAGGGGGGGTATG	KF746558	Argentina, Exaltación		zapallito	tallo	A1	S
		KF746560	Argentina, Exaltación		pimiento	tallo	A1	S
		KF746569	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
		KF746581	Argentina, Rodríguez		zapallito	fruto	A1	S
[Hap_18: 1	TTCAGGGGGGGTATG	KF746568	Argentina, Exaltación		zapallito	fruto	A1	S

Haplotype y número de aislamientos	Definición del haplotipo	Número de acceso al Genbank	País de origen		Especie hospedante	Órgano	MT <sup>A</sup>	MS <sup>B</sup>
			Argentina	Luján				
[Hap_19: 1	AACAAAGAAAGTTTG	KF746583	Argentina,	Luján	zapallito	fruto	A1	S
[Hap_20: 1	TACAGGGGGGTTTG	KF746586	Argentina,	Luján	zapallito	fruto	A1	S

**Tabla 2.** Distribución de haplotipos por país, sitio de muestreo (en Argentina) y especie hospedadora.



**Figura 2.** Red filogenética con la serie de aislamientos de *P. capsici* procedentes de los cultivos de interés: zapallito, berenjena, tomate y pimiento, y de zucchini. En el listado se indica el origen de los aislamientos (por hospedante y por localidad), en el mismo orden en que aparecen en la figura.

ján. El haplotipo 18 se encontró solo en los zapallitos de Exaltación de la Cruz; el haplotipo 16 fue compartido por el zapallito y zucchini en Exaltación y Rodríguez. El haplotipo 17 fue compartido entre el pimiento y el zapallito, también en Exaltación y Rodríguez (tabla 2 y fig. 2).

Por una parte, los estudios AMOVA mostraron una variación de 4,02% entre los grupos cuando Rodríguez y Luján (localidades cercanas entre ellas) fueron agrupadas y comparadas con Exaltación de la Cruz, a 45 kilómetros de esos lugares. La variación entre las poblaciones dentro de los grupos alcanzó el 11,07%. Estos niveles de variación fueron, sin embargo, no significativos al nivel de 0,05 (tabla 3a). La mayor cantidad de variación se encontró den-

tro de las poblaciones (84,91), la cual resultó significativa ( $p < 0,02$ ).

Por otra parte, los índices de fijación por parejas mostraron niveles marginalmente significativos de estructura genética cuando se compararon Rodríguez y Luján. Los índices de fijación de Exaltación de la Cruz resultados significativos en el nivel 0,05 cuando se comparó con Luján y Rodríguez (tabla 3b). Cuando se agruparon de acuerdo con la especie hospedante y las familias (tabla 4) no se observó ninguna estructuración entre los grupos o poblaciones. De acuerdo con esto, cada índice de fijación por pareja entre especies hospedantes fue no significativo al nivel de 0,05, en todos los casos (tabla 4).

## DISCUSIÓN

Las secuencias ITS de *P. capsici* mostraron un patrón reticular de haplotipos centrales frecuentes en la red, con haplotipos más recientes y menos frecuentes en las puntas de la red. Una posición central, junto con una mayor frecuencia, es considerada una característica de haplotipos ancestrales. Este patrón sugiere que ocurrió un proceso de diversificación en la región bajo estudio (Templeton, 1998). La aparición de los haplotipos más frecuentes y centrales (posiblemente ancestrales) en una serie de países y especies de cultivo (tabla 2) también apoya esta hipótesis.

Se detectaron de dos a tres eventos de recombinación en este estudio, en función de si se consideran las particiones geográficas o por hospedante. Estos resultados sugieren que la reproducción sexual podría haber sido parte del proceso de diversificación antes mencionado y, en consonancia, es intrigante la ausencia del TA A2 en toda Argentina (Gobena *et al.*, 2012 y estudio actual).

Por una parte, nuestro estudio no permite determinar si la recombinación y la reproducción sexual solo ocurrieron en el pasado o si todavía están presentes en la dinámica

actual de la región. Se ha sugerido que la ausencia de ambos tipos de reproducción en las poblaciones de *P. capsici* son el resultado de un sistema de producción de cultivos durante todo el año, que eliminó la necesidad de la reproducción sexual y la consiguiente formación de oosporas normalmente necesarias para la supervivencia de temporada a temporada (Lamour *et al.*, 2012). Alternativamente, podría plantearse la hipótesis de que un evento único fundacional introdujo los haplotipos antiguos en Argentina con una representación desigual de los TAA1 y A2. Posteriormente, la deriva genética podría haber dado lugar a la pérdida de los genotipos A2, originalmente menos frecuentes, en ausencia de una presión selectiva que favoreciera la aparición de ambos TAs.

Por otra parte, los genotipos A2 podrían aun estar presentes en bajas frecuencias, impulsando la reproducción sexual. Los eventos de recombinación en ausencia del TA A2 también podrían ser el resultado de la ocurrencia del tipo de apareamiento opuesto en especies alternativas; esto podría inducir la etapa sexual en *P. capsici*. Donahoo *et al.* (2008) mostraron que *P. capsici* y *P. tropicalis* forman híbridos sexuales interespecíficos en el laboratorio. Se encontró al descendiente híbrido de *P. nicotianae* y *P. cactorum* en árboles de níspero en Perú y Taiwán (Hurtao-Gonzales *et al.*, 2008) y en hidroponía en los Países Bajos (Man in't Veld *et al.*, 1998). Notablemente, el TA A2 fue encontrado en aislamientos de *P. nicotianae* y *P. cactorum* en el noreste de Buenos Aires, aunque aún no se ha registrado evidencia de hibridación cruzada (Iribarren, datos no publicados).

La estructura genética y la variación entre y dentro de los puntos de muestreo en el cinturón verde del NE de Buenos Aires se podría explicar por la actividad antrópica, ya que *P. capsici* puede ser introducido en nuevos campos a tra-

Localidad / Fst	Rodríguez	Luján	Exaltación
Rodríguez	0.00000		
Luján	0,26458*	0.00000	
Exaltación	0,05116*	0,54307*	0.00000

**Tabla 3a.** Índices de fijación ( $F_{ST}$ ) del locus ITS de *P. capsici* con aislamientos particionados geográficamente.

\*Nivel de significancia: 0,05

Hospedante / Fst	Berenjena	Pimiento	Tomate	Zapallito	Zucchini
Berenjena	0.00000				
Pimiento	0,07101*	0.00000			
Tomate	0,05084	-0,07364	0.00000		
Zapallito	0,21335*	0,17344*	0,24668*	0.00000	
Zucchini	-0,12411	-0,03998	-0,03604	0,24528*	0.00000

**Tabla 3b.** Índices de fijación ( $F_{ST}$ ) del locus ITS de *P. capsici* con aislamientos particionados por hospedante.

\*Nivel de significancia: 0,05

Fuentes de variación	d.f.	Suma de cuadrados	Componentes de la varianza	Porcentaje de variación
Entre familias (de Hospedante)	1	0.780	- 0.01136Va	2,50%
Entre hospedantes (dentro de la familia)	3	1932	0.03767Vb	8,31%
Dentro de cada hospedante	54	23068	0.42718Vc	94,20%
Total	58	25780	0.45349	

**Tabla 4.** Prueba de AMOVA entre los hospedantes muestreados con presencia de *P. capsici* en el NE de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

vés de material infectado de plantas, suelo, herramientas o agua de riego (Hausbeck y Lamour, 2004; Gevens *et al.*, 2007) Por un lado, el análisis de partición geográfica reveló que la diversidad de haplotipos es particularmente alta en las localidades de Luján y Rodríguez en comparación con Exaltación de la Cruz. En esa ciudad la producción hortícola se introdujo más tarde y eso podría explicar la diferencia encontrada en esas áreas. Por otro lado, el riego por goteo y la rotación de cultivos probablemente facilitaron el cambio de hospedador de *P. capsici*, como se evidencia por la falta general de la estructura genética detectada mediante el análisis de AMOVA y los índices de FST, junto con el modelo de distribución de haplotipos observado en la red. A pesar de estos resultados, es interesante observar los niveles relativamente altos de variación que fueron encontrados en los aislamientos de berenjenas; hasta la fecha no hemos sido capaces de rastrear ninguna razón histórica o biológica que explique este hallazgo.

En cualquier caso, la estructura genética de las poblaciones de *P. capsici* en el cinturón verde de Buenos Aires contrasta notablemente con los resultados observados en Perú por Hurtado-González *et al.* (2008) y en el noroeste (NO) de Argentina por Gobena *et al.* (2012). Estas diferencias son consistentes con un patrón epidemiológico donde el viento no es un mecanismo importante y dispersión a larga distancia es poco frecuente (Granke *et al.*, 2009). De acuerdo con el modelo de riesgo presentado por McDonald y Linde (2002), en el NO de Argentina *P. capsici* debe ser considerado como un patógeno de bajo riesgo. Por el contrario, las poblaciones de estas especies que se encuentran en el cinturón verde de Buenos Aires implicarían un riesgo de moderado a alto para la práctica hortícola; tal riesgo depende de la presencia del patógeno en el momento de la reproducción sexual.

Gobena *et al.* (2012) señalaron que la estructura clonal en poblaciones del NO de Argentina han permitido la aparición de variedades de pimientos resistentes a partir del uso de aislamientos locales para limitar la infección por *P. capsici* por períodos prolongados de tiempo. Además, la ausencia de oosporas sexuales de paredes gruesas, que pueden sobrevivir por muchos años, es un activo para el manejo de enfermedades de *P. capsici* a partir del uso de estrategias de rotación de cultivos con especies resistentes o inmunes. Esta situación, sin embargo, podría ser lábil en el caso que los aislamientos de Buenos Aires lleguen, de alguna manera, a la región NO del país. En caso de que los resultados aquí mostrados sean confirmados con análisis complementarios que actualmente están en desarrollo, deberían considerarse medidas sanitarias para prevenir posibles vías de diseminación, que podrían llevar a la ruptura de la resistencia en las regiones donde *P. capsici* se controló hasta ahora con éxito.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Universidad Nacional de Luján (UNLu) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por aportar los fondos para este proyec-

to. Quieren agradecer también al programa Cambio Rural por su colaboración en la identificación de los productores hortícolas locales para obtener las muestras vegetales. Un enorme reconocimiento también para Claudia Ojeda (Laboratorio Central, UNLu) por su importante contribución en el procesamiento de aislamientos y su conservación a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTSCHUL, S.F.; GISH, W.; MILLER, W.; MYERS, E.W.; LIPMAN, D.J. 1990. Basic Local Alignment Search Tool. *J. Molecular Biology*. 215:403-410.
- ATLAS FITOPATOLÓGICO ARGENTINO. (<http://www.fitopatoatlas.org.ar/>, verificado 15 de enero de 2013).
- BANDEL, H.J.; FORSTER, P.; RÖHL, A. 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology Evolution*. 16:37-48.
- DAVIDSON, C.R.; CARROLL, R.B.; EVANS, T.A.; MULROONEY, R.P. (2002) First report of *Phytophthora capsici* infecting lima bean (*Phaseolus lunatus*) in the Mid-Atlantic Region. *Plant Disease*. 86:1049.
- EXCOFFIER, L.; LISCHER, H.E.L. 2010. Arlequin suite version 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*. 10: 564-567.
- ERWIN, D.C.; RIBEIRO, O.K. 1996. *Phytophthora* Diseases Worldwide. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. 562 pp.
- FRENCH-MONAR, R.D.; JONES, J.B.; ROBERTS, P.D. 2006. Characterization of *Phytophthora capsici* associated with roots of weeds on Florida vegetable farms. *Plant Disease*. 90:345-350.
- FRENCH-MONAR, R.D.; JONES, J.B.; OZORES-HAMPTON, M.; ROBERTS, P.D. 2007. Survival of inoculum of *Phytophthora capsici* in soil through time under different soil treatments. *Plant Disease*. 91:593-598.
- GEVENS, A.J.; HAUSBECK, M.K. 2004. *Phytophthora capsici* isolated from snap bean is pathogenic to cucumber fruit and soybean. APS North Central Division Meeting.
- GEVENS, A.J.; DONAHOO, R.S.; LAMOUR, K.H.; HAUSBECK, M.K. 2007. Characterization of *Phytophthora capsici* from Michigan surface irrigation water. *Phytopathology*. 97:421-428.
- GEVENS, A.J.; DONAHOO, R.S.; LAMOUR, K.H.; HAUSBECK, M.K. 2008. Characterization of *Phytophthora capsici* causing foliar and pod blight of snap bean in Michigan. *Plant Disease*. 92:201-209.
- GOBENA, D.; ROIG, J.; GALMARINI, C.; HULVEY, J.; LAMOUR, K. 2012. Genetic diversity of *Phytophthora capsici* isolates from pepper and pumpkin in Argentina. *Mycologia*. 104:102-107.
- GRANKE, L.L.; WINDSTAM, S.T.; HOCH, H.C.; SMART, C.D.; HAUSBECK, M.K. 2009. Dispersal and movement mechanisms of *Phytophthora capsici* sporangia. *Phytopathology* 99:1258-1264.
- HAUSBECK, M.K.; LAMOUR, K.H. 2004. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: research progress and management challenges. *Plant Disease*. 88:1292-1303.
- HUDSON, R.R.; KAPLAN, N. L. 1985. Statistical properties of the number of recombination events in the history of a sample of DNA sequences. *Genetics*. 111:147-164.
- HURTADO-GONZALES, O.; ARAGON-CABALLERO, L.; APAZA-TAPIA, W.; DONAHOO, R.; LAMOUR, K. 2008. Survival and spread of *Phytophthora capsici* in Coastal Peru. *Phytopathology*. 98:688-694.

- HWANG, B.K.; KIM, C. H. 1995. *Phytophthora* Blight of Pepper and Its Control in Korea. Plant Disease. The American Phytopathological Society. Vol. 79, N.º 3.
- INDEX FUNGORUM. CABI BIOSCIENCE DATABASE. (<http://www.speciesfungorum.org/Names/Names.asp>, verificado 10 de diciembre de 2012).
- KREUTZER, W.A. 1937. A *Phytophthora* rot of cucumber fruit. *Phytopathology*. 27: 955.
- KREUTZER, W.A.; BODINE, E.W.; DURRELL, L.W. 1940. Cucurbit diseases and rot of tomato fruit caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology*. 30: 972–976.
- KREUTZER, W.A.; BRYANT, L.R. 1946. Certain aspects of the epiphytology and control of tomato fruit rot caused by *Phytophthora capsici* Leonian. *Phytopathology*. 36:329–339.
- LAMOUR, K. 2009. *Phytophthora capsici*: Sex, Selection, and the Wealth of Variation. In: Oomycetes Genetics and Genomics. Diversity, Interactions and Research Tools. John Wiley and Sons, Inc., Nueva York. 41 pp.
- LAMOUR, K.H.; HAUSBECK, M.K. 2001. Investigating the Spatiotemporal Genetic Structure of *Phytophthora capsici* in Michigan. *Phytopathology*. The American Phytopathological Society. Vol. 91, N.º 10. 973–980 pp.
- LAMOUR, K.H.; HAUSBECK, M.K. 2003. Effect of crop rotation on the survival of *Phytophthora capsici* in Michigan. *Plant Disease*. 87:841–845.
- LAMOUR, K.; KAMOUN, S. 2009. Oomycete Genetics and Genomics: Diversity Interactions and Research Tools. Hoboken, NJ. John Wiley and Sons.
- LAMOUR, K.H.; STAM, R.; JUPE, J.; HUITEMA, E. 2012. The oomycete broad host range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*. 13 (4): 329–337.
- LEONIAN, L.H. 1922. Stem and fruit blight of chilies caused by *Phytophthora capsici* sp. *Phytopathology*. 12:401–408.
- LUZ, E.D.M.N.; CERQUEIRA, A.O.; FALEIRO, F.G.; DANTAS NETO, A.; MATSUOKA, K.; MARQUES, J.R.B. 2003. Diversidade genética de isolados de *Phytophthora capsici* de diferentes hospedeiros com base em marcadores RAPD patogênicidade e morfologia. *Fitopatología Brasileira*. 28:559–564.
- MAN IN'T VELD, W.A.; VEENBAAS-RIJKS, W.J.C; LLIEVA, E.; DE COCK, A; BONANTS, P.; PIETERS, R. 1998. Natural hybrids of *Phytophthora nicotianae* and *Phytophthora cactorum* demonstrated by isozyme analysis and random amplified polymorphic ADN. *Phytopathology* 88:922–929.
- MCDONALD, B.A.; LINDE, C. 2002. Pathogen Population Genetics, Evolutionary Potential and Durable Resistance. *Annual Review. Phytopathology*. 40:349–79.
- NEI, M. 1978. *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University. Press, Nueva York. 512 pp.
- OELKE, L.M.; BOSLAND, P. W. 2003. Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *J. American Society of Horticulture Science*. 128:213–218.
- QUESADA-OCAMPO, L.M., GRANKE, L.L., MERCIER, M.R., OLSEN, J.; HAUSBECK, M.K. 2011. Investigating the genetic structure of *Phytophthora capsici* populations. *Phytopathology*. 101:1061–1073.
- ROZAS, J.; LIBRADO, P. 2009. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*. 25: 1451–1452.
- SILVAR, C.; MERINO, F.; DÍAZ, J. 2006. Diversity of *Phytophthora capsici* in Northwest Spain: analysis of virulence, meta-laxyl response, and molecular characterization. *Plant Disease*. 90:1135–1142.
- SUN, W.X.; JIA, Y.J.; O'NEILL, N.R.; FENG, B.Z.; ZHANG, X.G. 2008. Genetic diversity in *Phytophthora capsici* from Eastern China. *Can. J. Plant Pathology*. 30: 414–424.
- TAJIMA, F. 1983. Evolutionary relationship of DNA sequences in finite populations. *Genetics*. 105:437–460.
- TAJIMA, F. 1989. Statistical methods for testing the neutral mutation hypothesis by DNA Polymorphism. *Genetics*. 123:585–595.
- TAMURA, K.; PETERSON, D.; PETERSON, N.; STECHER, G.; NEI, M.; KUMAR, S. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology Evolution*. 28(10):2731–2739.
- TEMPLETON, A.R. 1998. Nested clade analyses of phylogeographic data: testing hypotheses about gene flow and population history. *Molecular Ecology*. 7: 381–397.
- TIAN, D.; BABADOOST, M. 2003. Genetic variation among isolates of *Phytophthora capsici* from Illinois (Abstract). *Phytopathology*. 93:S84.
- TIAN, D.; BABADOOST, M. 2004. Host range of *Phytophthora capsici* from pumpkin and pathogenicity of isolates. *Plant Disease*. 88:485–489.
- WALKER, S.J.; BOSLAND, P.W. 1999. Inheritance of *Phytophthora* root rot and foliar blight resistance in pepper. *J. American Society of Horticulture Science*. 124:14–18.
- WANG, Z.; LANGSTON, D.B.; CSINOS, A.S.; GITAITIS, R.D.; WALCOTT, R.R.; JI, P. 2009. Development of an improved isolation approach and simple sequence repeat markers to characterize *Phytophthora capsici* populations in irrigation ponds in southern Georgia. *Appl. Environmental Microbiology*. 75:5467–5473.
- WATTERSON, G.A. 1975. On the number of segregating sites in genetical models without recombination. *Theoretical. Population Biology*. 7:256–276.
- WHITE, T.J.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J.W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Pp. 315–322. En: INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, JS. J.; WHITE T. J. (Eds.) *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Academic Press, Inc., Nueva York.

**Relación entre atributos de uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de Trigo Pan (*Triticum Aestivum L.*) con distinta composición de gluten**

Lerner, S. E.; Arata, A. F.; Arrigoni, A. C.

**Primer registro de *Tetranychopsis horridus* (Canestrini & Fanzago) en Argentina asociado al avellano (*Corylus avellana*)**

Martin, D.M.; Regonat, M.E.; Gallo, S.L.; Baffoni, P.A.; Mongabure, A.P.

**Variabilidad espacial multivariada en variables de suelo a escala de lote y su relación con rendimientos**

Córdoba, M.; Bruno, C.; Costa, J.; Balzarini, M.

**Heredabilidad de la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow) en familias FS de caña de azúcar (*Saccharum spp*)**

Simón, G.; Collavino, N.; Gray, L.; Mariotti, J.

**Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay**

Tiscornia, G.; Cal, A.; Giménez, A.

**Efecto del SNP 3702G>A del gen *IGF2* sobre caracteres de crecimiento, canal, físicos-químicos y sensoriales de la calidad de carne en cerdos de la raza Landrace**

Fassa, V.B.; Carden, T.R.; Goenaga, P.R.; Marini, S.J.; Carduza, F.J.; Grigioni, G.; Marrube, G.; Lloveras, M.R.

**Producción de biomasa y respuesta a la fertilización de especies forrajeras subtropicales cultivadas en la Pampa Deprimida Bonaerense**

Pesqueira, J.; Huarte, H.R.; García, M.D.

**Crianza artificial de terneros de tambo utilizando sustitutos lácteos de distinto contenido energético**

Juliano, N.; Danelon, J.L.; Fattore, R.O.; Cantet, J.M.; Martinez, R.; Miccoli, F.; Palladino, R.A.

**Efecto del agregado de fósforo y nitrógeno en el crecimiento de cultivos de alfalfa en rebrotes de primavera y verano en un suelo vertisol de Entre Ríos**

Sevilla, G.H.; Agnusdei, M.G.

**Estructura genética de poblaciones de *Phytophthora capsici* en el noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina**

Iribarren, M.J.; Borassi, C.; Ferri, A.; González, B.; Steciow, M.; Guillín, E.



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación