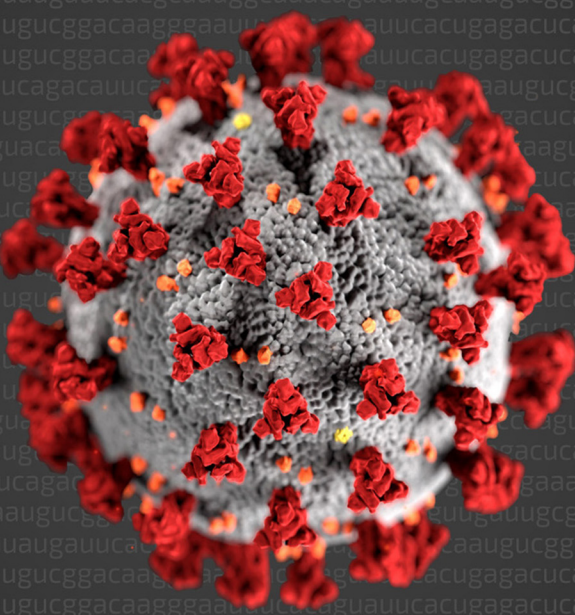


El desafío de entender qué es el SARS-CoV-2



**UN EQUIPO DE INVESTIGADORES
DETECTÓ CORONAVIRUS EN
MURCIÉLAGOS**

**CÓMO ES EL TRABAJO DE LOS
INVESTIGADORES QUE ENFRENTAN
LA PANDEMIA**

**ENTREVISTA A ARIEL PEREDA
"EL INTA TIENE CAPACIDADES
QUE PUEDEN SER UTILIZADAS
POR EL SISTEMA DE SALUD"**



ISSN 0325-8718
ISSN 1669-2314

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 46 N.º 1
Abril 2020, Buenos Aires, Argentina

Propiedad Intelectual
Propiedad Intelectual N.º 5231354

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

La Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) es una publicación de información científica editada por el INTA. Los artículos presentados son admitidos por un Comité Editorial compuesto por prestigiosas figuras del ámbito académico y científico agropecuario. Abarca diferentes temas preparados por profesionales del INTA y de otras instituciones, y está destinada a la comunidad científica nacional e internacional.

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

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



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidenta:

Ing. Agr. Susana Mirassou

Vicepresidente:

Ing. Agr. Tomás Schlichter

Consejeros Nacionales:

Dr. Manuel Pedreira. MinAgro

Ing. Agr. Liliana Monterroso. Facultad de Cs. Agronómicas

Méd. Vet Humberto Luis José Occhi. Facultades

de Ciencias Veterinarias

Ing. Agr. Alejandro Conci. AACREA

Ing. Agr. Mario Nicolás Carlino. CONINAGRO

Ing. Agr. Sergio Melgarejo. CRA

Dr. Pablo Pailole. FAA

Sr. Santos Zuberhuler. SRA

Director Nacional:

Ing. Agr. Carlos Parera

Coordinador Nacional Técnico:

Ing. Agr. José Luis Sponton

Directores Nacionales Asistentes:

DN Asistente de Investigación, Desarrollo y Planificación

Ing. Agr. Martín Irurueta

DN Asistente de Transferencia y Extensión

Ing. Agr. María Rosa Scala

DG de Sistemas de Información, Comunicación y Procesos

Ing. Fernando Ricitelli

DG de Capital Humano

Ing. Prod. Agr. Eduardo Alberto Quargnolo

DG de Administración

CPN Lic. Rosendo Tarsetti

CN de Vinculación Tecnológica y Relaciones Institucionales

Ing. Zootecnista Juan Sebastián Llorens

STAFF

Dirección:

Dra. Norma Pense

Lic. Máximo Bontempo

Coordinación editorial:

Per. Giselle Miquet

Mg. Mario Migliorati

Asistente editorial:

Lic. Gustavo Ciuffo

Lic. Cecilie Esperbent

Producción Editorial:

Asesores técnicos y de contenido

Ing. Agr. Cristian Zuchini

Dr. Martín Irurueta

Dra. Mariana Insigni

Diseño y Edición:

Comunicación Visual, Gerencia de Comunicación

e Imagen Institucional

Fotografía:

Audiovisual, Gerencia de Comunicación

e Imagen Institucional

COMITÉ EDITORIAL

Presidente:

Dr. Carlos Di Bella. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

Vocales:

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

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

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

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

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

Dr. Frédéric Goulet. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Francia

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

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

Dr. Claudio Machado. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Argentina.

COMITÉ ASESOR

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

Dr. Emiliano Quiroga. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina

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

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

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

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

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

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

Coronavirus

El mundo entero vive horas inciertas. Como si se tratara de una ola imparable, un virus hasta ahora desconocido para la especie humana avanza sobre la población que solo espera que pronto surja una cura para la enfermedad. Este podría ser el hilo argumental de algún libro de ciencia ficción o de un guion cinematográfico, sin embargo, refleja en gran medida las sensaciones de muchas personas alrededor del planeta en torno a la pandemia del SARS-CoV-2. Un nuevo patógeno que surgió a finales del 2019 en China y que parece haber tomado con la guardia baja, no solo a muchos países, sino también a organismos internacionales, al personal de salud e inclusive a una parte importante de la comunidad científica. Pero ¿es el SARS-CoV-2 una aparición realmente sorpresiva o inesperada? Hoy la prensa descubre trabajos científicos que, más de 10 años atrás y con precisión casi asombrosa, anunciaban que los coronavirus podrían ser protagonistas de la próxima pandemia, que identificaban a los murciélagos como una fuente potencial de estos patógenos y a China como el lugar desde donde se desencadenaría el proceso. Lejos del azar, tales hipótesis resultaban de lo aprendido de otras enfermedades emergentes previas, con sintomatología similar y cuyos agentes causantes fueron otros miembros de la familia de los coronavirus. Y en particular de una de ellas, la epidemia de SARS en 2002.

No es exagerado pensar que la epidemia de SARS, con más de 8000 casos reportados en 27 países y 770 personas fallecidas hasta mediados de julio del 2003, fue la que tuvo efectos revulsivos más profundos en la manera de entender a la salud como un todo y la primera en demostrar, ciertamente en forma dramática, que hoy vivimos en una “aldea global”. Uno de sus primeros legados fue el “Reglamento Sanitario Internacional”, formulado en el 2005 por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y cuya finalidad era la de «prevenir la propagación internacional de enfermedades, proteger contra esa propagación, controlarla y darle una respuesta de salud pública proporcionada...evitando al mismo tiempo las interferencias innecesarias con el tráfico y el comercio internacionales». Por primera vez se establecían estándares mínimos de salud pública entre los países miembros de la OMS y generaba un vínculo estable y obligatorio de comunicación entre los Estados en el caso de emergencias sanitarias.

Más aún, el SARS originado por el salto de un coronavirus desde murciélagos, también contribuyó a impulsar la mejor

comprensión de la diversidad viral en la vida silvestre y la necesidad de comprender las bases ecológicas y biológicas de la transmisión entre especies de estos patógenos. Pero claro, el SARS no fue la única enfermedad de origen zoonótico que llevó su carga de fatalidad a través de las fronteras. La precedieron, entre otras tantas, la peste bubónica en la Edad Media, el cólera a fines del siglo XIX, el VIH/sida y el ébola a finales del XX, y la sucedieron la influenza H5N1 y de la gripe A (H1N1) en nuestro siglo. Todas duras lecciones que finalmente pusieron de manifiesto la necesidad del trabajo conjunto entre la salud pública, la salud animal y el cuidado del medio ambiente.

De esta comprensión derivó el concepto de “Una Salud”, que impulsa la colaboración internacional y multidisciplinaria para actividades que abordan los riesgos sanitarios en la interfaz animal-hombre-ecosistemas, y que fue de alguna manera formalizado a partir de la alianza entre la OMS, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) en un documento tripartido en abril de 2010.

Es precisamente dentro de este marco conceptual desde donde el INTA puede hacer sus aportes a la emergencia sanitaria. A través de sus instalaciones de laboratorio y bioterio de alta bioseguridad (NSB-4 OIE) que en estas emergencias demuestran su importancia estratégica. A través de la experiencia de sus profesionales y técnicos, capacitados para el trabajo con enfermedades zoonóticas y agentes infecciosos de alta transmisibilidad. A través de sus desarrollos e innovaciones en sistemas diagnósticos, vacunas y terapéuticos, y en sus capacidades para analizar las secuencias genéticas de los patógenos y construir modelos epidemiológicos que ayuden a comprender su dinámica. Pero no sólo desde el laboratorio se puede aportar. También a través de la experiencia en programas de vigilancia epidemiológica de la fauna silvestre que ayudan a detectar la presencia de agentes con potencial zoonótico, o, a partir del estudio de las modificaciones de las características ecológicas que impone el corrimiento de las fronteras agrícolas y su impacto en el medio ambiente. En esta edición de la RIA conoceremos más sobre la COVID-19 y su agente causal, el SARS-CoV-2, y sabremos detalles de los aportes que desde la concepción de “Una Salud” puede ofrecer el INTA en esta nueva emergencia sanitaria.

Actualidad en I+D

Editorial

2

Coronavirus

Frente a la pandemia, el INTA demuestra su importancia estratégica en la emergencia sanitaria.

Notas

4

El desafío de entender qué es el SARS-CoV-2

Este virus requiere acciones para mitigar su impacto social, sanitario y productivo a escala local.

8

Un equipo de investigadores detectó coronavirus en murciélagos

Es el primer reporte en dos especies en el país, cuya función es regular las poblaciones de insectos.

12

Cómo es el trabajo de los investigadores que enfrentan la pandemia

La colaboración es clave en el desarrollo de herramientas para el diagnóstico del virus en el país.

16

Entrevista: "El INTA tiene capacidades que pueden ser utilizadas por el sistema de salud"

Ariel Pereda destaca la integración de laboratorios y científicos a la estrategia diagnóstica del COVID-19.

Trabajos

Revisión

20

Shallot virus X: a hardly known pathogen of the genus *Allium*

Granda Jaramillo, R.; Flores, F.

Comunicación corta

25

Relevamiento y asignación taxonómica de himenópteros potencialmente polinizadores en un cultivo de soja

Blettler, D.C.; Gúndez, G.A.; Chemez, D.M.

Artículos

30

Caracterización estructural y morfogenética de una colección de poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* Jacq. en Argentina

Ortega Masagué, M.F.; Erazzú, L.; Andrés, A.

38

Composition and thermal properties of starch in flint maize (*Zea mays*, L.) kernels: location and crop management effects

Actis, M.; Farroni, A.E.; Andrade, F.H.; Valentinuz, O.R.; Cirilo, A.G.

50

Chemical composition and *in vitro* digestibility of annual ryegrass varieties grown in greenhouse conditions

Alende, M.; Fluck, A.C.; Volpi-Lagreca, C.; Andrae, J.G.

56

Incidencia de altas temperaturas durante el reproductivo sobre el rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum*) cultivado en diferentes distanciamientos entre surcos

Tcach, N.; Paytas, M.

66

Comportamiento de cultivares diploides y tetraploides de *Chloris gayana* Kunt (grama Rhodes) al sur del paralelo 40º en condiciones de riego

Miñón, D.P.; Gallego, J.J.

73

Forestación en pastizales: el rol de las especies y el manejo forestal sobre el proceso de salinización secundaria de suelos

Milione, G.M.; Mujica, C.R.; Bea, S.A.; Dominguez Daguer, D.; Gyenge, J.E.

81

Validación del gen de resistencia a "escaldadura" Rrs2 en los cultivares de cebada cervecera con mayor difusión en Argentina

González, G.A.; Moreyra, F.; Conti, V.A.; Vallati, A.; Giménez, F.J.

88

Evaluación de un modelo de producción de pasturas mediante pruebas empíricas

Nasca, J.A.; Berone, G.; Arroquy, J.I.; Feldkamp, C.; Colombatto, D.

96

A MODIS based tool to assess inundation patterns: an example for the Paraná Delta River

Durante, M.; Di Bella, C.M.

108

Análisis productivo y económico de sistemas silvo-apícola pastoriles en el norte de la provincia de Buenos Aires

Ferrere, P.; Signorelli, A.; Cabrini, S.M.

116

Balance entre la producción de una huerta agroecológica y la demanda nutricional de una familia tipo en el Área Metropolitana de Buenos Aires

Pescio, F.J.

123

Condiciones laborales de los asalariados tamberos "El caso de La Cuenca lechera del Valle de Lerma en Salta"

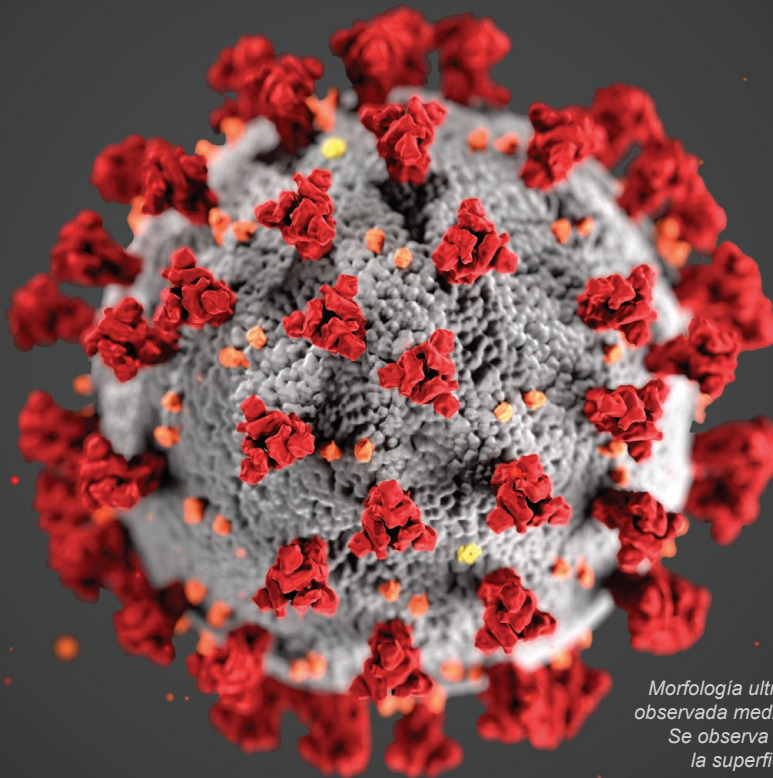
Martínez, G.M.; Bertoni, E.A.; Pais, A.; Moreno, R.; Gana, M.

PANDEMIA

El desafío de entender qué es el SARS-CoV-2

Declarada como la primera pandemia provocada por un coronavirus, es una enfermedad zoonótica que puso al mundo en alerta. A contra reloj, un equipo de investigadores del INTA busca conocer cómo es su patogenia para desarrollar herramientas de diagnóstico y tratamiento de la enfermedad.

POR CECILIE ESPERBENT



Morfología ultraestructural del SARS-CoV-2 observada mediante microscopio electrónico. Se observa la glicoproteína S que adorna la superficie externa del virus y le da el aspecto de una corona.

Con un impacto inesperado, la “enfermedad por coronavirus” (COVID-2019, por sus siglas en inglés) desencadenó una emergencia de salud mundial. Sin embargo, no se trata de un hecho aislado. En los últimos 30 años, el 80 % de las emergencias sanitarias del planeta fueron provocadas por enfermedades zoonóticas –pasaron de animales al hombre–, entre ellas, el síndrome respiratorio agudo severo (SARS, causado por el coronavirus SARS-CoV) en 2002, la pandemia de gripe A (causada por el virus de Influenza A H1N1) en 2009, el síndrome respiratorio de Oriente Medio

(causado por el coronavirus MERS-CoV) en 2012, la enfermedad por el virus del Ébola (hubo brotes en 2014 y en 2016, pero continua) y el síndrome pulmonar (causado por el Hantavirus) en 2018.

Es tal la virulencia de la nueva enfermedad que, el director general de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Tedros Adhanom Ghebreyesus, la declaró como pandemia. “Desde la OMS hemos llevado a cabo una evaluación permanente de este brote y estamos profundamente preocupados tanto por los alarmantes niveles de propagación y gravedad, como por los alarmantes

niveles de inacción. Por estas razones, hemos llegado a la conclusión de que la enfermedad causada por el COVID-19 puede considerarse una pandemia”, expresó Ghebreyesus en rueda de prensa el 11 de marzo de 2020, y alertó: “Nunca antes habíamos visto una pandemia generada por un coronavirus”.

La COVID-2019 fue notificada por primera vez en Wuhan (China), el 31 de diciembre de 2019, y el origen exacto de su agente etiológico, el SARS-CoV-2, no está claro y aún se lo sigue investigando. Los análisis de secuencia del genoma del virus sugieren que podría haber sido

En los últimos 30 años, el 80 % de las emergencias sanitarias del planeta fueron provocadas por enfermedades zoonóticas.

“Estamos frente a un virus emergente y, hasta el momento, es escasa la información que se tiene en forma específica sobre todos los mecanismos de patogenia que presenta en los humanos” (M. Pérez Filgueira).



Mariano Pérez Filgueira

transmitido desde murciélagos, posiblemente su hospedador natural, mediante un animal intermediario, como el pangolín.

En términos generales, los coronavirus (CoV) pertenecen a una amplia familia de virus que pueden causar diversas afecciones gastrointestinales y respiratorias, que van desde el resfrío común hasta enfermedades más graves. Pueden infectar una gran variedad de especies animales, y algunos de ellos se pueden contagiar de los animales a las personas (transmisión zoonótica). De hecho, estudios exhaustivos sobre brotes anteriores causados por coronavirus determinaron que el SARS-CoV (2002) se transmitió de la civeta al ser humano y que el MERS-CoV (2012) saltó del dromedario al hombre.

De acuerdo con Mariano Pérez Filgueira, coordinador del proyecto de inmunidad y patogenia en Salud Animal del INTA, integrante del Consejo Directivo de la Sociedad Argentina de Virología (SAV) y presidente del próximo Congreso Argentino de Virología (CAV 2020), “estamos frente a un virus emergente y, hasta el momento, es escasa la información que se tiene en forma específica sobre todos los mecanismos de patogenia que presenta en los humanos”.

“La identificación de este nuevo virus da cuenta del rol de los animales salvajes como reservorios naturales de distintos patógenos, que pueden, en condiciones propicias, introducirse en la población humana y diseminarse”, expresó Pérez Filgueira, quien integra un equipo de trabajo –conformado de manera espontánea por profesionales de diversas disciplinas– que busca brindar apoyo y sustento científico a las acciones que se realicen para mitigar el impacto social y productivo que pudiera generar el COVID-19 a escala local.

Cómo enfrentar a un supervirus

La historia natural de los coronavirus sugiere la posibilidad de nuevos eventos de transmisión zoonótica en el futuro, debido a la capacidad que poseen de saltar de un animal a los humanos. “Los coronavirus afectan a un amplio rango de especies de mamíferos y aves, incluyendo especies salvajes, domésticas (cánidos y felinos) y de interés en la producción (porcinos, aves, bovinos, equinos, entre otros)”, indicó Pérez Filgueira y agregó: “Esto se debe a las características propias del patógeno, que presenta capacidad de recombinación y de incorporar mutaciones y, por lo tanto, de adquirir la

habilidad para poder replicarse en nuevas especies animales”.

En el genoma de cualquier organismo se encuentran las instrucciones necesarias para su funcionamiento y la transmisión a la descendencia. Todos los seres vivos poseen un genoma de ADN (ácido desoxirribonucleico), que se conforma a partir de cuatro tipos de desoxirribonucleótidos, las conocidas bases de adenina, citosina, guanina y timina. Sin embargo, muchos virus –entre ellos el SARS-CoV-2– tienen un genoma de ARN (ácido ribonucleico), lo que les brinda características particulares durante el proceso de replicación.

Pero ¿qué sucede si el SARS-CoV-2 comienza a mutar? De acuerdo con Pé-

Muchos virus –entre ellos el SARS-CoV-2– tienen un genoma de ARN (ácido ribonucleico), lo que les brinda características particulares durante el proceso de replicación.

Una característica de los virus de ARN es que tienden más fácilmente a generar mutaciones y acumular cambios en su genoma.



Marina Bok

rez Filgueira, una característica de los virus de ARN es que tienden más fácilmente a generar mutaciones y acumular cambios en su genoma, en comparación con los virus de ADN. “La aparición de mutaciones es parte del proceso de replicación y de los mecanismos evolutivos naturales de los virus. Es algo que pasa todo el tiempo y se produce de manera azarosa”, expresó.

Por ser al azar, durante la incorporación de mutaciones, no sólo pueden adquirir capacidades que antes no tenían, sino que también, y en la inmensa mayoría de los casos, se incorporan cambios que son perjudiciales para el virus. Esto quiere decir que “la mayoría de las mutaciones no generan virus viables y solo una ínfima parte de estos cambios se mantiene y generan una progenie mutada, que puede incluir variantes mejor adaptadas y con mayor posibilidad de aumentar su proporción en la población”, indicó el especialista del INTA.

Los coronavirus, sin embargo, se encuentran entre los virus de ARN con menor tasa de mutación, por lo que este proceso no representaría una fuente de variación tan significativa para esta familia. “El SARS-CoV-2 tiene una tasa de transmisión muy alta entre humanos,

es decir, es muy contagioso”, indicó Pérez Filgueira y agregó: “Los coronavirus responsables de los anteriores brotes zoonóticos (SARS-CoV y MERS-CoV) no tuvieron esta misma capacidad de expandirse y, de hecho, el MERS-CoV no se transmite entre humanos”.

Respecto a esta propiedad, el investigador del INTA señaló: “Las características identificadas en el SARS-CoV-2 como posibles responsables de su mayor capacidad de contagio en el hombre posiblemente hayan derivado de la recombinación entre distintos coronavirus que coinfectaron a un mismo individuo y permitieron el intercambio de fragmentos discretos de genoma entre ellos”.

En este sentido, Pérez Filgueira aseguró que “la vigilancia epidemiológica para alertar sobre el surgimiento de estas nuevas variantes es fundamental ya que permitiría evaluar la evolución del virus y la potencial aparición de cadenas de transmisión locales”.

Nanómetro

De acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI), un nanómetro es la unidad de longitud que equivale a una mil millonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) o a la millonésima parte de un milímetro.

El virus, en detalle

El SARS-CoV-2 es un virus que pertenece a la familia *Coronaviridae* (orden *Nidovirales*). Estos virus se agrupan en dos subfamilias, *Letovirinae* y *Orthocoronavirinae*. Los miembros de la subfamilia *Orthocoronavirinae* se clasifican en cuatro géneros: *alpha-*, *beta-*, *delta-* y *gammacoronavirus*, según sus propiedades antigénicas y relación filogenética. Casi todos los *alpha-* y *betacoronavirus* (género que comprende al virus SARS-CoV) tienen hospedadores mamíferos, mientras que los *delta* y *gammacoronavirus* infectan generalmente aves.

“Esas glicoproteínas S, que sobresalen de la superficie viral, le sirven al virus para ingresar a la célula como si fueran llaves. De este modo, el virus logra invadir la célula y su maquinaria para multiplicarse” (M. Bok).

Cooperación internacional por “Una Salud”

Desde el 2000, la OMS, la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, por sus siglas en inglés) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) promueven el concepto “Una Salud” (One Health). Se trata de una iniciativa en la que tanto la salud humana como la sanidad animal son interdependientes y están vinculadas a los ecosistemas en los cuales coexisten.

“Está claro que las enfermedades que afectan a los animales tienen un impacto significativo en la salud pública, debido a que se pueden transmitir a las personas en forma directa o a través del consumo de alimentos contaminados”, señaló Pérez Filgueira quien advirtió que “esta pandemia es una llamada de alerta sobre la necesidad de coordinar las políticas de seguridad agroalimentarias en el mundo”.

“Desde el concepto de ‘Una Salud’ es fundamental revisar los métodos de producción animal intensivos para entender e identificar cuáles son los procesos que propician la aparición de este tipo de patógenos”, indicó el especialista del INTA y agregó: “Si no somos capaces de modificar nuestras prácticas de producción, respetando el medio ambiente natural para las producciones intensivas y estableciendo mejores estándares internacionales de seguridad agroalimentaria, esto va a volver a pasar”.

De acuerdo con un informe elaborado por la OIE, “el 60 % de los patógenos capaces de atacar al hombre y de causar zoonosis, es decir, enfermedades humanas de origen animal, provienen de los animales domésticos o salvajes. Combatir todos los patógenos zoonóticos controlándolos en la fuente animal es la solución más eficaz y más económica para proteger al hombre y requiere un enfoque político original que conduzca a inversiones específicas en materia de gobernanza, en particular, de la orientación de los recursos públicos y privados”, apunta el documento.

“Esta pandemia es una llamada de alerta sobre la necesidad de coordinar las políticas de seguridad agroalimentarias en el mundo”
(M. Pérez Filgueira).

De acuerdo con Marina Bok, especialista del Instituto de Virología del INTA, “el responsable de causar la pandemia es un virus cuyo genoma está integrado por una única molécula de ARN (ácido ribonucleico), es de cadena simple y de polaridad positiva”, y detalló: “A partir de esta molécula se traducen al menos 27

proteínas, incluidas 16 proteínas no estructurales y 4 proteínas estructurales, necesarias para cumplir el ciclo de replicación completo”.

Con una estructura mayormente esférica, los coronavirus tienen un tamaño que oscila de 50 a 200 nanómetros (nm) y un diámetro promedio de 120 nm. Diversos estudios sobre la secuencia del genoma del SARS-CoV-2 indican que posee aproximadamente 30.000 bases, lo que lo convierte en un virus muy grande. Esto, en términos generales, le aportaría mayor estabilidad y menor variabilidad.

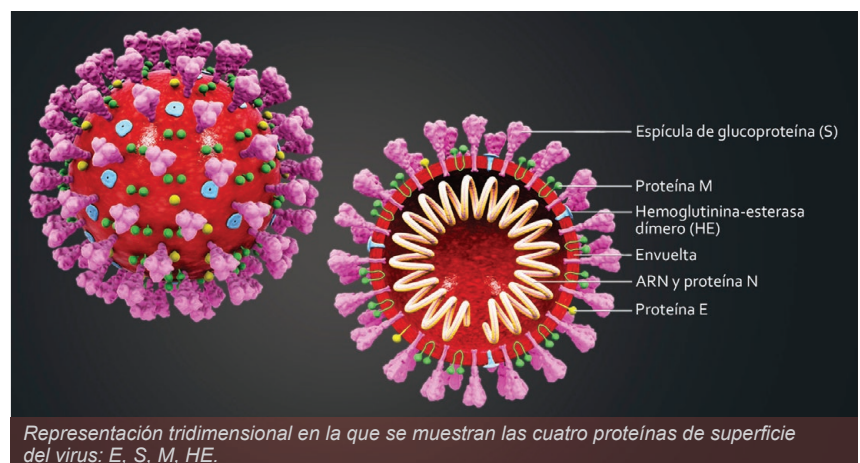
El virus está envuelto en una membrana lipídica a la cual se insertan las proteínas estructurales S, E y M. Su característica forma de corona se debe a las espículas (proteína S) que emergen de la envoltura en la superficie del virión. La glicoproteína S es, quizás, la que posee un rol destacado en la infección, debido a que es la que se proyecta en la superficie del virus y juega un papel central en la entrada a la célula blanco.

“Esas glicoproteínas S, que sobresalen de la superficie viral, le sirven al virus para ingresar a la célula como si fueran llaves. De este modo, el virus logra invadir la célula y su maquinaria para multiplicarse”, explicó Bok.

Más Información: Mariano Pérez Filgueira perez.mariano@inta.gob.ar; Marina Bok bok.marina@inta.gob.ar

Créditos: Imagen 1: Alissa Eckert, MS y Dan Higgins, MAM del Centers for Disease Control and Prevention's Public Health Image Library (CDC). Imagen 2: <https://www.scientificanimations.com>

El SARS-CoV-2 posee aproximadamente 30.000 bases, lo que lo convierte en un virus muy grande. Esto le aportaría mayor estabilidad y menor variabilidad.



BIOLOGÍA MOLECULAR

Un equipo de investigadores detectó coronavirus en murciélagos

Un estudio liderado por el Instituto de Virología del INTA demostró la circulación del virus en dos especies de murciélagos insectívoros de la Argentina. Es el primer reporte del virus en estos mamíferos en el país. La determinación requirió poner a punto una técnica RT-PCR, que detecta múltiples coronavirus de diferentes especies animales silvestres y domésticas.

POR DANIELA NOVELLI
FOTOS GENTILEZA INVESTIGADORAS

Los murciélagos son los únicos mamíferos capaces de volar y uno de los grupos más importantes en diversidad de especies y presencia en los ecosistemas: se los puede encontrar en desiertos, montañas, selvas, bosques y praderas, mientras que solo están ausentes en las regiones polares. En todo el mundo existen unas 1.400 especies –algunas se mueven en colonias y otras no–, más de 300 están en Sudamérica y 67 en la Argentina.

Hay murciélagos blancos, negros, marrones, amarillos y rojizos y sus fuentes de alimentación son variadas y abarcan todos los gremios tróficos. En términos ambientales, cumplen funciones de controladores biológicos, ya que, según las especies, colaboran en los procesos de polinización, control de insectos plaga y hasta en la diseminación de semillas que ayudan restaurar zonas boscosas o selváticas degradadas.

Además de la caracterización de las especies cuyo estudio se ha profundizado en los últimos años –sumados a los esfuerzos para su conservación–, el sistema inmunológico de los murciélagos resulta un interrogante para la ciencia, principalmente porque son hospedadores de múltiples virus que pueden contagiar a otros animales y a los seres humanos, pero no desarrollan síntomas

de enfermedad. La única excepción conocida hasta el momento es el virus de la rabia, que sí los afecta y puede causarles la muerte.

En esta línea, la bibliografía científica publicada indica que los murciélagos constituyen una de las mayores fuentes o reservorios de virus zoonóticos en el mundo. Se han reportado más de 60 virus que pueden ser transmitidos al ser humano por diferentes especies de estos mamíferos, entre los que se destacan la rabia, el ébola, y los coronavirus SARS y MERS –causantes de las pandemias en 2003 y 2013 originadas en Asia–.

Recientemente se identificaron nuevos virus de Influenza A (Bat-FLUAVs) en murciélagos de especies frugívoras de Guatemala y Perú. Este antecedente captó la atención de los investigadores del Instituto de Virología del INTA, quienes llevan adelante un programa de vigilancia activa del Virus de Influenza Aviar (AIV) en aves silvestres para hacer un seguimiento del virus en el hospedador natural en la Argentina.

La inquietud los llevó a formar un equipo junto con investigadores del Conicet, de la Universidad de Georgia (Estados Unidos), de la Universidad de Rosario, del Instituto de Recursos Biológicos del INTA y del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Ángel Gallardo” (Rosario, Santa

Fe), con los objetivos de realizar una vigilancia activa sobre diferentes especies de murciélagos que habitan en el país y evaluar la presencia de Bat-FLUAVs y coronavirus, ambos agentes infecciosos de rápida dispersión en seres humanos que causan severas infecciones respiratorias.

Basado en más de 200 muestras, el estudio no arrojó positivos para Bat-FLUAVs, pero sí demostró la circulación de coronavirus en dos especies de murciélagos insectívoros –*Tadarida brasiliensis* y *Molossus molossus*– provenientes de las provincias de Santa Fe y Córdoba respectivamente. Los primeros estudios de secuenciación de estos virus confirmaron la circulación de alpha-coronavirus diferentes en los murciélagos estudiados y que tienen poca similitud con alpha-coronavirus de otras partes del mundo.

Los murciélagos son hospedadores de múltiples virus que pueden contagiar a otros animales y a los seres humanos, pero no desarrollan síntomas de enfermedad.

“Esto indicaría que son únicos, que no han sido descriptos previamente y que, por lo tanto, son candidatos a más estudios”, observó Agustina Rimondi, responsable del Laboratorio Influenza del Instituto de Virología del INTA.

El hecho adquiere relevancia científica, debido a que se trata del primer reporte del virus en murciélagos en la Argentina. La determinación requirió la puesta a punto de una técnica RT-PCR que, a su vez, sirve para la detección de múltiples grupos de coronavirus (alpha, beta, gamma y delta, según su clasificación) en diferentes animales productivos (cerdos, bovinos y aves). Por su alcance, se la conoce como “RT-PCR Pancoronavirus”.

Rimondi destacó que “los hallazgos obtenidos demuestran la importancia de realizar vigilancia de enfermedades zoonóticas en los murciélagos que circulan en la Argentina, sobre todo para generar datos epidemiológicos en este reservorio animal, poco estudiado en nuestro país, que permitan anticipar una posible infección en los seres humanos”.

Con el apoyo de la Universidad de Georgia, los investigadores del INTA realizaron una búsqueda bibliográfica e identificaron un protocolo para el desarrollo de una técnica RT-PCR Pancoronavirus que detecta diferentes grupos de coronavirus en distintas especies (animales silvestres y de producción e, incluso, humanos). El protocolo, cuyos autores son Leen Vijgen, Elie Moës, Els Keyaerts, Sandra Li

y Marc Van Ranst, fue publicado en 2008 en el libro “SARS- and Other Coronaviruses. Laboratory Protocols”.

“El hallazgo nos pareció interesante porque era una técnica que podíamos reconstruir con los recursos que disponíamos en el INTA y que sabíamos que funcionaba para la detección de coronavirus en murciélagos”, explicó Rimondi.

Para comprobar la eficacia de la técnica reconstruida a partir de la bibliografía en el INTA, los investigadores recurrieron a muestras de casos positivos de coronavirus (ya confirmados) en aves, cerdos y bovinos. “Las pruebas corroboraron la presencia del virus y, por ende, permitieron validar que el sistema funcionaba y que iba a permitir la detección de coronavirus en murciélagos que los tuvieran”, destacó Rimondi.

Junto con Rimondi, el equipo de investigación está integrado por: Lucas Ferreri y Daniel Perez (*Poultry Diagnostic and Research Center*, Universidad de Georgia); Elisa Bolatti, Diego Chouhy y Adriana Giri (Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas de la Universidad Nacional de Rosario e Instituto de Biología Molecular y Celular del Conicet); Valeria Olivera (Instituto de Virología del INTA); Julieta Decarre (Instituto de Recursos Biológicos del INTA); Germán Saigo y Eugenia Montani (Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Ángel Gallardo” de Rosario y Programa de Conservación de los Murciélagos de

Argentina) y Violeta Di Domenica (Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina).

Cómo se realizó el estudio

El trabajo de campo se desarrolló entre enero y abril de 2017 a partir de la captura de murciélagos (directa y con red de niebla). Se tomaron muestras de heces y se efectuaron hisopados bucales y anales en murciélagos provenientes de Córdoba y Santa Fe. También se consiguieron otros datos como especie, sexo, edad relativa y condición reproductiva. Los materiales colectados en Córdoba fueron enviados por la investigadora Marcela Uhart, quien colabora en el programa de vigilancia de aves silvestres.

Las muestras se identificaron según especie, lugar y día y organizadas en pooles, que permitieron agilizar el análisis de laboratorio y disminuir los costos de procesamiento. En este caso, cada pool estuvo formado por cinco muestras de un mismo material de diferentes animales. “En el caso de los pooles con detección positiva del virus, se vuelve a la muestra original y se la analiza de manera individual”, apuntó Rimondi.

El material genético fue analizado mediante la técnica RT-PCR convencional específica para cada familia viral (Bat-FLUAVs y Pancoronavirus, respectivamente).

Como resultado del trabajo de campo, se lograron capturar 107 murciélagos



Los investigadores se propusieron realizar una vigilancia activa sobre diferentes especies de murciélagos que habitan en el país y evaluar la presencia de virus de Influenza A y coronavirus.

Vivir en colonia



El estudio no arrojó positivos para virus Influenza A, pero sí demostró la circulación de coronavirus en dos especies de murciélagos insectívoros de Santa Fe y Córdoba.

insectívoros de nueve especies; 58 en Santa Fe (especies *Tadarida brasiliensis*, *Eptesicus diminutus*, *Eptesicus furinalis*, *Eumops bonariensis*, *Eumops patagonicus*, *Molossus molossus* y *Molossus* sp.) y 49 en Córdoba (especies *Tadarida brasiliensis*, *Myotis dinellii* y *Myotis* sp.).

Se procesaron un total de 237 muestras: ninguna presentó Bat-FLUAVs. Por su parte, se detectó coronavirus en ocho pooles de heces, cuatro pooles de hisopado bucal y tres de hisopado anal, conformados por las especies *Tadarida brasiliensis*, *Eumops bonariensis*, *Molossus molossus*, *Molossus* sp., y *Myotis* sp.

“Las muestras positivas de *Tadarida brasiliensis* capturados en Rosario (Santa Fe) resultaron ser alpha-coronavirus, con poca similitud genética respecto de los alpha-coronavirus presentes en murciélagos asiáticos entre 2005 y 2010”, señaló Rimondi. Para lograr esta identificación, se realizó la secuenciación del amplicón obtenido y, gracias a la utilización de bases de datos de secuencias genéticas, se halló que era un

Tadarida brasiliensis es una especie insectívora de murciélagos, que se caracteriza por vivir en colonias formadas por miles de animales. En la Argentina, hay tres colonias de esta especie declaradas “Sitios Importantes para la Conservación de los Murciélagos (SICOM)” reconocidos por la Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos: “Escaba” en Tucumán, “La Cueva de los Murciélagos” en La Calera –Córdoba– y “Facultad de Derecho” en Rosario –Santa Fe–. “Esta última es la única emplazada en una ciudad y se trata de una colonia de hembras que vienen en el último período de la preñez o directamente a parir, pasan la lactancia de las crías y se van cuando las crías vuelan y consiguen alimento”, describió Montani. Según los registros históricos, esta colonia tiene más de 100 años en el lugar: el actual ático de la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional de Rosario (originalmente, el Palacio de Justicia).

Entre 2013 y 2014, se calculó la cantidad de individuos que integraba la colonia a partir de la metodología utilizada en un estudio anterior (1989-1990). La estimación señaló que, al final de la temporada, la colonia tiene alrededor de 30.000 animales, mientras que en el estudio previo el registro era de 64.000. “Esta disminución es concordante con la modificación del edificio, ya que en 2003 sufrió un incendio y se acotó en el espacio destinado al ático donde se ubica la colonia”, explicó Montani.

En Estados Unidos, hay estudios que indican que esta especie puede emigrar unos 1800 kilómetros. De acuerdo con esta estimación, podría pensarse que las colonias que habitan en la Argentina provienen de países limítrofes como Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia.

Cuando la colonia está en el ático, las crías se ubican en los ladrillos a la vista –quizás porque es una superficie de la que se pueden agarrar– y las hembras, en las cabriadas. “Además, esta especie tiene un sistema de maternidad en el que cada madre se ocupa de alimentar y acicalar a su cría, pero, cuando no están bajo su atención, hay hembras que ofician de cuidadoras de las crías”, especificó Montani.

Desde el punto de vista virológico, Bolatti afirmó que “pese al estrecho contacto que los murciélagos mantienen con los seres humanos en la ciudad, no se ha incrementado la aparición de enfermedades zoonóticas a gran escala”.

“Solo se reportaron algunos casos de rabia en humanos, en general por contagio de murciélago a un animal intermediario como gatos o perros”, detalló la investigadora, al tiempo que recomendó la vacunación de animales domésticos. Por su parte, “los casos que fueron provocados por la acción directa de murciélago a humano ocurrieron, principalmente, en chicos que quisieron tocar o agarrar animales que yacían tirados en el piso (síntomatología característica de cuando están enfermos de rabia)”.

alpha-coronavirus, con una baja identidad nucleotídica (83 %) con otras secuencias de alpha-coronavirus asiáticos.

De acuerdo con las observaciones de laboratorio, la investigadora detalló que “en los pooles compuestos por heces, se pudo identificar con mayor facilidad la presencia de coronavirus, más que en las muestras provenientes de hisopados anales y bucales”. Se cree que el principal motivo es que las heces constituyen un volumen mayor de material con carga viral para analizar en detrimento del que puede obtenerse a través de un hisopado.

Respecto del trabajo a futuro, la investigación apunta a avanzar en la caracterización genética de los virus hallados con el objetivo de profundizar el conocimiento de los coronavirus circulantes en murciélagos de la Argentina.

Murciélagos: controladores biológicos

Según la “Nueva guía de los murciélagos de Argentina”, publicada en febrero de 2020 por la Fundación Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina (PCMA), en la Argentina el

La determinación requirió la puesta a punto de una técnica RT-PCR que detecta múltiples grupos de coronavirus en especies animales silvestres y domésticas.

El hecho adquiere relevancia científica, debido a que se trata del primer reporte del virus en murciélagos en la Argentina.

número de especies sigue creciendo a medida que se extienden los estudios sobre el grupo de mamíferos. De las 61 especies citadas en 2009, en la actualidad se identifican 67 especies, pertenecientes a 29 géneros y cinco familias. Recientemente se incorporó una familia, los embalonúridos (Emballonuridae).

En el país, al igual que en el mundo, hay especies de todos los gremios tróficos: frugívoras (frutas), nectarívoras (néctar), insectívoras o artropodófagas –predominantes en cantidad–, pescadoras, carnívoras y hematófagas. En cuanto a su comportamiento, hay algunas que se organizan en colonias, otras que forman refugios y otras más solitarias. Algunas son más comunes de las zonas rurales y otras, de las zonas urbanas.

En esta línea, Eugenia Montani –investigadora del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Ángel Gallardo” de Rosario– destacó que “las especies insectívoras regulan las poblaciones de insectos perjudiciales para la agricultura, acción que evita que algunas especies se conviertan en plagas de cultivos, y de otros que son vectores de enfermedades como malaria y fiebre amarilla, que afectan a humanos y animales”.

Entre los ejemplos de balance ambiental, Montani –quien también forma parte del Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina (PCMA)– explicó que “las especies frugívoras contribuyen como reguladores de comple-

jos procesos ecológicos en los bosques tropicales y son fundamentales para la diseminación de semillas que ayudan a propagar plantas y restaurar zonas boscosas o selváticas degradadas”.

Asimismo, la investigadora se refirió al rol que cumplen algunas especies de murciélagos en México, debido a que se encargan de la polinización de las plantaciones de agaves utilizadas para la producción de aguardientes como mezcal y tequila.

De acuerdo con la “Nueva guía de los murciélagos de Argentina”, los murciélagos “tienen un gran potencial como indicadores de niveles de intervención en el hábitat, y pueden ofrecer una buena visión del estado de conservación de un ecosistema, debido a que explotan diferentes recursos tróficos”.

Además, la publicación afirma que los animales “viven mucho tiempo y tienen bajas tasas de reproducción y ciclos poblacionales”. Y agrega: “Estas características los hacen vulnerables en hábitats modificados y, como consecuencia, la alteración del hábitat ha llevado a la declinación de muchas de sus poblaciones naturales, algunas en peligro o amenazadas”.

La PCMA forma parte de la Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos (RELCOM), que tiene líneas de trabajo en 22 países.

Murciélagos: reservorios virales

Para Elisa Bolatti, investigadora de la Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas de la Universidad Nacional de Rosario, los murciélagos son los únicos mamíferos capaces de volar, tienen un metabolismo muy bajo –porque lo necesitan para el vuelo– y su sistema inmune está adaptado a esa capacidad.

“Se ha visto que son portadores de microorganismos, entre los que se destacan una diversidad de virus, para los que no desarrollan ningún tipo de enfermedad, es decir, los llevan, pero no manifiestan sintomatología”, señaló Bolatti, quien también trabaja en el Instituto de Biología Molecular y Celular del Conicet en Rosario –Santa Fe–. Y añadió: “La excepción son los virus del género *Lyssavirus*, más conocido como virus de la rabia, que les provoca un cuadro de desmejoramiento que los conduce a la muerte”.

Estas características hacen que los murciélagos tengan infecciones persis-

tentes y sean capaces de llevar una gran cantidad de virus. A su vez, “hay otros factores asociados con la biología de la especie que promueven la dispersión geográfica de los virus y la posibilidad de que muchos virus lleguen a colonizar nichos u otras especies con más facilidad respecto de la capacidad de otros animales hospedadores”, explicó Bolatti.

Entre los factores biológicos asociados, se destacan la capacidad de los murciélagos para volar y trasladarse de un lugar a otro, la tendencia a movilizarse agrupados en colonias (según la especie), su amplia distribución en el mundo y la existencia de diferentes especies (más de 1.200 en el planeta).

A este orden, debe sumarse que muchos de los virus que contraen, como el coronavirus, tienen la capacidad por sí mismos de mutar y de adaptarse a diferentes especies. “Esta compleja conjunción de factores hace que muchas de las enfermedades zoonóticas tengan su hospedador natural en el murciélago”, resumió Bolatti.

Los coronavirus pertenecen a una gran familia de virus llamada *Coronaviridae*, que se divide en dos subfamilias: *Torovirinae* y *Coronavirinae*. Los miembros de la subfamilia *Coronavirinae* se clasifican en cuatro grupos o géneros: alpha-, beta-, gamma- y delta-coronavirus según sus propiedades antigénicas y relación filogenética. Casi todos los alpha- y beta-coronavirus tienen hospedadores mamíferos, los gammacoronavirus –en general– infectan aves y los delta-coronavirus recientemente han sido hallados en aves y cerdos.

En el caso de los murciélagos, registran alpha- y beta-coronavirus específicos. “El salto del virus del animal al ser humano es consecuencia directa de la acción humana en su avance hacia el ecosistema”, afirmó Bolatti, quien agregó: “Si bien hay ciertos factores asociados con la biología de los murciélagos que facilitan la dispersión del virus e, incluso, la existencia de especies ‘urbanas’ que tienen su hábitat en la ciudad, en términos generales no debería suceder ese salto, ya que son animales que evaden cualquier tipo de contacto”.

Más información: Agustina Rimondi rimondi.agustina@inta.gob.ar; Eugenia Montani euge.montani@gmail.com; Elisa Bolatti elisabolatti@gmail.com

UNIDAD CORONAVIRUS COVID-19

Cómo es el trabajo de los investigadores que enfrentan la pandemia

En una colaboración sin precedentes, científicos de distintas disciplinas –entre los que se encuentran profesionales del INTA– trabajan en el desarrollo de herramientas que faciliten y aceleren el diagnóstico del virus, a escala local.

POR CECILIE ESPERBENT
FOTOS: GENTILEZA JUAN SCHAMMAS
FOTOGRAFÍA INTA CASTELAR

Investigadores de todo el mundo, día tras día, comparten la información genética de este virus con el objetivo de entender cómo funciona y cuáles son los mecanismos que utiliza para infectar células humanas. Es que comprender su biología será clave para su contención y el diseño de un tratamiento que detenga su avance.

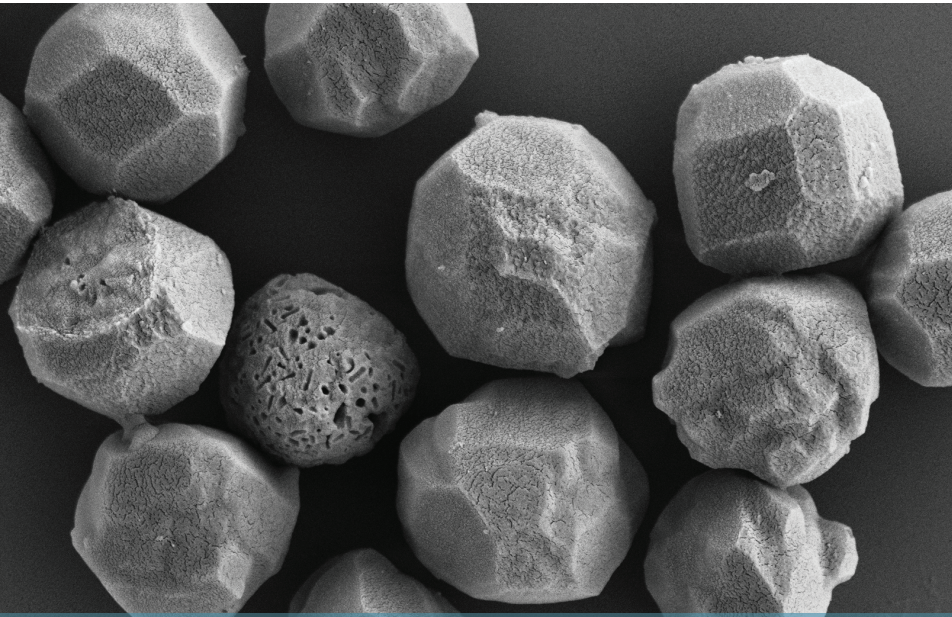
En este sentido, el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Conicet y la Agencia Na-

cional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación conformaron la Unidad Coronavirus COVID-19. Se trata de un equipo de trabajo integrado por médicos y científicos de diversas disciplinas que, en coordinación con institutos y centros de investigación, universidades y empresas de base tecnológica, se enfocarán en la realización de test para diagnósticos, asesoramiento técnico al Poder Ejecutivo y el desarrollo

“Estamos trabajando en la obtención de baculovirus recombinantes –a partir de células de insectos– que nos permitan el desarrollo y la expresión de proteínas” (O. Taboga).



De izq. a der. Irene Alvarez -responsable técnico-, Karina Trono, María José Dus Santos -responsable técnico-, y Juan Schammas.



Baculovirus, una de las herramientas posibles contra el COVID-19.

“Los baculovirus son virus de ADN que infectan exclusivamente a insectos, principalmente de polillas y de mariposas”
(O. Taboga).

“En la actualidad, se utilizan como vectores de expresión recombinante y como bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas”
(O. Taboga).

de equipamiento, insumos médicos y de aplicaciones para el tratamiento.

En cuanto al desarrollo estrategias para colaborar en el diagnóstico rápido del SARS-CoV-2, hay varios proyectos de investigación en marcha: además de la técnica PCR (aprobada por la OMS para el COVID-19), existen los que se enfocan en la detección de ácido nucleico del virus o detectan la respuesta inmune luego de la exposición al virus, entre otros. Entre ellos, diversos equipos de investigadores del INTA se encuentran abocados al desarrollo de herramientas que faciliten y aceleren el diagnóstico del virus.

Oscar Taboga es biólogo y se dedica al estudio de los virus que afectan sobre todo la producción animal –su tesis de posgrado estuvo enfocada en el desarrollo de vacunas recombinantes contra la fiebre aftosa–. En la actualidad, es el director del Instituto de Biotecnología que el INTA tiene en la localidad de Hurlingham –Buenos Aires– e investiga los baculovirus y su uso como herramientas de expresión de proteínas recombinantes y sus potencialidades como vector vacunal, entre otros aspectos.

“Estamos trabajando en la obtención de baculovirus recombinantes –a partir de células de insectos– que nos permitan el desarrollo y la expresión de proteínas”, indicó Taboga y agregó: “Esas

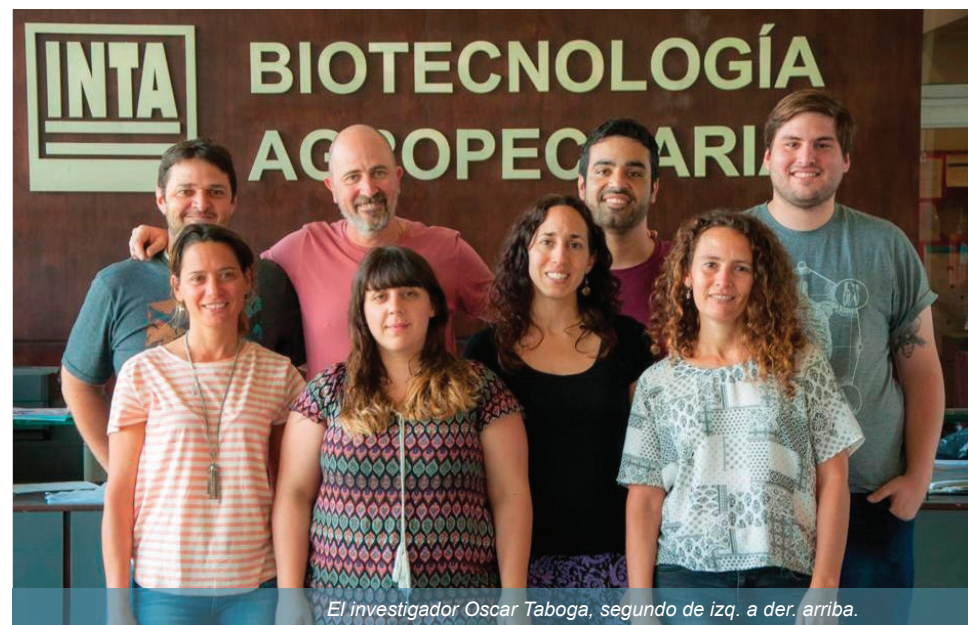
proteínas van a servir para el desarrollo de test serológicos rápidos (detección de anticuerpos) o para test serológicos convencionales, como los ELISA, que si bien no son rápidos sirven para procesar miles de muestras al mismo tiempo”.

“Es importante que todos trabajemos de manera coordinada y sumemos esfuerzos para avanzar de la manera más rápida y eficiente posible en la búsqueda y el desarrollo de herramientas que nos permitan identificar y combatir el virus”, expresó el investigador del INTA.

Enfoque estratégico

Si bien los virus existen en el planeta desde mucho antes que los animales y el hombre, en los últimos años, su capacidad de adaptación y velocidad de multiplicación, sumado a la posibilidad de desencadenar emergencias sanitarias en todo el planeta, los pusieron en el ojo de la tormenta.

Sin embargo, al igual que las bacterias, muchos virus resultan de utilidad para los científicos e incluso –algunos– pueden contribuir a la lucha contra el SARS-



El investigador Oscar Taboga, segundo de izq. a der. arriba.

El INTA se suma al diagnóstico de COVID-19

Con una agenda marcada por la emergencia sanitaria, Daniel Gollán –ministro de Salud de Buenos Aires– y Susana Mirasou –presidenta del INTA– firmaron un convenio para avanzar en el diagnóstico de la enfermedad causada por coronavirus. El acuerdo tiene una duración de dos años y establece que el organismo aporta los laboratorios y el personal calificado, mientras que la cartera de Salud suministra los kits, los reactivos y los elementos de protección personal necesarios para el trabajo seguro.

“El Instituto cuenta con instrumento de RT-PCR en tiempo real, cabinas de seguridad biológica tipo II certificadas y el equipamiento necesario para el diagnóstico de COVID-19”, señaló Karina Trono, directora del Instituto de Virología del INTA, y agregó: “Tenemos una capacidad para analizar hasta 100 muestras por día”.

En este sentido, Juan Manuel Schammas –responsable de Bioseguridad del Laboratorio de Contención Biológica– aseguró que todos los profesionales del INTA involucrados en este convenio están capacitados en bioseguridad y en los protocolos de diagnóstico y de trazabilidad. “Garantizamos el personal calificado para biología molecular entrenados en las normas y procedimientos de Vigilancia y Control de Enfermedades de Notificación Obligatoria”, señaló.

Por su parte, el Ministerio de Salud suministra los kits de RT-PCR específico para COVID-19 necesarios para el diagnóstico de COVID-19. Asimismo, provee los reactivos para extracción de ácidos nucleicos, los elementos de Protección Personal (EPPS) para garantizar el trabajo seguro del personal que intervendrá en las distintas etapas del proceso de diagnóstico y otros materiales de laboratorio.



En este caso, los baculovirus serán utilizados como vector para la expresión de proteínas recombinantes. “Esto es posible gracias a la cooperación internacional, porque para expresar una proteína recombinante es necesario tener el fragmento de virus que codifica esa proteína metido en una molécula de ADN y esos plásmidos fueron cedidos por Florian Kramer, investigador del departamento de Microbiología de la Escuela de Medicina Icahn, del Hospital Mount Sinai –Nueva York, Estados Unidos–”, reconoció Taboga.

La ruta de la muestra

El Laboratorio de Contención Biológica que posee el Instituto de Virología del INTA es uno de convocados por el Ministerio de Salud para colaborar en el análisis de las muestras enviadas desde toda la provincia de Buenos Aires.

Equipado con las herramientas y la tecnología necesaria, sumado a protocolos de bioseguridad, el laboratorio cumple con los estándares para Nivel de Seguridad Biológica 4 de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) –el máximo en su tipo en el área veterinaria–. Esto significa que está preparado para trabajar con agentes peligrosos y exóticos que poseen un riesgo alto de producir infecciones letales.

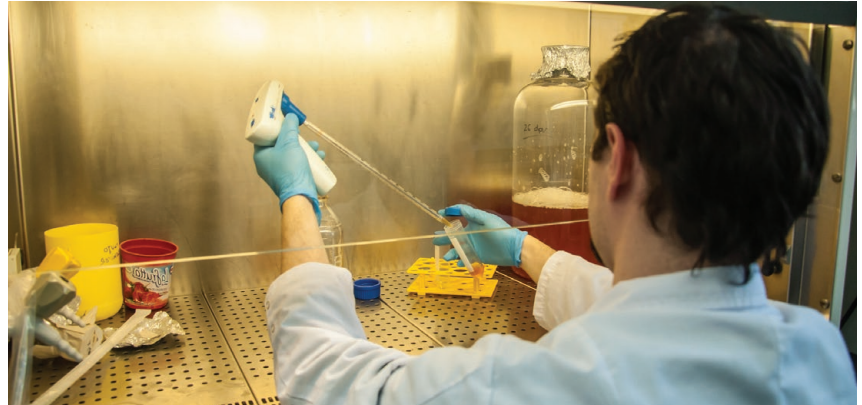
El Laboratorio de Contención Biológica que posee el Instituto de Virología del INTA cumple con los estándares para Nivel de Seguridad Biológica 4 de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) –el máximo en su tipo en el área veterinaria–

CoV-2, como los baculovirus (*Baculoviridae*), una clase de virus de insecto.

“Los baculovirus son virus de ADN que infectan exclusivamente a insectos, principalmente de polillas y de mariposas”, explicó Taboga y ejemplificó: “En la actualidad, se utilizan como vectores de expresión recombinante y como bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas, constituyendo una promisoriosa herramienta en la reducción del uso de insecticidas químicos”.

Más allá del uso agropecuario, el investigador del INTA busca adaptar esta herramienta para, en un futuro, diagnosticar personas infectadas con COVID-19. “Una vez introducido el gen de interés en el genoma del virus, este se puede utilizar para producir grandes cantidades de proteínas recombinantes”, explicó y agregó: “Esas proteínas servirán para la producción de los test de diagnóstico, a bajo costo y en apenas unas semanas”.

“En el país, solo hay dos instalaciones públicas –la del Senasa y la del INTA– con estas características; y la del INTA está habilitada para recibir y procesar las muestras derivadas de casos sospechosos de COVID-19” (K. Trono).



“En el país, solo hay dos instalaciones públicas –la del Senasa y la del INTA– con estas características; y la del INTA está habilitada para recibir y procesar las muestras derivadas de casos sospechosos de COVID-19”, expresó Karina Trono, directora del Instituto de Virología del INTA.

En cuanto a los protocolos de trabajo para la recepción y análisis de las muestras, Trono detalló cuál es la ruta segura que recorre cada paquete remitido cuando ingresa al predio del INTA.

“En la entrada, los que reciban la muestra son profesionales del INTA capacitados en bioseguridad y en los protocolos de diagnóstico y de trazabilidad”, indicó Trono y aclaró: “El operador que recibe la muestra en un triple envase, lo hace siempre cumpliendo los protocolos de seguridad establecidos por el Malbrán y

la OMS, debe rociar el contenedor con desinfectante y enviarlo al laboratorio de seguridad biológica”.

Una vez adentro del área de bioseguridad y dentro de una cabina de seguridad biológica, se abre el envase y se realiza un tratamiento para inactivar la muestra –ya no posee riesgo biológico–. Luego se procede a su análisis mediante la técnica PCR. “Esta técnica nos permite ver, en tiempo real, si está presente o no el virus en la muestra enviada”, afirmó Trono y aclaró: “Los resultados son informados directamente al Ministerio de Salud, mediante un sistema informático *ad hoc* habilitado para toda la red de laboratorios que actualmente realiza el diagnóstico”.

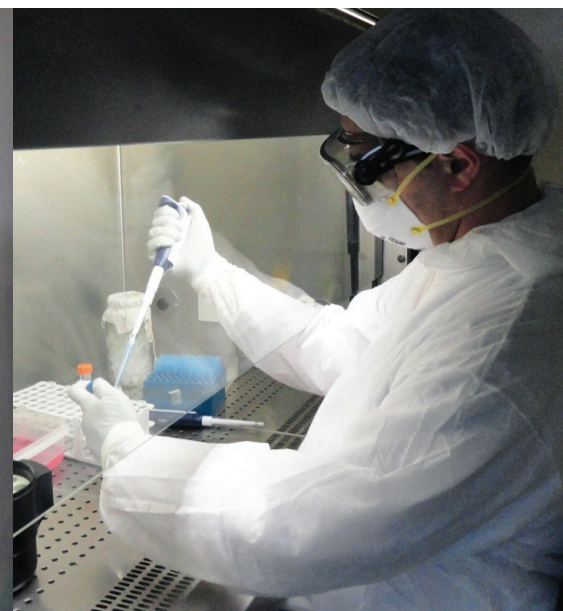
Con todo esto, el Instituto de Virología asegura el camino de la muestra mien-

PCR

La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) es una técnica de laboratorio que permite amplificar pequeños fragmentos de material genético de ADN o ARN y así identificar patógenos que causan enfermedades. En este caso, es usada para detectar el SARS-CoV-2, responsable de la pandemia actual.

tras tiene riesgo biológico, desde la llegada hasta la inactivación. Durante todo el recorrido, Juan Manuel Schammas, responsable de Bioseguridad de esa unidad, asegura que se cumpla el protocolo.

Más información: Oscar Taboga taboga.oscar@inta.gov.ar; Karina Trono trono.karina@inta.gov.ar



COVID-19

“El INTA tiene capacidades que pueden ser utilizadas por el sistema de salud”

Así lo reconoce Ariel Pereda, responsable de coordinar con otros organismos del sistema científico y tecnológico argentino la disponibilidad de investigadores, infraestructura y recursos para ofrecer como segunda línea de contención para el diagnóstico de la enfermedad COVID-19.

POR MARIO MIGLIORATI
FOTOS: GENTILEZA FOTOGRAFÍA CNIA

Las capacidades desarrolladas por el INTA en los últimos años respecto de enfermedades zoonóticas, como es este nuevo coronavirus, le permite responder a la demanda de los ministerios nacionales de Salud y de Ciencia, Tecnología e Innovación para colaborar en esta crisis sanitaria por COVID-19. Pero cómo, dónde y con quiénes lo hará posible son las preguntas que Ariel Pereda, coordinador del programa de Salud Animal del INTA e investigador del Conicet, responde a lo largo de la entrevista con Revista RIA.

“El INTA ha ofrecido sus capacidades para colaborar en el diagnóstico de esta enfermedad desde distintas estaciones experimentales e institutos de investigación”, explica y remarca: “Esto va a permitir poder ofrecer en una segunda línea de contención el diagnóstico de la enfermedad COVID-19”.

Además de contar con la capacidad de evaluar el impacto que tiene esta enfermedad en la población, el instituto preparó propuestas que integraron la convocatoria de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, dependiente de la cartera de ciencia y técnica, orientadas al desarrollo de insumos necesarios tanto para el control como para el monitoreo de esta enfermedad.

En lo que hace a anticuerpos y proteínas, el INTA cuenta con plataformas



de secuenciación y bioinformática para poder comprender la epidemiología molecular del coronavirus, y suma capacidades para disponer de estrategias basadas en interferones, hasta el estudio de extractos vegetales con capacidad antiviral.

Asimismo, otras líneas de desarrollo se enfocan en la posibilidad de avanzar en la inactivación viral en distintas superficies así como el tratamiento en frutas, verduras y hortalizas para poder bajar la carga viral; destacándose la asistencia a hospitales y centros de salud y los proyectos orientados a generar los insumos críticos para contar con un kit serológico y anticuerpos, con potencialidad de ser utilizado en inmunidad pasiva.

¿Qué realidad pone en evidencia la pandemia global de COVID-19?

Esta crisis tiene características similares al 80 por ciento de las últimas emergencias sanitarias complejas en salud pública de los últimos 30 años y que han tenido origen animal. Ya que son enfermedades que pasan de los animales a los humanos. Podemos citar desde el SARS (síndrome respiratorio agudo severo, por sus siglas en inglés), similar al virus que está circulando, el MERS (síndrome respiratorio de oriente medio), pero también la influenza, el virus del Ébola y hasta Escherichia Coli O157: H7. Son un importante número de enfermedades que cruzaron la barrera de los animales a las personas por diversos motivos, pero,



“La emergencia de este nuevo coronavirus tiene sus consecuencias en los cambios en la relación entre los humanos y los animales”.

“El INTA cuenta con la capacidad y preparación para integrar la segunda línea de contención diagnóstica”.

principalmente, por los desequilibrios ecológicos y ambientales y hábitos de consumo particulares que llevaron a un aumento de los desafíos sanitarios a los que se enfrenta la humanidad.

Pone mucho énfasis en la relación entre humanos y animales...

Sin lugar a dudas. La emergencia de este nuevo coronavirus tiene sus consecuencias en los cambios en la relación entre los humanos y los animales. Esto hace que las producciones animales estén más cerca de la gente, así como los cambios climáticos hacen a la modificación en la dinámica poblacional de especies silvestres y la interacción de éstas con especies domésticas. Todo esto llevó a que en las últimas tres décadas el mayor porcentaje de las crisis sanitarias hayan sido consecuencia de zoonosis.

En este escenario, ¿cuál es el ámbito de intervención del INTA?

Lo primero, tal como lo han afirmado las autoridades del instituto, en el marco de la emergencia sanitaria por COVID-19 en la cual estamos inmersos, se contribuirá desde una perspectiva rigurosa y comprometida con la comunidad. El INTA pone a disposición más de 60 profesionales que se capacitaron con la Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud ANLIS “Dr. Carlos G. Malbrán” y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) permitiendo la

descentralización de laboratorios que puedan diagnosticar COVID-19.

Además, por solicitud del Ministerio de Salud de la Nación se seleccionaron ocho laboratorios en todo el país con experiencias complementarias relativas a esta emergencia para que, en caso de que el sistema de salud pública lo requiera, estén disponibles para realizar análisis por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) en tiempo real, técnica actualmente utilizada en la Argentina y recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

¿Cómo se prepara la institución para enfrentar esta pandemia?

El INTA cuenta con la capacidad y preparación para integrar la segunda línea de contención diagnóstica en caso de que el Sistema de Salud así lo requiera. Es sumar desde la colaboración y trabajo conjunto específico en la temática que hoy nos convoca. Desde hace años, diferentes grupos de salud animal del INTA a lo largo del país han sumado experiencia en diagnóstico, epidemiología, inmunología y diversas estrategias de control de diferentes patógenos, in-

Investigadores y laboratorios preparados

La capacitación recibida, la infraestructura y las normas necesarias de bioseguridad para realizar ensayos diagnósticos en muestras de pacientes infectados, le permiten al INTA estar preparado como “segunda línea de contención del diagnóstico”, según Ariel Pereda.

Con ANLIS-Malbrán se coordinó la capacitación *online* de profesionales del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido situado en Salta, de las Estaciones Experimentales Agropecuarias (EEA) de Bariloche, Balcarce, Rafaela y Marcos Juárez, y de los institutos de Virología, Biotecnología y Patobiología del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INTA Castelar.

Actualmente se coordina para incluir a la EEA Concepción del Uruguay en este grupo de laboratorios. Todos los laboratorios nombrados poseen la infraestructura y equipamiento, como el conocimiento de manejo de muestras biológicas, necesarios para responder al protocolo recomendado por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) para la detección cualitativa del SARS-CoV-2 en muestras respiratorias.



“Tiene distintas unidades en el país con la infraestructura y la tecnología necesaria para poder hacer frente al diagnóstico de COVID-19”.

cluso en virosis de transmisión aerógena y en coronavirus. En la presente crisis nos encuentra mejor preparados para brindar apoyo y sustento científico a las acciones que se vayan requiriendo para mitigar el impacto social y productivo que pudiera generar la emergencia del COVID-19 a nivel local.

¿Desde dónde se posiciona el INTA?

El trabajo del INTA es fundamental en lo que entendemos como concepto de “Una Salud”. Es preciso que comprendamos que en estos complejos desafíos ya no pueden enfrentarse sino es desde esta perspectiva. A pesar del corto tiempo desde que apareció este nuevo patógeno en humanos, a finales del año 2019, ya contamos con conocimientos sobre el origen del virus SARS-CoV-2 que causa la enfermedad COVID-19, y sabemos que su origen es la fauna silvestre. Hoy es imprescindible comprender la complejidad de tener un abordaje conjunto entre la salud animal, la ambiental y la pública. Ahora bien, ¿cuál es la importancia de que contar con científicos que trabajen en salud animal? Trabajar en esta fron-

tera permite entender la interfase entre lo que pasa en las especies animales y, a su vez, estudiar el potencial de lo que puede suceder en los humanos.

Hablamos de las capacidades del INTA en términos históricos: patología animal, diagnóstico especializado, vigilancia epidemiológica, desarrollo de tecnología para el control, asesoramiento para políticas públicas; y las estructurales con las que cuenta: una Red de Laboratorios de Diagnóstico Veterinario y la excelencia de sus investigadoras e investigadores. Es importante destacar esto frente a una enfermedad como el COVID-19 que, inicialmente, es un patógeno transmitido de los animales al hombre, una zoonosis.

Ahora bien, ¿cómo se interviene frente la pandemia de COVID-19?

Como parte de Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación nacional, el INTA aporta la capacidad de sus investigadores, profesionales y técnicos y, además, la infraestructura que pone a disposición del sistema de diagnóstico montado a nivel nacional. Tiene distintas unidades en el país con la infraestructura y la tecnología necesaria para poder hacer frente al diagnóstico de COVID-19. Y, también, con productos surgidos del trabajo y los desarrollos científicos técnicos que miran a los animales como potencial foco de patógenos, en cuanto a que pueden cruzar la barrera y afectar a la salud pública. Debemos tener en cuenta que los coronavirus son patógenos que están indicados desde hace mucho tiempo como de gran potencial pandémico.

¿Qué insumos críticos aportará para afrontar esta situación?

El INTA puede generar insumos críticos en colaboración con otros organismos de ciencia y técnica. Esto nos permite colaborar en el desarrollo de diferentes herramientas: un kit serológico, anticuerpos con potencialidad de ser utilizado en inmunidad pasiva, plataformas de secuenciación y bioinformática, estrategias basadas en interferones, hasta el estudio de extractos vegetales con capacidad antiviral. Por ejemplo, el primero permite evaluar el impacto que tiene esta enfermedad en la población mediante el análisis de los rastros que deja el virus en el sistema inmune de la persona que fue afectada.

Como insumos críticos para estos desarrollos el INTA aporta las plataformas de expresión en baculovirus, células de mamífero, generación de pseudovirus, nanoanticuerpos VHH, IgY de aves de corral, sueros policlonales en animales de laboratorio, plataformas de secuenciación, genómica y epidemiología molecular y conocimientos en inmunología. Una tarea para la cual se contará con el conocimiento y los estudios en bovinos,

“El INTA puede generar insumos críticos en colaboración con otros organismos de ciencia y técnica”.

en aves domésticas y silvestres, en porcinos y hasta en murciélagos.

¿Cuál es el contexto de colaboración para el desarrollo de estas herramientas?

Desde el Programa de Salud Animal de INTA potenciamos las diferentes propuestas desde la sinergia de las capacidades existentes en la convocatoria para proyectos denominada IP-COVID-19 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

En este desarrollo de un kit ELISA para control serológico hay instituciones que van a aportar sus capacidades, donde el INTA estará generando sus aportes. Por lo pronto, trabajamos a través de INCUINTA (plataforma técnico-organizativa para el desarrollo de proyectos tecnológicos del INTA) en la producción de nanoanticuerpos VHH de llama para terapias, dado que estos nanoanticuerpos sirven para varios agentes virales de impacto en salud humana, animal y vegetal.

De todas maneras, muchos de estos procesos o tecnologías tienen su tiempo de desarrollo y, además, deben pasar por los procesos regulatorios estrictos de la ANMAT para poder llegar a los pacientes. Pero sabemos, por ejemplo, que a la plataforma de producción de nanoanticuerpos VHHs la podemos aplicar para varios agentes virales como es el SARS-CoV-2, ya que conocemos la capacidad de esta herramienta contra rotavirus A, norovirus, influenza A, virus de la diarrea viral bovina y virus del mal de río cuarto del maíz.

¿Qué desafíos fueron clave para poder hoy enfrentar esta crisis sanitaria?

Sin duda, lo primero es hacer previsiones y anticiparse a estas crisis sanitarias. Desde el surgimiento del virus de SARS, en 2003, sabíamos del riesgo que representaban muchos patógenos como, por ejemplo: el coronavirus y el virus de influenza. Por eso esta pandemia no nos sorprendió, ya que entendíamos que podía cruzar la barrera y afectar la salud pública, por eso continuaron las investigaciones en el tema. Ya en 2006 se comenzaron a desarrollar

capacidades y se montó un sistema de detección y vigilancia de virus Influenza en aves silvestres en los laboratorios de Concepción del Uruguay –Entre Ríos–, Balcarce y Castelar –Buenos Aires–. Los análisis de riesgo indicaban que eran las aves silvestres acuáticas por donde podría ingresar este patógeno a las aves comerciales.

Y en animales de producción, ¿cuándo se inician los estudios que acompañan la vigilancia?

La vigilancia de virus influenza en aves domésticas es una actividad exclusiva del SENASA. En 2007 se comenzó con las tareas de vigilancia de influenza en cerdos y para cuando llegó el virus de

Influenza A H1N1, el INTA tenía la capacidad de detectar el virus de influenza en cualquier especie animal, incluida la humana. En ese momento el INTA aportó apoyo y tecnología al ANLIS-Malbrán para la detección de los primeros casos en el país.

El INTA tiene capacidades que pueden ser utilizadas por el sistema de salud, ya que están desarrolladas y tienen el potencial necesario para hacer frente a cualquier eventualidad o crisis sanitaria, como la que experimentamos hoy con el coronavirus.

Más información: Ariel Pereda
pereda.ariel@inta.gob.ar



Shallot virus X: a hardly known pathogen of the genus *Allium*

GRANDA JARAMILLO, R.¹; FLORES, F.²

ABSTRACT

Crops belonging to the genus *Allium*, family Amaryllidaceae, are economically important and are widely cultivated around the globe. Some of the most problematic diseases of these crops are caused by members of three virus genera, Potyvirus, Carlavirus and Alexivirus. Shallot virus X (ShVX) is an Alexivirus that was first discovered in Russia in the nineties and it has since been described worldwide. The virus, transmitted mechanically or by the dry bulb mite (*Aceria tulipae*), affects virtually all members of the genus *Allium* and it causes yield reductions on these crops. ShVX is a positive-sense single-stranded monopartite RNA virus that contains six open reading frames (ORFs). The virus is mainly detected by RT-PCR but there are other serological and molecular techniques available for diagnosis. There are no methods described for managing crops infected by ShVX in the field, but tissue culture of meristems can render virus-free plants. Research on the ShVX-*Allium* pathosystem is needed for a comprehensive understanding of the physiological and molecular mechanisms used by the virus to infect its hosts and for developing methods for the effective control of viral infections.

Keywords: Alexivirus, ShVX, RT-PCR, onion, garlic.

RESUMEN

Los cultivos del género *Allium*, familia Amaryllidaceae, son económicamente importantes y ampliamente sembrados alrededor del mundo. Algunas de las enfermedades más problemáticas de estos cultivos son ocasionadas por virus de tres géneros, Potyvirus, Carlavirus y Alexivirus. Shallot virus X (ShVX) es un Alexivirus que fue descrito por primera vez en Rusia en la década de los noventa y desde entonces se ha descrito su presencia a nivel mundial. El virus, transmitido mecánicamente o por el eriódido de los bulbos (*Aceria tulipae*), afecta prácticamente a todos los miembros del género *Allium* ocasionando la disminución en la producción de estos cultivos. ShVX tiene un genoma monopartito representado por una cadena simple de ARN de polaridad positiva con seis marcos abiertos de lectura (ORFs). El virus se detecta principalmente por RT-PCR, pero existen otros métodos serológicos y moleculares disponibles para su diagnóstico. No existen métodos descritos para el manejo de plantas infectadas con ShVX en el campo, sin embargo se ha determinado que el cultivo de tejidos meristemáticos puede producir plantas libres de virus. Es necesario desarrollar investigaciones en el patosistema ShVX-*Allium* para lograr un entendimiento general sobre los mecanismos fisiológicos y moleculares que utiliza el virus para infectar a su hospedero y para desarrollar métodos para el control efectivo de las infecciones virales.

Palabras clave: Alexivirus, ShVX, RT-PCR, cebolla, ajo.

¹Universidad UTE, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Quito, Ecuador. Correo electrónico: roberto.granda@ute.edu.ec

²Centro de Investigación de Alimentos, CIAL, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad UTE, 171029 Quito, Ecuador; Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 170501 Sangolquí, Ecuador.

INTRODUCTION

The genus *Allium*, family *Amaryllidaceae*, includes several plant species that are native to the northern hemisphere and are distributed through Europe, Asia, North America, and the north of Africa (Li *et al.*, 2010; Phillips, 2010). Most *Amaryllidaceae* species grow in temperate zones, some can grow in the tropics and a few, like *A. schoenoprasum*, may grow in the arctic (Pastor and Valdes, 1983). Plants within this family are characterized by the uniformity of their floral structures despite the variability present in the morphology of other plant parts. Among the 2800 species belonging to the family *Amaryllidaceae*, only species within the *Allium* and *Asparagus* genera have agronomical importance (García *et al.*, 2011). Onion (*A. cepa*), garlic (*A. sativum*), shallot (*A. cepa* var. *ascalonicum*) and leek (*A. ampeloprasum* var. *porrum*) are the most widely consumed *Allium* species worldwide (Rabinowitch, 2017). They have several medicinal uses, including treatment for diabetes, fever, jaundice, spleen enlargement, etc. (Sujitha *et al.*, 2016). In South America these crops are planted in tempered valleys and Andean territories with moderately cold climates, close to distribution centers (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca-MAGAP, 2013). In the Andean region, *Allium* crops are socio-economically important due to the direct or indirect workforce associated with their production.

Allium vegetables are the fourth most abundant group of commercially produced non-leguminous vegetables (FAO, 2016). The worldwide demand for bulb onion has been growing constantly showing a 70 % increase from 2000, when 50 million ton were produced, to 2014, when production reached 85 million ton (Boon, 2015). The leading exporters include The Netherlands, China, Mexico, India, USA, Egypt, Spain, New Zealand and Argentina. The main importers are USA, United Kingdom, Malaysia, Germany, Saudi Arabia, Japan, Canada, Czech Republic, Republic of Korea, and Brazil (Galmarini, 2018). United Kingdom and Germany are the main onion export market for Argentina and Chile, the largest exporters in South America, although their product also reaches United States, Canada, Japan and Malaysia. In countries like Peru and Chile, sweet onions are produced to export to the United States market from January to May. Onion and garlic production is economically important in other Latin American countries such as Mexico and Ecuador, where shallot production is also significant.

As a result of the great scale production and the vegetative nature of *Allium* propagation, pathogens that affect these crops abound. *Shallot virus X* (ShVX), from the *Flexiviridae* family and genus *Allexivirus*, is one of the several viruses infecting *Allium* (Howitt *et al.*, 2006; Zavriev and Vishnichenko, 2005). When infecting garlic, *Allexivirus* causes yield losses as the bulb size of infected plants is smaller compared to healthy plants (Cafrune *et al.*, 2006).

DISTRIBUTION AND SYMPTOMS

Shallot virus X was first reported in Russia (Vishnichenko *et al.*, 1993; Kanyuka *et al.*, 1992; Zavriev and Vishnichen-

ko, 2005). The sequence contains six open reading frames (ORFs). The virus has also been reported in the Netherlands (van Dijk and van der Vlugt, 1994), India (Majumder *et al.*, 2008), New Zealand (Perez-Egusquiza *et al.*, 2009), Sudan (Hamed *et al.*, 2012), Italy (Taglienti *et al.*, 2015) and Poland (Bereda and Paduch-Cichal, 2016). Recently, the virus was discovered in South America (Granda *et al.*, 2017), and it is presumed that it is distributed worldwide.

Plants infected by ShVX may be asymptomatic or display mild mosaic and chlorotic symptoms. In Argentina, a study showed a 14 to 32 % decrease in bulb weight and a 6 to 32 % decrease in bulb diameter, related to *Allexivirus* infection in garlic (Cafrune *et al.*, 2006), resulting in significant yield losses. Nevertheless, it has been observed that, in natural conditions, viruses from the *Allexivirus*, *Carlavirus*, and *Potyvirus* genera can form viral complexes, making it difficult to relate symptomatology with a specific virus (Kataset *et al.*, 2012). These viral complexes are common among plants from the *Amaryllidaceae* family (Mituti *et al.*, 2015; Song *et al.*, 1998).

TRANSMISSION

The only known vector of ShVX is the dry bulb mite (*Aceria tulipae*) (Van Dijk *et al.*, 1991; Sang Gu *et al.*, 2007), a pathogen that can persist in plant material destined for propagation (Van Dijk *et al.*, 1991; Adams *et al.*, 2004). It has been observed that the pathogen employs unconventional routes to overcome the plant viral defenses, which may be related with an increase in the fitness of the virus (Arkhipov *et al.*, 2017).

Mechanical sap inoculation has been proved effective for transmitting all members of the *Allexivirus* genus (Adams *et al.*, 2004). In the other hand, virus transmission vectored by aphids has not been reported for any *Allexivirus* (Zavriev and Vishnichenko, 2005).

MORPHOLOGY AND GENOME

The first structural analysis of ShVX revealed similarities with the genomic organization of *Carlavirus* but lack ORF6 (Chen *et al.*, 2004; Kanyuka *et al.*, 1992). Later, as the number of available viral genomes increased, it was determined that ShVX together with other viruses detected in the genus *Allium* (*Garlic virus A*, *-B*, *-C*, *-D*) belongs to the genus *Allexivirus* (Song *et al.*, 1998; Sumi *et al.*, 1999). Furthermore, comparative genome and protein analyses, indicate that the *Allexivirus* are part of the *Flexiviridae* family (Adams *et al.*, 2004; Zavriev and Vishnichenko, 2005). The *Flexiviridae* includes viruses with filamentous virions, polyadenylated genome, and a triple gene block of movement proteins which are known to infect plants and plant-pathogenic fungi (Martelli *et al.*, 2007).

Shallot virus X has a monopartite genome represented by a single strand positive RNA with six ORFs and a polyadenylated 3'-end (Kanyuka *et al.*, 1992). The virions of ShVX are highly-flexible, filamentous particles of approximately 800 nm of length and 12 nm of width, harbouring a 8890

nucleotide genome (Kanyuka *et al.*, 1992; Vishnichenko *et al.*, 1993). The virion length is similar to that of a potyvirus but its flexibility resembles that of a closterovirus (King *et al.*, 2012).

ORF1, located in the 5'-end of the ShVX genome, codes for a viral replicase of approximately 195 kDa. The proteins coded by ORF2 and ORF3, of 26 and 11 kDa, respectively (Kanyuka *et al.*, 1992), are similar to the triple gene block proteins, TGB1 and TGB2 that are found in diverse plant viruses (Morozov and Solov'yev, 2003). ORF4 codes for P42, a serine rich 42 kDa-protein of unknown function and with no orthologous genes found in other *Allexivirus* nor in closely related genera, such as *Potexvirus* or *Carlavirus*. It is likely that P42 function is related to viral movement (Arkhipov *et al.*, 2013). ORF5 codes for the coat protein of 28 kDa, and ORF6 for a small, 15 kDa, cysteine-rich protein which is related to a small protein located close to the 3'-end of *Carlavirus*. Lukhovitskaya *et al.*, (2014) demonstrated that this small protein acts as a viral transcription factor that suppresses gene silencing.

Several filamentous and rod-shaped virus genomes contain a triple gene block that codes for three proteins that are essential for viral movement through plasmodesmata and systemic transport (Verchot-Lubicz *et al.*, 2010). Species from the genus *Allexivirus* contain part of the TGB3 within their genome but it is not expressed by an individual ORF, as it lacks a start codon (Kanyuka *et al.*, 1992; Chen *et al.*, 2001). Nevertheless, the TGB3 protein of ShVX and other *Allexivirus* may be expressed along with TGB2 from a bicistronic mRNA, requiring a leaky ribosome scanning (Lezzhov *et al.*, 2015).

DIAGNOSIS OF SHVX

ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay) and PCR (Polymerase Chain Reaction) are the most common methods for plant pathogenic virus detection worldwide (Boonham *et al.*, 2014). Additionally, the use of electron microscopy for morphological characterization and of indicator plants to determine alternative hosts and symptoms associated to viral infections, are common use in viral diagnosis. According to Boonham *et al.* (2014), the choice of diagnosis technique should depend on sensitivity, specificity, repeatability and reproductibility.

Shallot virus X was first detected with indirect ELISA using horeradish peroxidase (Vishnichenko *et al.*, 1993).

Currently, the use of double antibody sandwich ELISA, using ShVX-specific antiserum (DSMZ AS-1042) is common. Nevertheless, low viral titers present in plant samples impede a reproducible detection of the pathogen through ELISA (Ling *et al.*, 2001).

Traditional diagnostics methods based on serology, host range, and symptoms are limited in their ability to differentiate among *Allium* viruses, owing to the presence of complex viral mixtures exhibiting similar symptoms and possessing restricted host ranges. Reverse transcription coupled with the polymerase chain reaction (RT-PCR) is often used for the diagnosis of RNA viruses (Navot *et al.*, 1992). This is a fast, highly-sensitive method that, when multiplexed, allows the simultaneous identification of several different viruses (Crosslin and Hamlin, 2011). Methods for RT-PCR diagnosis of individual viruses affecting *Allium* species have been developed and optimized (Bereda and Paduch-Cichal, 2017; Dovas *et al.*, 2001; Perez-Egusquiza *et al.*, 2009; Vishnichenko *et al.*, 1993; Zavriev and Vishnichenko, 2005). However, it is necessary to effectively diagnose various types of *Allium* viruses at the same time. Multiplex detection assays have been developed for the detection of *Onion yellow dwarf virus* (OYDV) and *Shallot latent virus* (SLV)(Majumder *et al.*, 2008), OYDV, SLV, Garlic common latent virus (GarCLV) and allexiviruses in Indian garlic accessions (Majumder and Baranwal, 2014), and for detection of several garlic viruses (Hu *et al.*, 2015).

Recently, next-generation sequencing (NGS) of total RNA from infected plants have been widely adopted to identify all the different viruses that might be present in a sample (Pallás *et al.*, 2018). However, there are no reports about the use of NGS for detection of ShVX.

MANAGEMENT

Vegetatively propagated crops can be infected by different virus species that tend to accumulate over generations resulting in yield losses and varietal degeneration (Pagán *et al.*, 2014; Pramesh and Baranwal, 2015). Therefore, a periodical renovation, using virus-free plant material, is needed.

There is no literature available regarding methods to manage ShVX in the field; however, Perotto *et al.* (2010) and Shibolet *et al.*(2001) reported that *Allexivirus*-free plants can be vegetatively reproduced using meristems. Garlic virus-free plants produced significantly higher yields

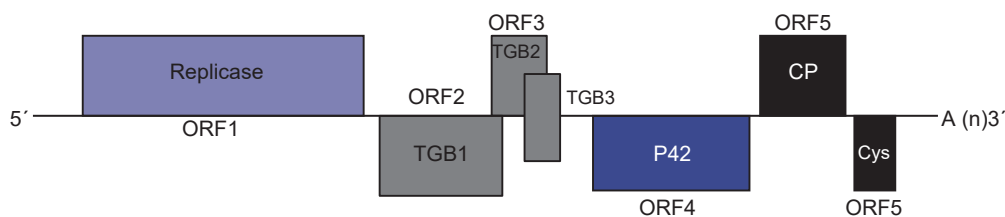


Figure 1. Genomic organization of *Shallot virus X*. TGB1, TGB2, and TGB3: triple gene block movement proteins; P42:protein of unknown function; CP: coat protein; Cys: cysteine-rich protein.

compared to infected plants. The stem-disc dome culture method and its combination with thermotherapy could also eliminate *Allxivirus* in garlic plants (Ayabe and Sumi 2001; Ghaemzadeh *et al.*, 2013).

CONCLUSION

Shallot virus X is a hardly known plant pathogenic virus that infects and causes yield reduction in *Allium* species. Since symptoms are unobvious and they are usually present in complex with other viruses, it is difficult to eliminate them. However, various procedures for controlling ShVX can be implemented depending upon situation. Development of resistant varieties, application of agronomic and biotechnological methods, and adequate plant nutrition and pest control, can be used in an integrated manner to manage this virus which is still a challenge for *Allium* producers.

REFERENCES

- ADAMS, M.J.; ANTONIW, J.C.; BAR-JOSEPH, M.; BRUNT, A.A.; CANDRESSE, T.; FOSTER, G.D.; MARTELLI, G.P.; MILNE, R.G. 2004. Virology division news: the new plant virus family Flexiviridae and assessment of molecular criteria for species demarcation. *Archives of Virology* 149(5): 1045-60. (Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00705-004-0304-0>).
- ARKHIPOV, A.V.; GUSHCHIN, V.A.; VISHNICHENKO, V.K.; SOLOVYEV, A.G. 2013. Accumulation of changes in the genome of Shallot virus X persisting in vegetatively reproduced plants. *Doklady Biochemistry And Biophysics* 452(1): 237-40. (Available at: <http://link.springer.com/10.1134/s1607672913050049>).
- ARKHIPOV, A.V.; SOLOVYEV, A.G.; VISHNICHENKO, V.K. 2017. Persistent *Shallot virus X* infection correlates with transcriptional repression of plant cell rna-dependent rna polymerase and dcl proteins in plant roots. *Molecular Biology* 51(1): 108-11. (Available at: <http://link.springer.com/10.1134/s0026893317010034>).
- AYABE, S.; SUMI, S. 2001. A novel and efficient tissue culture method – 'stem-disc dome culture' – for producing virus-free garlic (*Allium sativum* L.). *Plant Cell Reports*: 503-7.
- BEREDA, M.; PADUCH-CICHAL, E. 2017. Viruses infecting ornamental allium species in Poland. *Journal of Plant Pathology* 99(2): 509-12.
- BEREDA, M.; PADUCH-CICHAL, E. 2016. First report of Shallot virus X in *Allium caeruleum* in Poland. *Plant Disease* 100(9): 1958. doi/10.1094/pdis-03-16-0302-pdn
- BOON, J.K. 2015. Fact sheet onions. *Fruit & Vegetables Facts*: 1-22.
- BOONHAM, N.; KREUZE, J.; WINTER, S.; VAN DER VLUGT, R.; BERGERVOET, J.; TOMLINSON, R. AND MUMFORD, R. 2014. Methods in virus diagnostics: from ELISA to next generation sequencing. *Virus Research* 186: 20-31. doi/10.1016/j.virusres.2013.12.007
- CAFRUNE, E.; PEROTTO, M.; CONCI, V. 2006. Effect of two Allxivirus isolates on garlic yield. *Plant Disease* 90(7): 898-904. doi/10.1094/pd-90-0898
- CAFRUNE, E.; BALZARINI, M.; CONCI, V. 2006. Changes in the concentration of an allxivirus during the crop cycle of two garlic cultivars. *Plant Disease* 90(10): 1293-96. (Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33748925214&partnerid=tzotx3y1>).
- CHEN, J.; ZHENG, H.; ANTONIW, J.; ADAMS, M.; CHEN, J.; LIN, L. 2004. Detection and classification of allxiviruses from garlic in China. *Archives of Virology* 149(3): 435-45.
- CHEN, J.; CHEN, J.; ADAMS, M. 2001. Molecular characterisation of a complex mixture of viruses in garlic with mosaic symptoms in China. *Archives of Virology* 146(10): 1841-53.
- CROSSLIN, J.M.; LAUNA, L.H. 2011. Standardized RT-PCR conditions for detection and identification of eleven viruses of potato and potato spindle tuber viroid. *American Journal of Potato Research* 88(4): 333-38.
- VAN DIJK, P.; VERBEEK, M.; BOS, I. 1991. Mite-borne virus isolates from cultivated allium species, and their classification into two new rymoviruses in the family Potyviridae. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 97(6): 381-99.
- VAN DIJK, P.; VAN DER VLUGT, R. 1994. New Mite-Borne Virus Isolates From Rakkyo, Shallot And Wild Leek Species. *European Journal of Plant Pathology* 100(3-4): 269-77.
- DOVAS, C.I.; HATZILOUKAS, E.; SALOMON, R.; BARG, E.; SHIBOLETH, E.; KATIS, N.I. 2001. Comparison of methods for virus detection in *Allium* spp. *Journal of Phytopathology* 149(11-12): 731-37.
- FAO. 2016. Food and agriculture data. (Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc>).
- GALMARINI, C.R. 2018. Economic and academic importance. In: SHIGYO, M.; KHAR, A.; ABDELRAHMAN, M. The Allium Genomes, (Eds.). Springer International Publishing, 217. doi/10.1007/978-3-319-95825-5_1
- GARCÍA, M.; DE CARA, M.; GÁLVEZ, L.; IGLESIAS, C.; VARES, M. 2011. Especificidad parasitaria de fusarium proliferatum (matsushima) nirenberg sobre especies del género *Allium*. *Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas, Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, 195-206.
- GHAEMZADEH, F.; DASHTI, F.; KHODAKARAMIAN, G.; SARIKHANI, H. 2013. Archives of phytopathology and plant protection combination of stem-disc dome culture and thermotherapy to eliminate allxiviruses and onion yellow dwarf virus from garlic (*Allium sativum* cv. hamedan). (October 2014): 37-41.
- GRANDA, R.; LANDÁZURI, G.; ARKHIPOV, A.V. 2017. First report of *Shallot virus X* in garlic in Ecuador. *Plant Disease* 101(6): 1066. doi/10.1094/pdis-11-16-1558-pdn
- HAMED, K.; MENZEL, W.; MOHAMED, M.; DAFALLAH, G.; GADELSEED, A.; AND WINTER, S. 2012. First report of *Shallot virus X* in onion in Sudan. *Plant Disease* 96(7): 1075. doi/10.1094/pdis-03-12-0253-pdn
- HOWITT, R.; BEEVER, R.; PEARSON, M.; FORSTER, R. 2006. Genome characterization of a Flexuovirus rod-shaped mycovirus, Botrytis virus X, reveals high amino acid identity to genes from plant 'potex-like' viruses. *Archives of Virology* 151(3): 563-79.
- HU, X.; LEI, Y.; WANG, P.; TANG, L.; HE, C.; SONG, Y.; XIONG, X.; NIE, X. 2015. Development of a multiplex reverse transcription-pcr assay for simultaneous detection of garlic viruses. *Journal of Integrative Agriculture* 14(5): 900-908. doi/10.1016/s2095-3119(14)60892-3
- KANYUKA, K.V.; VISHNICHENKO, V.K.; LEVAY, K.E.; KONDRIKOV, D.YU.; RYABOV, E.V.; ZAVRIEV, S.K. 1992. Nucleotide sequence of Shallot virus X RNA reveals a 5'-proximal cistron closely related to those of potexviruses and a unique arrangement of the 3'-proximal cistrons. *Journal of General Virology* 73(10): 2553-60.
- KATIS, N.I.; MALIOGKA, V.I.; DOVAS, C.I. 2012. Advances in virus research viruses of the genus *Allium* in the mediterranean region. 1st Ed. Elsevier Inc. doi/10.1016/b978-0-12-394314-9.00005-1
- KING, A.; LEFKOWITZ, L.; ADAMS, M. AND CARSTENS, C. 2012. *Virus Taxonomy*. International Union of Microbiological Societies Virology Division. Elsevier.

- LEZZHOV, A.A.; GUSCHIN, V.A.; LAZAREVA, E.A.; VISHNICHENKO, V.K.; MOROZOV, S.Y.; SOLOVYEV, A.G. 2015. Translation of the Shallot virus X tgb3 gene depends on non-aug initiation and leaky scanning. *Journal of General Virology* 96(10): 3159-64.
- LI, Q.; ZHOU, S.; HE, X.; YU, Y.; ZHANG, Y.; WEI, X. 2010. Phylogeny and biogeography of *Allium* (amaryllidaceae: allieae) based on nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast rps16 sequences, focusing on the inclusion of species endemic to China. *Annals of Botany* 106(5): 709-33.
- LING, K.; ZHU, H.; PETROVIC, N.; GONSALVES, D. 2001. Comparative effectiveness of elisa and RT-PCR for detecting grapevine leafroll-associated closterovirus-3 in field samples. *American Journal of Enology and Viticulture* 52(1): 21 LP-27. (Available at: <http://www.ajevonline.org/content/52/1/21.abstract>).
- LUKHOVITSKAYA, N.I.; VETUKURIA, R.R.; SAMAA, I.; THADURIA, S.; SOLOVYEV, A.G.; SAVENKOV, E.I. 2014. A viral transcription factor exhibits antiviral RNA silencing suppression activity independent of its nuclear localization. *Journal of General Virology* 95: 2831-37.
- LUKHOVITSKAYA, N.I.; SOLOVIEVA, A.D.; BODDETI, S.K.; THADURI, S.; SOLOVYEV, A.G.; SAVENKOVA, E.I. 2013. An RNA virus-encoded zinc-finger protein acts as a plant transcription factor and induces a regulator of cell size and proliferation in two tobacco species. *The Plant Cell* 25(3): 960-73. (Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3634699&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>).
- MAJUMDER, S.; ARYA, M.; PANT, S.; BARANWAL, V.K. 2008. Shallot virus Xin indian shallot, a new virus report for India. *Plant Pathology* 57(2): 396. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01748.x>.
- MAJUMDER, S.; BARANWAL, V.K. 2014. Simultaneous detection of four garlic viruses by multiplex reverse transcription pcr and their distribution in indian garlic accessions. *Journal of Virological Methods* 202: 34-38. doi/10.1016/j.jviro.2014.02.019
- MAJUMDER, S.; BARANWAL, V.K.; JOSHI, S. 2008. Simultaneous detection of Onion yellow dwarf virus and Garlic latent virus in infected leaves and cloves of garlic by duplex rt-pcr. *Short Communication*. (January 2014).
- MARTELLI, G.P.; ADAMS, M.J.; KREUZE, J.F.; DOLJA, V.V. 2007. Family Flexiviridae: a case study in virion and genome plasticity. *Annual Review of Phytopathology* 45(1): 73-100. (Available at: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.phy.45.062806.094401>).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. 2013. Boletín situacional. Cebolla colorada. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP).
- MITUTI, T.; MOURA, M.F.; MARUBAYASHI, J.; OLIVEIRA, M.; IMAIZUMI, V.; SAKATE, R.; PAVAN, M. 2015. Survey of viruses belonging to different genera and species in noble garlic in Brazil. *Scientia Agricola* 72(3): 278-81. (Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0103-90162015000300278&lang=pt%0ahttp://www.scielo.br/pdf/sa/v72n3/0103-9016-sa-72-3-0278.pdf).
- MOROZOV, S.Y.; SOLOVYEV, A.G. 2003. Triple gene block: modular design of a multifunctional machine for plant virus movement. *Journal of General Virology* 84(6): 1351-66.
- NAVOT, N.; ZEIDAN, M.; PICHERSKY, E.; ZAMIR, D.; CZOSNEK, H. 1992. Use of the polymerase chain reaction to amplify Tomato yellow leaf curl virus DNA from infected plants and viruliferous whiteflies. *Phytopathology* 82(10): 1199-1202.
- PAGÁN, I.; MONTES, N.; MILGROOM, M.G.; GARCÍA-ARENAL, F. 2014. Vertical transmission selects for reduced virulence in a plant virus and for increased resistance in the host. *Plos Pathogens* 10(7): 23-25.
- PALLÁS, V.; SÁNCHEZ-NAVARRO, J.; JAMES, D. 2018. Recent advances on the multiplex molecular detection of plant viruses and viroids. *Frontiers in Microbiology*. 9 (September): 1-11. (Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02087/full>).
- PASTOR, J.; VALDES, P. 1983. Revisión del género *Allium* (Liliaceae) en la península ibérica e Islas Baleares. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- PEREZ-EGUSQUIZA, Z.; WARD, L.I.; CLOVER, G.; FLETCHER, J.D.; VAN DER VLUGT, R.A. 2009. First report of Shallot virus Xin shallot in New Zealand. *Plant Pathology* 58(2): 407. doi/10.1111/j.1365-3059.2009.02031.x
- PEROTTO, M.; CAFRUNE, E.; CONCI, V. 2010. The effect of additional viral infections on garlic plants initially infected with allexiviruses. *European Journal of Plant Pathology* 126(4): 489-95.
- PHILLIPS, N. 2010. Seed and bulb dormancy characteristics in new world *Allium* I. (Amaryllidaceae): A Review. *International Journal of Botany* 6(3): 228-34.
- PRAMESH, D.; BARANWAL, V.K. 2015. Production of virus-free garlic (*Allium sativum* L.) through meristem tip culture after solar or hot air treatment of cloves. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 90(2): 180-86. doi/10.1080/14620316.2015.11513170
- RABINOWITCH, H. 2017. Onions and allied crops: Volume 1: Botany, Physiology, and Genetics. CRC Press.
- SANG GU, K.; KOO, B.; LEE, E.E.; CHANG, M. 2007. Allexivirus transmitted by eriophyoid mites in garlic plants. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 17: 1833-40. (Available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordid=kr2008000512>).
- SHIBOLETH, M.; GAL-ON, A.; KOCH, M.; RABINOWITCH, H.; SALOMON, R. 2001. Molecular characterisation of Onion yellow dwarf virus (OYDV) infecting garlic (*Allium sativum* L.) in Israel: thermotherapy inhibits virus elimination by meristem tip culture. *Annals of Applied Biology*: 187-95.
- SONG, S.L.; SONG, J.T.; KIM, C.H.; LEE, J.S.; CHOISANG, Y.D. 1998. Molecular characterization of the Garlic virus X genome. *Journal of General Virology* 79(1): 155-59.
- SUJITHA, A.; BHASKARA, R.B.; SIVAPRASAD, Y.; USHA, R. 2016. Serological, molecular characterization and diagnostic methods of Groundnut bud necrosis virus infecting onion (*Allium cepa* L.) in south india. *Asian Journal of Plant Pathology* 10: 29-35. *Archives of Virology* 144: 1819-1826 (Available at: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajppaj.2016.29.35>).
- SUMI, S.; MATSUMI, T.; TSUNEYOSHI, T. 1999. Complete nucleotide sequences of garlic viruses A and C, members of the newly ratified genus Allexivirus. *Archives of Virology*, 144(9), 1819-1826.
- TAGLIANTI, A.; TAVIANI, P.; PAOLETTI, S.; TOMASSOLI, L. 2015. First report of Shallot virus X infecting shallot in Italy. *New Disease Reports* 32(28): 5197.
- VERCHOT-LUBICZ, J.; TORRANCE, L.; SOLOVYEV, A.G.; MOROZOV, S.Y.; JACKSON, A.O.; GILMER, D. 2010. Varied movement strategies employed by triple gene block-encoding viruses. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 23(10): 1231-47. doi/10.1094/mpmi-04-10-0086
- VISHNICHENKO, V.K.; KONAREVA, T.N.; ZAVRIEV, S.K. 1993. A new filamentous virus in shallot. *Plant Pathology* 42(1): 121-26.
- ZAVRIEV, S.; VISHNICHENKO, V.K. 2005. Genus Allexivirus. In: FAUQUET, M.; MAYO, J.; MANILOFF, Y.U.; BALL, L.; DESSELBERGER, I. (Ed.). *Virus Taxonomy: Eighth Report on The International Committee on the Taxonomy of Viruses* San Diego: Elsevier Ltd, 1098-1100.

Relevamiento y asignación taxonómica de himenópteros potencialmente polinizadores en un cultivo de soja

BLETTLER, D.C.¹; FAGÚNDEZ, G.A.¹; CHEMEZ, D.M.¹

RESUMEN

A la luz de recientes investigaciones que comprueban la contribución de los insectos polinizadores sobre el rendimiento de la soja, el presente trabajo evalúa cualitativamente y cuantitativamente los himenópteros presentes en la canopia del cultivo, con el objeto de estimar cuáles conforman el complejo potencialmente polinizador de esta oleaginosa. Para ello, se capturaron insectos mediante red entomológica en la canopia de un cultivo de soja, en diferentes horarios del día y a lo largo del periodo de floración. Los resultados mostraron a la familia Formicidae como el grupo de himenópteros más numerosos, seguido por la familia Apidae y otras cinco familias escasamente representadas. Se alienta a considerar a los himenópteros potenciales polinizadores del cultivo de soja, en la redefinición de los Umbrales de Daño Económico y se destaca la necesidad de ampliar el muestreo a otras regiones productivas y durante un mayor número de años a fin de robustecer conclusiones.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, polinización biótica, Manejo Integrado de Plagas (MIP), *Glycine max*.

ABSTRACT

In light of recent research that confirms the contribution of pollinating insects to the yield of soybean, the present work qualitatively and quantitatively evaluates the hymenoptera present in the crop canopy, in order to propose which make up the potentially pollinating complex of this oilseed crop. To do this, insects were captured with an entomological net by sweeping the canopy of a soybean crop at different times of the day and throughout the flowering period. The results showed the Formicidae family as the most numerous hymenoptera group, followed by the Apidae family and five other poorly represented families. It is encouraged to consider the hymenoptera as potential pollinators of soybean in the redefinition of the Economic Damage Thresholds, and the need to extend the sampling to other productive regions and for a greater number of years in order to strengthen conclusions.

Keywords: ecosystemic services, biotic pollination, Integrated Pest Management (IPM), *Glycine max*.

¹Universidad Autónoma de Entre Ríos, Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT-UADER), Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CICYTTP-CONICET), Laboratorio de Actuopalinología. Materi y España, E3105BWA Diamante, Entre Ríos, Argentina. Correo electrónico: dcblettler@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En Argentina se ha incrementado la superficie destinada a la siembra de soja (*Glycine max*) de forma vertiginosa alcanzando en la campaña agrícola 2016-2017 una superficie de 19,2 millones de hectáreas (BCR, 2017). Se ha propuesto que la sola pérdida de biodiversidad vegetal asociada al monocultivo es un claro índice de deterioro ambiental (Aizen, 2009); sin embargo, el mayor perjuicio ambiental sindicado a la soja está ligado al control sanitario (Freitas *et al.*, 2009). Durante todo su ciclo productivo, este cultivo demanda ingentes cantidades de fitoterápicos que garantizan su salvaguarda de insectos fitófagos, malezas y hongos patógenos (Lepori, 2013).

Muchos son los factores que han determinado que el manejo tradicional del cultivo presente tal dependencia de agroquímicos; algunos son coyunturales como el bajo precio relativo de los pesticidas (Devine, 2008) o la simplicidad de aplicación. Sin embargo, otros causales de tal proceder podrían ligarse a factores de "fondo" que evidencian, cuanto menos, un inacabado entendimiento de la fisiología reproductiva del cultivo. La soja presenta un sistema de reproducción mayoritariamente autógamo (Ahrent *et al.*, 1994), con bajos índices de cruzamiento (Ray *et al.*, 2003). Posiblemente esta condición de la especie ha promovido que el cultivo se maneje con relativa indiferencia hacia la entomofauna polinizadora asociada, propiciando el uso de productos insecticidas como práctica casi hegemónica de control de plagas en Argentina (Arregui *et al.*, 2010). Sin embargo, aunque la autogamia es el principal mecanismo de fecundación y formación de granos de la soja, no es el único mecanismo que opera en la reproducción de esta especie; trabajos recientes dan cuenta de la contribución de la polinización vectorizada por insectos (particularmente himenópteros) en la conformación del rendimiento del cultivo (Chiari *et al.*, 2005; Milfont *et al.*, 2013; Blettler *et al.*, 2017).

Si bien, los productos agroquímicos modernos enfatizan la selectividad como una de sus principales ventajas (Kahl, 2015), numerosos trabajos permiten afirmar que los agroquímicos no se limitan solo a la intoxicación del blanco o "target" para el que fueron empleados (Devine *et al.*, 2008), sino que además presentan consecuencias sobre artrópodos que pudieran resultar de inestimable valor agroecosistémico (himenópteros polinizadores).

Frente a esta problemática, cobra especial protagonismo un paradigma vinculado a la gestión de cultivos, el manejo integral o racional de plagas (MIP) (FAO 1996). Esta matriz conceptual propone alternativas de control que no se limitan únicamente al uso de pesticidas, sino también a tomar ventaja de recursos existentes en el campo de conocimientos agronómicos y biológicos que priorizan una visión más integral del agrosistema. Como herramienta fundamental este paradigma propone el uso de los llamados Umbrales de Daño Económico (UDE).

Pero, para el caso particular de la soja, el MIP solo considera como "benéficos" a aquellos organismos que son enemigos de las plagas fitófagas: depredadores y parasitoides (Molina 2006, 2008) y no toma en consideración a aquellos

que pudieran contribuir al rendimiento promoviendo la polinización del cultivo.

Si durante una pulverización (realizada en floración), indirectamente se afecta algún organismo que promueve el rendimiento del cultivo, necesariamente se estaría induciendo una merma en el rendimiento. Esto debiera ser considerado como un encarecimiento de los costos de control de la plaga y así llevaría los UDE a valores más altos, lo que redundaría en un menor número de aplicaciones sobre los cultivos.

Por lo expuesto, el objetivo del trabajo es evaluar los himenópteros presentes en la canopia del cultivo y estimar cuáles conforman el complejo potencialmente polinizador de esta oleaginosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se realizó en un lote de producción agrícola (20 ha) situado en la localidad de Oro Verde (31° 50'S y 60° 30'O), departamento Paraná, Entre Ríos, durante la campaña agrícola 2014-2015. El cultivar de soja utilizado fue "Nidera A 5009 RG", sembrado en noviembre de 2014, a 52 cm de distancia entre surcos.

Durante el ciclo del cultivo solo se realizaron aplicaciones sanitarias (tratamiento contra lepidópteros) cuando fueron superados los UDE en fecha 30 de enero, dando fin al ensayo. En cercanías al cultivo (1500 metros de radio) se encuentran predios con vegetación nativa y naturalizada, también praderas permanentes y cultivos de maíz, así como un área natural protegida de aproximadamente 30 ha. Sobre el límite norte del cultivo se encontraba instalado un apiario comercial conformado por 20 colmenas de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.).

Muestreo

Las capturas de artrópodos fueron realizadas en el lote de soja desde comienzos de la floración (1 a 3 flores en aproximadamente el 50% de las plantas del cultivo), cada dos días (este intervalo solo fue alterado por la ocurrencia de lluvias coincidentes con el día 28 de enero), lo que dio un total de nueve fechas de muestreo. Estas fueron realizadas mediante red entomológica de 38 cm de diámetro (figura 1) en seis horarios diarios (9:00; 10:30; 12:00; 13:30; 15:00 y 16:30 h) para evitar sub o sobreestimaciones en insectos cuyo comportamiento sea condicionado por la temperatura, la luminosidad, la humedad o la combinación de estos elementos. En cada día de muestreo se contabilizó, sobre 10 plantas, el número de flores promedio. Por cada horario se efectuaron un total de 150 redadas en tres repeticiones de 50 redadas cada una, dentro del cultivo y en sitios aleatoriamente seleccionados. En este trabajo se tomó en consideración el horario oficial argentino GTM -3 (Greenwich Mean Time) el cual está una hora corrido considerando el huso horario de la región de muestreo (GTM -4).



Figura 1. Capturas de artrópodos en canopia de cultivo con red entomológica.

| | Formicidae | Apidae ¹ | | Tenthredinidae ¹ | Chalcididae ¹ | Sphecidae ¹ | Vespidae ¹ | | Halictidae ¹ | | |
|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|------|-------|
| Fecha captura | | <i>Apis mellifera</i> | <i>Melissodes sp.</i> | <i>Monostegia abdominalis</i> | <i>Brachymeria sp.</i> | | N/I | <i>Pachodynerus sp.</i> | <i>Augochloropsis sp.</i> | THC* | TAC** |
| 12-ene | 124 | | | | | | | | | 124 | 464 |
| 14-ene | 180 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 184 | 573 |
| 16-ene | 122 | 3 | | 1 | 1 | 1 | | | | 128 | 644 |
| 18-ene | 146 | 8 | | | | | 1 | | | 157 | 490 |
| 20-ene | 111 | 6 | | | | | | | | 117 | 420 |
| 22-ene | 61 | 9 | | | 2 | | | | | 72 | 319 |
| 24-ene | 26 | 18 | | | 3 | 1 | | | | 48 | 289 |
| 26-ene | 28 | 12 | | | 2 | 1 | | 1 | 1 | 45 | 245 |
| 29-ene | 16 | 9 | 1 | | | 1 | | | | 27 | 195 |
| | 814 | 66 | 2 | 2 | 9 | 4 | 1 | 1 | 1 | 902 | 3639 |

Tabla 1. Asignación taxonómica de los himenópteros capturados durante la floración del cultivo.

*THC: total himenópteros capturados; **TAC: total artrópodos capturados. (1) potenciales polinizadores. N/I: género no identificado.

Las muestras colectadas fueron rotuladas y almacenadas en freezer hasta su asignación taxonómica, la que fue realizada en el laboratorio de Entomología de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Universidad Nacional del Litoral (FHUC-UNL).

RESULTADOS

Los resultados muestran una importante proporción de himenópteros (24,7%) respecto del total de artrópodos capturados durante la floración del cultivo. Sin embargo, la mayor parte de estos pertenecen a la familia Formicidae, con nula

o desconocida contribución polinizadora para el cultivo. Solo una baja proporción de estos (9,5%) corresponde a abejas melíferas (polinizadores de cultivo) y a otras especies con posibles aptitudes polinizadoras (tabla 1).

En relación con el comportamiento o con la variación poblacional de los himenópteros potencialmente polinizadores capturados, puede observarse como se consolida gradualmente su número hasta un valor máximo de capturas que ocurre en fecha del 24 de enero (coincidentemente con el periodo de plena floración del cultivo) para continuar posteriormente con un gradual descenso en contraste a la variación poblacional de la familia Formicidae (figura 2).

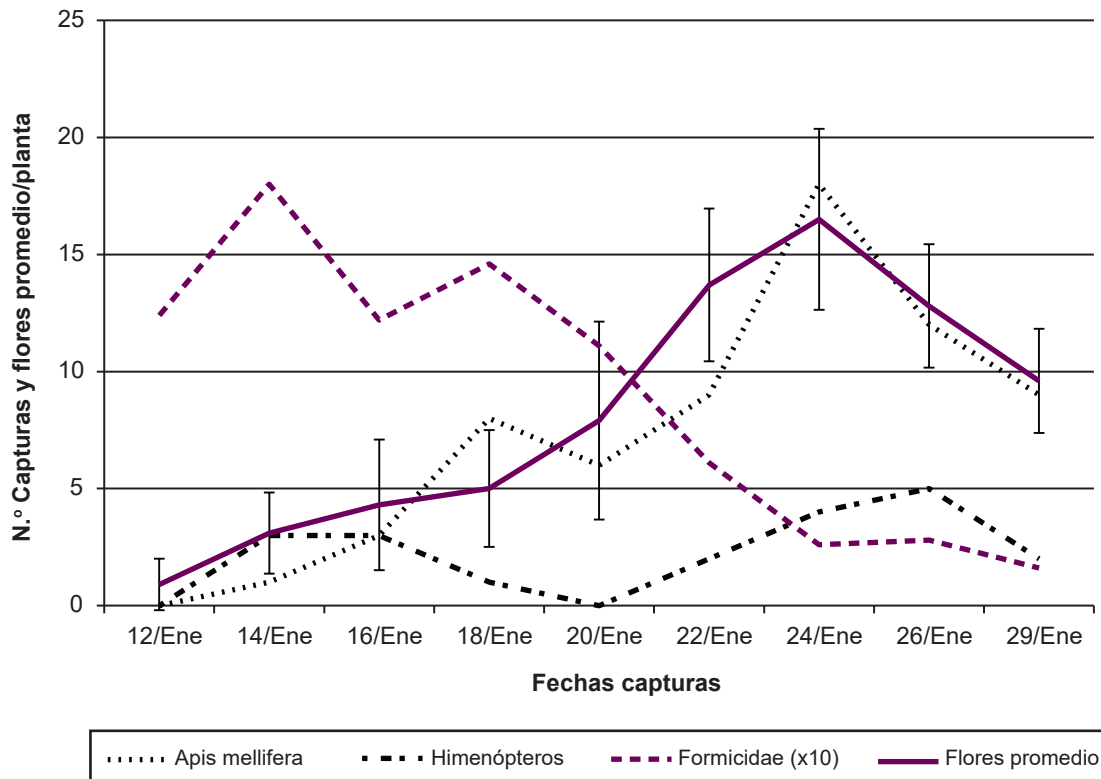


Figura 2. Variación poblacional de diferentes grupos de himenópteros en relación con la floración del cultivo.

DISCUSIÓN

En este trabajo la población de insectos que mejor acompaña a la floración del cultivo (la cantidad de estos insectos aumenta conforme el cultivo incrementa su cantidad de flores y decrece cuando el cultivo reduce el número de flores) es la de *Apis mellifera*, aunque también se observa un parcial acompañamiento por parte de otros himenópteros, por lo que su contribución en la polinización es probable, aunque en menor dimensión. Por su parte, Formicidae es la familia más numerosa de himenópteros presentes en la canopia del cultivo de soja, sin embargo, debemos destacar que en general, las hormigas no son buenos agentes polinizadores ya que carecen de corbículas y las obreras no vuelan, razón por la que son remotas sus posibilidades de participar en algún proceso de polinización cruzada. Estos resultados están en consonancia a lo planteado por Kleijn *et al.* (2015) quienes concluyen, después de analizar más de 90 trabajos de investigación, que la mayor parte de los servicios ecosistémicos de polinización de cultivos lo realiza un muy reducido número de especies de abejas.

La baja diversidad de insectos polinizadores presentes en el cultivo de soja resulta particularmente inquietante, porque en la zona de estudio se disponía de extensas áreas aledañas con vegetación nativa en ambientes escasamente alterados y se ha demostrado que estos espacios afectan positivamente la abundancia y diversidad de

visitantes florales nativos en cultivos aledaños (Sáez *et al.*, 2014). Sin embargo, para robustecer las conclusiones debería pensarse en estudios adicionales a diferente escala, dado que la cantidad de bosque a escala de paisaje es más influyente para la biodiversidad de artrópodos en la soja que la sola proximidad del bosque (González *et al.*, 2017).

La sola dependencia de las abejas melíferas para la polinización de los agrosistemas puede ser arriesgada y cobra superlativa relevancia el cuidado, la preservación y gestión de otros polinizadores. Incluso si su abundancia es baja, los ensamblajes diversos de polinizadores contribuyen muy fuertemente a la polinización de diferentes cultivos (Garibaldi *et al.*, 2013).

Evidentemente, el tomar en consideración a los polinizadores implica un cambio radical, no solo en el entendimiento general del agrosistema, sino incluso en la metodología de trabajo necesaria para los monitoreos de plagas ya que tradicionalmente se usa un paño como herramienta de captura de insectos en los cultivos de soja (Massaro y Gamundi 2006). Cualquiera sea la posición en la que el paño se utilice (horizontal o verticalmente) presenta dificultades para relevar a los insectos voladores ya que fácilmente escapan de estos. Por tal motivo, si se optase por considerar a los polinizadores en la estimación de los UDE, debería cambiarse el método de monitoreo, por ejemplo, mediante la utilización de redes.

Lograr cambios en la metodología de estimación y control de plagas por parte de los agricultores es un reto que implica convencimiento de productores y de asesores; para esto es conveniente abundar con información localmente producida. En este marco, se propone el cambio de denominación metodológica de Manejo Integrado de Plagas por el de Gestión de Entomofauna Asociada al Cultivo (GEAC).

BIBLIOGRAFÍA

- AHRENT, D.K.; CAVINESS, C.E. 1994. Natural cross-pollination of twelve soybean cultivars in Arkansas. *Crop Science* 34: 376-378.
- AIZEN, M.A.; GARIBALDI, L.A.; DONDO, M. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología austral* 19 (1): 45-54.
- ARREGUI, M.C.; SÁNCHEZ, D.; ALTHAUS, R.; SCOTTA, R.; BERTOLACCINI, I. 2010. Assessing the risk of pesticide environmental impact in several Argentinian cropping systems with a fuzzy expert indicator. *Pest Management Science* 66 (7):736-740.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO (BCR). 2017. (Disponible: <https://www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx> verificado: octubre de 2017).
- BLETTLER, D.C.; FAGÚNDEZ, G.A.; CAVIGLIA, O.P. 2017. Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie*. 11 (65):1-11.
- CHIARI, W.C.; DE ALENCAR ARNAUT DE TOLEDO, V.; COLLA RUVOLO-TAKASUSUKI, M.C.; ATTENCIA, V.M.; MARTINS COSTA, F.; SATIE KOTAKA, C.; SHIEGUERO SAKAGUTI, E.; MARGALHÃES, H.R.P. 2005. Pollination of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] by honeybees (*Apis mellifera* L.). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 48 (1):31-36.
- DEVINE, G.J.; EZA, D.; OGUSUKU, E.; FURLONG, M.J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 25(1):74-100.
- FAO. 1996. Plant protection and pesticides. Science and technology for sustainable development. Parte 4. (Disponible: <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/sustdev/RTdirect/RTre0009.htm> verificado: 22 de mayo de 2013).
- FREITAS, B.M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; MEDINA, L.M.; KLEINERT, A.D.M.P.; GALETTO, L.; NATES-PARRA, G.; QUEZADA-EUÁN, J.J.G. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie* 40(3): 332-346.
- GARIBALDI, L.A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; WINRFEE, R.; AIZEN, M.; BOMMARCO, R. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*. 339 (6127):1608-1611.
- GONZÁLEZ, E.; SALVO, A.; VALLADARES, G. 2017. Arthropod communities and biological control in soybean fields: Forest cover at landscape scale is more influential than forest proximity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239: 359-367.
- KAHL, M.B. 2015. Principales características de los insecticidas utilizados en el cultivo de soja. Serie Extensión Digital. Segundo Trimestre. EEA Paraná. INTA. 5:31-50.
- KLEIJN, D., WINFREE, R., BARTOMEUS, I., CARVALHEIRO, L.G., HENRY, M., ISAACS, R., RICKETTS, T.H. 2015. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature communications*, 6: 7414.
- LEPORI, E.C.V.; MITRE, G.B.; NASSETTA, M. 2013. Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29:25-43.
- MASSARO, R.; GAMUNDI, J.C. 2006. Del "ojímetro" al paño vertical. EEA Oliveros, INTA. (Disponible: <http://www.riia.unl.edu.ar/InformesPublicos/TrifolioDeLojimetrolalpanovertical.pdf> verificado: octubre de 2017).
- MILFONT, M.O.; ROCHA, E.E.; LIMA, A.O.; FREITAS, B.M. 2013. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopolination. *Environmental Chemistry Letters* 11: 335-341.
- MOLINA, A.R. 2006. La Soja y sus Insectos y otros organismos: benéficos y perjudiciales. Tomo 1. MOLINA, A.R. 2008. La Soja y sus Insectos y otros organismos: benéficos y perjudiciales. Tomo 2. RAY, J.D.; KILEN, T.C.; ABEL, C.A.; PARIS, R.L. 2003. Soybean natural cross-pollination rates under field conditions. *Environmental Biosafety Research* 2 (2):133-138.
- SÁEZ, A.; SABATINO, M.; AIZEN, M. 2014. La diversidad floral del borde afecta la riqueza y abundancia de visitantes florales nativos en cultivos de girasol. *Ecología Austral* 24 (1):94-102.

Caracterización estructural y morfogénica de una colección de poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* Jacq. en Argentina

ORTEGA MASAGUÉ, M.F.¹; ERAZZÚ, L.²; ANDRÉS, A.³

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estimar la variabilidad genética presente entre seis poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* Jacq. (= *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon y S.W.L. Jacobs) en el noroeste argentino. Los caracteres estudiados fueron hábito de crecimiento, vigor de rebrote, pilosidad, largo y ancho de hoja, largo de inflorescencia, número de macollos vegetativos y reproductivos y tasa de elongación foliar. Por medio de análisis de variancia, regresión y técnicas multivariadas se determinó la existencia de variabilidad entre las poblaciones. Las plantas de las localidades de Quebrachal y Frías presentaron un porte más erecto y, junto con las de Chamental, mayor pilosidad en hojas. El menor vigor de rebrote fue observado en los materiales de Isca Yacu y Leales. Las plantas originarias de Quimilí y Chamental fueron las de mayor ancho y largo de hoja, largo de inflorescencia y número de macollos vegetativos y reproductivos; características de gran interés forrajero. Los valores obtenidos en la estimación de los parámetros genéticos sugieren la posibilidad de obtener ganancias por selección al incorporar estos materiales a un programa de mejoramiento genético tendiente a lograr progresos de intensificación ganadera.

Palabras clave: variabilidad, Gatton Panic, forrajera megatérmica, noroeste argentino, mejoramiento genético.

ABSTRACT

*The aim of this work was to collect and estimate the genetic variability among naturalized populations of *Panicum maximum* Jacq. (= *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon and S.W.L. Jacobs) in the Argentine Northwest. The studied traits were growth habit, regrowth vigour, pilosity, length and width of leaf, length of inflorescence, number of vegetative and reproductive tillers, and foliar elongation rate. Through the analysis of variance, regression and multivariate techniques, the existence of variability between populations was determined. The plants of the localities of Quebrachal and Frías presented an erect portage and, together to Chamental ones, greater pilosity in leaves. The lower regrowth vigour was observed in the materials of Isca Yacu and Leales. The plants originating from Quimilí and Chamental were the ones with the greatest width and length of leaves, length of inflorescence and number of vegetative and reproductive tillers; characteristics of great forage interest. The values obtained in the estimation of the genetic parameters suggest the possibility to obtain gains by selection when incorporating these materials to a program of genetic improvement tending to progress of livestock intensification.*

Keywords: variability, Gatton Panic, megathermic forage, Argentine Northwest, genetic improvement.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS, INTA Leales), Chañar Pozo s/n (T4113), Tucumán, Argentina. Correo electrónico: ortegamasague.maria@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Famaillá, Ruta Provincial 301, km 32 (T4132), Famaillá, Tucumán, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Av. Frondizi Km 4,5, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

El avance de la agricultura en la región Pampeana argentina relegó la actividad ganadera a zonas con mayores restricciones climáticas y edáficas. En este sentido se avanzó en la búsqueda de especies forrajeras megatérmicas que presenten una mayor productividad, persistencia y calidad como base para la alimentación del ganado.

Panicum maximum Jacq. (= *Megathyrus maximum* (Jacq.) B.K. Simon y S.W.L. Jacobs) es una gramínea nativa del trópico y subtropico africano (Duke, 1983). La biología de *Panicum maximum* ha sido ampliamente estudiada por varios autores (Warmke, 1954; Combes y Pernés, 1970; Savidan, 1982), quienes indicaron que muchos biotipos de la especie son tetraploides ($2n=4x=32$) con reproducción de tipo apomítica facultativa.

El cultivar de *Panicum maximum*, "Gatton Panic", es un material que deriva de la selección de una muestra de semillas de poblaciones introducidas por el Consejo para la Investigación Científica e Industrial (CSIR) en 1936 desde Zimbabue (África). Este fue luego seleccionado entre diferentes genotipos en Australia, entre 1956 y 1964, demostrando un adecuado comportamiento agronómico; lo que derivó en su liberación por parte del Comité de Pasturas de Queensland (Barnard, 1972).

Este cultivar, que representaría una población fenotípica estable, fue introducido en Argentina en la década de 1970 y demostró gran adaptación a los diferentes ambientes del semiárido argentino. Fue ampliamente difundido, constituyéndose como monocultivo en una extensa región para sostener la alimentación del ganado.

El modo reproductivo de *Panicum maximum* representa una herramienta valiosa para el mantenimiento de los genotipos adaptados a determinadas condiciones ambientales. La apomixis facultativa permite generar nuevas combinaciones genéticas que posibilitan la adaptación de nuevos individuos en condiciones ambientales dinámicas. Esta característica en la especie facilita la formación de ecotipos (Daubenmire, 1979).

En la región del noroeste argentino (NOA) se evidencia un proceso de naturalización del germoplasma derivado del cultivar introducido en la década de 1970, teniendo en cuenta que el establecimiento de las poblaciones está asociado a ambientes con características favorables que permitieron su supervivencia generando plantas autosuficientes en vida libre. El proceso requirió que hayan sido superadas algunas barreras bióticas y abióticas para que la especie sobreviva y se reproduzca regularmente en el ambiente (Richardson *et al.*, 2000).

Ante la ausencia de estudios que informen la existencia de variabilidad genética en materiales de *Panicum maximum* adaptados y naturalizados en los ambientes del NOA, se genera el desafío de realizar evaluaciones en estas poblaciones que indiquen posibilidades de desarrollo y obtención de nuevos cultivares en la especie, con la finalidad de incrementar la oferta forrajera, la producción y la estabilidad de los sistemas ganaderos en un marco de sustentabilidad.

El objetivo del presente estudio fue realizar la caracterización de poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* del NOA y obtener información a nivel interpoblacional sobre los procesos morfogenéticos básicos que definen la estructura de los genotipos que integran la pastura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección de germoplasma

Entre diciembre de 2008 y abril de 2009 se realizaron seis viajes de colección de germoplasma de *Panicum maximum* "Gatton Panic" en base a lo establecido por Sackville Hamilton y Chorlton (1995). Las poblaciones se localizaron en campos de productores que realizaron la implantación del cultivar hace más de 20 años, sin resiembras posteriores, en diferentes provincias del NOA.

Los sitios de colección fueron seleccionados y caracterizados en función de su ubicación geográfica, precipitación media anual y temperatura media anual. De esta manera se seleccionaron seis sitios en las provincias de Tucumán, Santiago del Estero, Salta y La Rioja (tabla 1).

| Provincia | Localidad (Identificación) | Precipitación media anual (mm) | T° media anual (°C) | Altura s. n. m. (m) | Latitud sur | Longitud sur | Fecha de colección |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------------|
| La Rioja | Chamical (C) | 350 | 20,3 | 466 | 30,3 | 66,3 | 09/12/2008 |
| Sgo del Estero | Isca Yacu (I) | 560 | 20,5 | 266 | 27,1 | 64,5 | 16/12/2008 |
| Tucumán | Leales (L) | 880 | 19,8 | 335 | 27,1 | 65,2 | 06/01/2009 |
| Salta | Quebrachal (S) | 550 | 20,8 | 339 | 25,3 | 64,1 | 12/02/2009 |
| Sgo del Estero | Quimilí (Q) | 660 | 20,9 | 134 | 27,6 | 62,4 | 24/03/2009 |
| Sgo del Estero | Frías (F) | 600 | 19,7 | 330 | 28,6 | 65,1 | 13/04/2009 |

Tabla 1. Caracterización de los sitios de colección de las poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* evaluadas.

Dentro de cada zona se trazaron transectas y se muestrearon plantas cada 10 m, logrando coleccionar 150 genotipos en cada sitio. Si bien no se seleccionaron plantas por tamaño y vigor, se evitaron aquellas que mostraban daños severos causados por plagas o enfermedades. Cada planta fue identificada y trasladada al campo experimental perteneciente al Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), Leales, Tucumán.

Caracterización estructural y morfogenética

Las plantas de cada población fueron dispuestas en un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones (bloques) de 50 plantas cada una. Las plantas se ubicaron distanciadas a 1 m, de acuerdo a Turesson (1922). El análisis de los datos se realizó considerando la media poblacional.

Debido a que las colecciones se realizaron en diferentes momentos, en febrero de 2010 se unificaron los genotipos trasplantando 10 macollos por planta en igual diseño y realizando sobre estos un corte de uniformidad a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo. Este corte permitió promover un crecimiento uniforme en todas las plantas y fue considerado el momento de inicio para las mediciones de los caracteres. Por población, un total de 75 plantas (25 plantas por bloque) se tomaron para evaluar caracteres morfológicos y 75 plantas para caracteres reproductivos (tabla 2). El ensayo se mantuvo libre de malezas, se fertilizó a comienzos del período de precipitaciones con

50 kg/ha de nitrógeno y se regó a fin de lograr condiciones potenciales en el material.

Análisis estadístico

Se determinó el promedio para las variables ancho y largo de hoja, largo de inflorescencia, número de macollos vegetativos y reproductivos y tasa de elongación foliar y su distribución utilizando la prueba Shapiro-Wilks modificada del paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008). El modelo estadístico respondió a la siguiente expresión:

$$Y_{ij} = m + a_i + b_j + e_{ijk}$$

Donde m es la media general

a_i = componente de la variancia debido a las poblaciones

b_j = componente de la variancia debido a los bloques

e_{ijk} = error experimental

Los componentes de la variancia para cada variable se estimaron a partir de las esperanzas de los cuadrados medios (E(CM)) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\delta^2g = (CMp - CMe)/r$$

Donde δ^2g es la variancia genotípica

CMp = cuadrado medio de la población

CMe = cuadrado medio del error

r = n.º de repeticiones

| Identificación | Carácter evaluado (escala/unidades) | Descripción |
|----------------|--|---|
| Pi | Pilosidad en hoja (escala de 3 puntos) | Longitud y densidad de pelos en hojas de igual edad, asignados a escala. 1= sin pelos; 2= entre la escala de grado 1 y 3; 3= con pelos abundantes |
| Ha | Hábito de crecimiento (°sexagesimales) | Ángulo formado entre el canopeo de cada planta y la superficie del suelo. Erecto = cuando el ángulo establecido por los macollos y la perpendicular a la superficie del suelo es mayor a 60°, Semierecto = ángulo entre 50° y 60°, Semiprostrado = ángulo menor a 50° |
| Vi | Vigor de rebrote (escala de 3 puntos) | Visualmente teniendo en cuenta la aparición de macollos nuevos luego de 14 días de realizado corte de uniformidad. 1 = Regular; 2 = Bueno; 3 = Muy bueno |
| A | Ancho de hoja (mm) | Ancho foliar medio de la penúltima hoja de la caña florífera. Promedio de 5 lecturas/planta |
| La | Largo de hoja (mm) | Longitud total foliar de la penúltima hoja de la caña florífera. Promedio de 5 lecturas/planta |
| Pa | Largo de inflorescencia (mm) | Longitud de panícula desde su inserción. Promedio de 5 panículas panículas/planta |
| N.º mv | Número de macollos vegetativos | Número de macollos en estado vegetativo luego de 47 días de realizado corte de uniformidad |
| N.º mr | Número de macollos reproductivos | Número de macollos en estado reproductivo luego de 47 días de realizado corte de uniformidad |
| TEF | Tasa de elongación foliar (mm/GDC) | Incremento en el largo foliar de láminas de dos macollos/planta en un intervalo de suma térmica (Grados días de crecimiento GDC) |

Tabla 2. Caracteres evaluados en las poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. y metodología de muestreo.

$$\delta^2e = CMe$$

δ^2e = variancia ambiental

$$\delta^2f = \delta^2g + \delta^2e$$

δ^2f = variancia fenotípica

Los coeficientes de variación genético, fenotípico y ambiental se calcularon según las siguientes expresiones (Pistorale, 2008):

$$\text{Coeficiente de variación genético (CVG)} = \frac{\sqrt{\delta^2g} \times 100}{\mu}$$

$$\text{Coeficiente de variación fenotípico (CVF)} = \frac{\sqrt{\delta^2f} \times 100}{\mu}$$

$$\text{Coeficiente de variación ambiental (CVA)} = \frac{\sqrt{\delta^2e} \times 100}{\mu}$$

Se calculó la relación CVG/CVA para estimar la ganancia genética por selección de cada carácter (Pistorale, 2008). Además, se estimó la heredabilidad en sentido amplio (grado de determinación genético GDG) (Shing *et al.*, 1993; Burton y De Vane, 1953) a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Heredabilidad (H}^2\text{), GDG} = \delta^2g / \delta^2f$$

Para las determinaciones de pilosidad, hábito de crecimiento y vigor de rebrote se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para más de dos pruebas independientes. Se realizó análisis de la variancia y comparaciones interpopulacionales a través del test de Di Renzo *et al.* (2002).

Para el modelado y relación entre las variables de la tasa de elongación foliar se realizó análisis de regresión.

Se utilizó el análisis de componentes principales (PCA) como método multivariado exploratorio y se emplearon técnicas de agrupamiento (cluster) utilizando la medida de

distancia Manhattan y aplicando el método de centroide no ponderado Ward.

RESULTADOS

Los valores medios de las variables cualitativas hábito de crecimiento, vigor de rebrote y pilosidad en hoja presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las seis poblaciones evaluadas, demostrando la variabilidad existente entre ellas (tabla 3). Asimismo, las variables cuantitativas largo y ancho de hoja, largo de inflorescencia, y número de macollos vegetativos y reproductivos evidenciaron también diferencias significativas entre las poblaciones. No hubo diferencias significativas al considerar la tasa de elongación foliar (tabla 4).

La media general del ángulo formado entre el canopeo de cada planta y la superficie del suelo, determinante del hábito de crecimiento en plantas, fue de $50,59^\circ$ sexagesimales, con valores que oscilaron entre $47,78^\circ$ y $52,56^\circ$. La población originaria de Quebrachal mostró los valores más elevados de ángulo y la población de Isca Yacu los valores más bajos, correspondiéndose esta última a un tipo de planta más postrada.

Con respecto al vigor de rebrote promedio, considerando todas las poblaciones, fue calificado como bueno. El mayor vigor de rebrote fue observado en la población de Chamental (2,18), mientras que el menor vigor de rebrote correspondió a la población de Isca Yacu (1,82), evidenciándose en esta última un valor elevado en el coeficiente de variabilidad (37,53).

El valor medio de escala de pilosidad para las poblaciones en estudio fue de 2,42 correspondiéndose con plantas que presentan una mediana densidad y longitud de pelos en sus hojas. Los extremos en presencia de pilosidad pertenecieron a las poblaciones de menor y mayor altura sobre el nivel del mar, ej. Quimilí y Chamental, con valor medio de escala de pilosidad de 1,98 y 2,56 respectivamente.

El largo promedio de la hoja para todas las poblaciones fue de 261,08 mm evidenciándose diferencias significativas

| Hábito de crecimiento (° sexagesimales) | | Vigor de rebrote (escala de 3 puntos; 1= regular, 2= bueno, 3= muy bueno) | | Pilosidad en hoja (escala de 3 puntos; 1= sin pelos, 2= entre escala 1 y 3, 3= con pelos abundantes) | |
|--|-----------|---|---------|--|---------|
| Población | | Población | | Población | |
| Isca Yacu | 47,78 a | Isca Yacu | 1,82 a | Quimilí | 1,98 a |
| Chamental | 49,30 ab | Quebrachal | 2,16 ab | Isca Yacu | 2,33 ab |
| Leales | 50,89 abc | Leales | 1,89 ab | Leales | 2,51 b |
| Quimilí | 51,11 bc | Frías | 2,09 ab | Quebrachal | 2,56 b |
| Frías | 51,89 c | Quimilí | 2,16 b | Frías | 2,58 b |
| Quebrachal | 52,56 c | Chamental | 2,18 b | Chamental | 2,56 b |

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis para las variables hábito de crecimiento, vigor de rebrote y pilosidad en hoja de las 6 poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. evaluadas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

| Población | Largo hoja (mm) | Ancho hoja (mm) | Largo de infloresc. (mm) | N.º macollos vegetativos | N.º macollos reproductivos | TEF (mm/GDC) |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| Frías | 260,84 b | 12,53 b | 219,59 a | 49,60 a | 21,92 a | 7,71 a |
| Leales | 248,45 a | 11,36 b | 216,54 a | 50,74 a | 24,67 a | 7,10 a |
| Quebrachal | 259,89 b | 12,82 a | 217,05 a | 48,56 a | 23,08 a | 7,86 a |
| Isca Yacu | 256,84 b | 12,22 b | 214,96 a | 51,09 a | 25,95 a | 7,27 a |
| Quimilí | 267,89 b | 13,08 b | 230,40 b | 63,98 b | 35,48 b | 7,97 a |
| Chemical | 271,84 b | 13,85 c | 225,90 b | 66,00 b | 30,79 b | 8,30 a |

Tabla 4. Análisis de la varianza de poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. evaluadas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

| Población | Regresión | R ² |
|------------|----------------|----------------|
| Frías | 3,64 x + 20,48 | 0,47 |
| Leales | 3,69 x + 51,62 | 0,48 |
| Quebrachal | 4,02 x + 26,00 | 0,46 |
| Isca Yacu | 3,82 x + 37,38 | 0,40 |
| Quimilí | 3,54 x + 28,52 | 0,42 |
| Chemical | 4,57 x + 39,72 | 0,63 |

Tabla 5. Regresión entre milímetros de hoja elongados acumulados y grados días acumulados (mm/GDC) de las diferentes poblaciones de *Panicum maximum* y su ajuste (R²).

entre las poblaciones. En cuanto al ancho de hoja el valor promedio fue de 12,63 mm. Las plantas con hojas más largas y anchas correspondieron a la población de Chemical, con valores de 271,84 y 13,85 mm respectivamente.

El número de macollos en estado vegetativo medio producido por cada planta fue de 54,87, y aquellos que alcanzaron el estado reproductivo fueron 26,94. La población

con mayor número de macollos vegetativos fue Chemical (66,00), y la de menor valor fue Quebrachal (48,56). Con respecto a número de macollos reproductivos Quimilí presentó el mayor número (35,48) mientras que Frías presentó el valor más bajo (21,92).

El valor medio para el largo de inflorescencia en las poblaciones estudiadas fue de 220,73 mm, con valores que oscilaron entre 214,96 y 230,40 mm. Las inflorescencias de mayor longitud fueron observadas en la población de Quimilí y no se diferenciaron significativamente de las inflorescencias de las plantas de Chemical.

Los valores obtenidos de tasa de elongación foliar en este trabajo, que en parte definen el índice de área foliar y el potencial de crecimiento, no permitieron encontrar diferencias significativas entre las poblaciones. La población de Chemical presentó el valor más elevado (8,30 mm de hoja/GDC). El modelado y la relación entre las variables de la tasa de elongación foliar para cada población se presentan en la tabla 5.

Los valores obtenidos de coeficiente de variación ambiental y genética fueron elevados en el caso de número

| | Largo hoja (mm) | Ancho hoja (mm) | Largo de infloresc (mm) | N.º macollos vegetativos | N.º macollos reproductivos | TEF (mm/GDC) |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| $\delta^2 g$ | 703,57 | 8,38 | 439,27 | 504,6 | 320,27 | 0,9 |
| $\delta^2 e$ | 851,01 | 2,75 | 317,47 | 1043,39 | 223,21 | 15,91 |
| $\delta^2 f$ | 1554,59 | 11,13 | 756,74 | 1547,99 | 543,48 | 16,81 |
| GDG | 0,45 | 0,75 | 0,58 | 0,32 | 0,59 | 0,05 |
| CVG% | 10,16 | 22,92 | 9,49 | 40,94 | 66,43 | 12,8 |
| CVF% | 15,1 | 26,41 | 12,46 | 71,7 | 86,53 | 55,4 |
| CVA% | 11,12 | 13,13 | 8,07 | 58,87 | 55,45 | 53,9 |
| CVG/CVA | 0,91 | 1,74 | 1,17 | 0,7 | 1,2 | 0,23 |

Tabla 6. Variancia genética (δ^2g), ambiental (δ^2e) y fenotípica (δ^2f), heredabilidad en sentido amplio (GDG) y coeficientes de variación genético (CVG %), fenotípico (CVF %) y ambiental (CVA %) para diferentes caracteres en *Panicum maximum* Jacq.

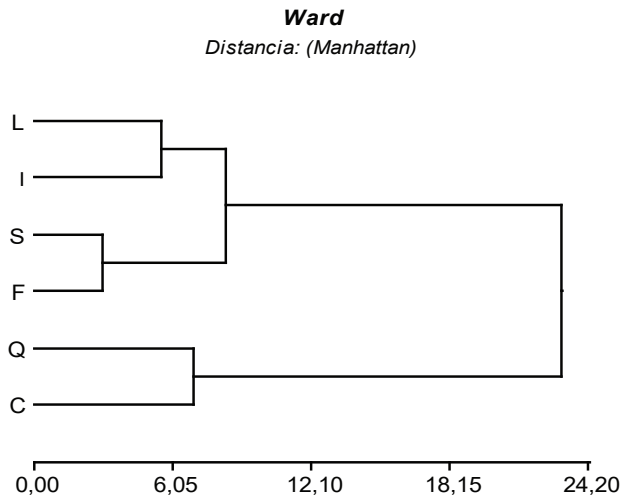


Figura 1. Dendrograma de clasificación multivariada de poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. L: Leales, I: Isca Yacu, S: Quebrachal, F: Frías, Q: Quimilí, C: Chemical.

Correlación cofenética= 0,938

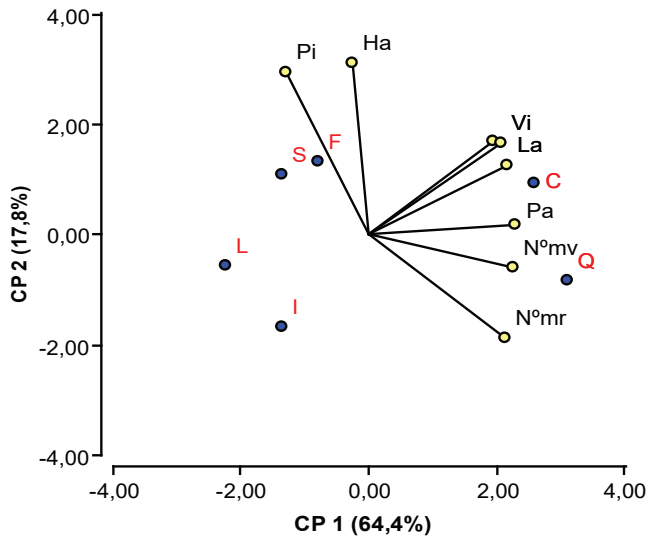


Figura 2. Análisis de componentes principales de 6 poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. a partir de variables estructurales. Pi: pilosidad, Ha: hábito de crecimiento, A: ancho de hoja, La: largo de hoja, Vi: vigor de rebrote, Pa: largo de inflorescencia, N.º mv: número de macollos vegetativos, N.º mr: número de macollos reproductivos. L: Leales, I: Isca Yacu, S: Quebrachal, F: Frías, Q: Quimilí, C: Chemical.

de macollos en estado vegetativo y reproductivo. Para el resto de las variables los valores fueron bajos (tabla 6).

La relación entre el coeficiente de variación genético y ambiental (CVG/CVA) fue alta para las variables ancho de hoja, largo de inflorescencia y número de macollos en estado reproductivo.

La variabilidad observada entre los orígenes de las accesiones se vio reflejada en el dendrograma resultante del análisis de cluster (figura 1). En el análisis multivariado no fue considerada la variable TEF. Las poblaciones de Leales e Isca Yacu presentaron plantas con menor vigor de rebrote y hábito de crecimiento más postrado. Las poblaciones de Quebrachal y Frías se separaron del resto por presentar un porte más erecto y por la presencia de una mayor longitud y densidad de pelos en hojas. Las plantas correspondientes a las poblaciones de Quimilí y Chemical fueron las de mayor ancho y largo de hoja, largo de inflorescencia y número de macollos vegetativos y reproductivos; estos materiales presentaron características de gran interés forrajero para ser utilizados en programas de mejoramiento.

El análisis de componentes principales permitió identificar aquellas variables más relevantes para analizar las agrupaciones (figura 2). De esta manera, las poblaciones fueron separadas según el largo de inflorescencia, carácter que explicó la mayor variabilidad conjuntamente con el hábito de crecimiento, explicando un 82% de la variación morfológica total. Al construir la componente principal 1, las poblaciones de Quimilí y Chemical se ubicaron contrarias al resto por su mayor largo de inflorescencia. Al construir la segunda componente, las poblaciones de Quebrachal, Frías y Chemical, con plantas de porte más erecto, se ubicaron contrarias a las poblaciones restantes con plantas de porte más postrado.

DISCUSIÓN

Estudios realizados sobre poblaciones naturales demuestran que la apomixis no produce la uniformidad que frecuentemente se sugiere, manteniéndose una gran diversidad en estas poblaciones (Berthaud, 2001). La selección de nuevos ecotipos permite la exploración de la variabilidad existente en la especie. La mayoría de los cultivares de gramíneas forrajeras apomícticas se derivan de la selección de los mejores ecotipos disponibles (Dall'Agnol, 2005).

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican la presencia de variabilidad genética entre las poblaciones para la mayoría de los caracteres evaluados. Cabe aclarar que fue visualizada la existencia de una gran variabilidad dentro de las poblaciones, lo cual podría interferir en la interpretación de los datos obtenidos. Existen estudios realizados en especies apomícticas facultativas (Carino, 1999) que revelan variación significativa entre poblaciones, pero mayor nivel de variación dentro de estas.

Una colección de poblaciones mantenidas bajo las mismas condiciones ambientales conserva en forma significativa las diferencias fenotípicas, demostrándose por lo tanto diferencias ecotípicas (Wu y Jain, 1978).

Los datos de origen geográfico, ecológico o ambiental fueron buenos indicadores de la divergencia observada entre las poblaciones de acuerdo a lo establecido por Hodgkin (1997). De esta manera, las marcadas diferencias presentes en algunos ambientes considerados en este estudio podrían indicar adaptaciones específicas (Burle

et al., 1999). La diferencia en las precipitaciones medias anuales de las localidades de Leales (880 mm) y Chamental (350 mm) permitió encontrar diferencias ecotípicas entre estas poblaciones. Asimismo, considerando la altura sobre el nivel del mar, las plantas pertenecientes a la población de Chamental (466 m s. n. m.) y Quimilí (134 m s. n. m.) presentaron distinto comportamiento. La información de los suelos de cada sitio podría aportar valiosa información sobre las diferencias encontradas entre las poblaciones, sin embargo, no fue considerada en este trabajo.

La estructura del canopeo en plantas forrajeras está determinada por el hábito de crecimiento y por la disposición de las hojas, y condiciona el manejo de las pasturas. La inclinación de las hojas juega un papel decisivo en la interceptación de la luz y por lo tanto en la fotosíntesis. El germoplasma de *Panicum maximum* evaluado en este trabajo presentó variabilidad en cuanto al hábito de crecimiento durante la etapa vegetativa ya que se observaron individuos de diferentes categorías de porte; los más abundantes fueron los semierectos. Estos resultados no son coincidentes con Moore *et al.* (2006) quienes la describen con un hábito de crecimiento mayormente erecto.

La capacidad de rebrote en todas las poblaciones evaluadas fue adecuada, lo que indicaría la posibilidad de realizar pastoreos tempranos. Chamental fue la población de mayor capacidad de rebrote por lo que podríamos esperar una mayor tolerancia a defoliaciones.

En relación con la pilosidad de hojas, tanto en longitud como en densidad, las diferencias encontradas en los materiales podrían atribuirse a una modificación en su morfología en respuesta a las condiciones ambientales en las que se desarrollaron. Muchos estudios han documentado el papel de estas estructuras en la mitigación de las condiciones estresantes que se presentan a lo largo de gradientes altitudinales (Körner, 2003). Dentro de sus funciones, destacan la regulación de la economía hídrica (Wagner, 2004), su papel como barrera protectora contra la alta radiación (Levizou *et al.*, 2004) y la regulación de la difusión de gases (Brewer y Smith, 1994). Las plantas de las poblaciones de Frías, Chamental y Quebrachal presentaron mayor densidad y longitud de pelos, lo que les permitiría atenuar los efectos de las condiciones ambientales presentes en cada sitio. Los materiales pertenecientes a Chamental presentaron además los mayores valores de largo y ancho foliar; similares a los presentados por las plantas de la población de Quimilí. Por lo tanto, para estas poblaciones y con un manejo adecuado, podrían obtenerse mayores ganancias de peso vivo de los animales en pastoreo; teniendo en cuenta que la longitud y el ancho foliar determinan el área de la lámina, variable altamente asociada con la producción de materia seca (Chapman y Lemaire, 1993).

En gramíneas forrajeras la producción está determinada por el número de macollos, carácter que, junto con el peso de estos, varía con el genotipo y el ambiente y representa una característica de gran interés en los programas de selección de forrajeras. Los materiales de Quimilí y Chamental se diferenciaron significativamente del resto de las pobla-

ciones en cuanto al número de macollos. Este comportamiento, considerado como respuesta adaptativa frente a la selección natural, no es coincidente con lo observado en materiales mejorados, donde la selección por tamaño foliar puede conducir a la obtención de plantas con bajo número de macollos (Nelson y Sleeper, 1983; Alonso, 2004).

El número de inflorescencias por unidad de área es el principal componente en determinar los mayores rendimientos de semilla y, de acuerdo con Díaz *et al.* (2004), para que una especie tenga importancia en el plano económico es indispensable que tenga un potencial satisfactorio en la producción de estas. Junto con el número de varas floríferas, la longitud de la inflorescencia es una variable que indirectamente nos indica una mayor producción de semillas.

Busque (2000) indicó que el conocimiento del funcionamiento del proceso de expansión de las hojas es fundamental para planificar los ciclos de pastoreo, con el fin de obtener buenos índices productivos, sin poner en peligro la persistencia de la pastura. Los valores obtenidos de tasa de elongación foliar en este trabajo no permitieron encontrar diferencias significativas entre las poblaciones.

Las diferencias significativas evidenciadas en este estudio responden a lo establecido por Whyte *et al.* (1959) respecto a que los cambios en los caracteres suelen ocurrir en respuesta a variantes macroclimáticas que ejercen su acción durante un período prolongado, de tal forma que involucre recambio poblacional.

Con respecto a los coeficientes de variación, Pistorale (2008) indica que existe una situación muy favorable para la ganancia por selección cuando la relación CVG/CVA tiende a uno o es superior a uno, ya que, en estos casos, la variación genética es mayor que la variación ambiental, lo que indica que la selección para estos caracteres tiene las mejores condiciones en términos de ganancia genética inmediata. Tales caracteres en este estudio corresponden a ancho de hoja, largo de inflorescencia y número de macollos reproductivos.

La heredabilidad en sentido amplio o grado de determinación genética (GDG) expresa la variabilidad genética potencial (Falconer, 1989) y los valores obtenidos para los caracteres evaluados en este estudio indican procesos de diferenciación poblacional efectivos y sugieren la posibilidad de realizar selección sobre ellos.

CONCLUSIÓN

En este estudio un total de seis poblaciones de *Panicum maximum* Jacq. fueron coleccionadas y se encuentran establecidas en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (INTA); esta colección es una muestra representativa de germoplasma naturalizado bajo condiciones locales definidas de Argentina. Los datos obtenidos a partir de la caracterización estructural y morfogenética permitieron detectar una importante variabilidad genética interpoblacional y constituyen un punto de inicio para llevar adelante un programa de mejoramiento genético tendiente a lograr

incrementos en la producción forrajera regional. Podemos sugerir que los materiales pertenecientes a la población de Chemical representan una población promisoría para lograr mejoras genéticas en la especie; aun siendo su sitio de procedencia fronterizo de la verdadera área de distribución del cultivo. Estos resultados son los primeros obtenidos en *Panicum maximum* Jacq. en Argentina. La existencia de estos antecedentes posibilitaría continuar investigando con la finalidad de lograr progresos en la intensificación ganadera.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Posgrado de INTA por la financiación y al grupo de Forrajes y Pasturas del IIACS por la colaboración en las tareas a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, S. 2004. Evaluation of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) populations naturalized in the flooding pampa of Argentina: I - Morphological and physiological characters at the juvenile stage. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51, (7) 747-758.
- BARNARD, C. 1972. Register of Australian herbage plant cultivars. CSIRO Australia, Division of Plant Industry. 260 p.
- BERTHAUD, J. 2001. Apomixis and management of diversity. En: SAVIDAN, Y.; CARMAN, J.; DRESSELHAUS, T. (eds.). The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. CIMMYT, IRD, México. 243 p.
- BREWER, C.; SMITH, W. 1994. Influence of simulated dewfall on photosynthesis and yield in soybean isolines (*Glycine max* (L.) merr. cv Williams) with different trichome densities. *International Journal of Plant Science* 155 (4), 460-466.
- BURTON, G.; DE VANE, E. 1953. Estimating heredability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal* 45 (2), 487-488.
- BURLE, M.; ALLEM, A.; ABADIE, T.; COSTA I.; FUKUDA, W. 1999. The use of environmental maps in GIS as a tool for cassava genetic resources classification. *Cassava Biotechnology: IV International Scientific Meeting*, CBN. 626 p.
- BUSQUE, J.; HERRERO, M. 2000. Atributos funcionales de las plantas forrajeras y su implicancia en el manejo de pasturas. En: HERRERO, M.; RAMIREZ, A. (eds.). *Manejo y Utilización de Pasturas Tropicales*. Pasturas Tropicales, Volumen Especial. CIAT, Colombia.
- CARINO, D.A.; DAEHLER, C.C. 1999. Genetic variation in an apomictic grass, *Heteropogon contortus*, in the Hawaiian Islands. *Molecular Ecology* 8 (12), 2127-2132.
- CHAPMAN, D.; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. En: BAKER, M. (ed). *Grassland of Our World*. SIR Publishing, Wellinston, Nueva Zelanda. 55-64.
- COMBES, D.; PERNÉS, J. 1970. Variations dans le nombres chromosomiques du *Panicum maximum* Jacq. en relation avec le mode de reproduction. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, Paris. 270, 782-785.
- DALL'AGNOL, M.; SCHIFINO WITTMAN, M. 2005. Apomixis, genetic e melhoramento de plantas. *Revista brasileira Agrociencia*, Pelotas. 11 (2), 127-133.
- DAUBENMIRE, R. 1979. *Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de Plantas*. Ed. Limusa. México. 496 p.
- DÍAZ, M.; ECHENIQUE, V.; SCHRAUF, G.; CARDONE, S.; POLCI, P.; LUTZ, E.; SPANGENBERG, G. 2004. Biotecnología y mejoramiento genético de especies forrajeras. *RIA* 33 (3), 77-104.
- DI RIENZO, J.A.; GUZMÁN, A.W.; CASANOVES, F.A. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 7 (2), 129-142.
- DI RIENZO, J.A. 2008. *INFOSTAT/PROFESIONAL*. Software estadístico. Manual del usuario. Versión 2008.
- DUKE, J. 1983. *Panicum maximum* Jacq. Handbook of Energy Crops. (Disponible: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Panicum_maximum.html verificado: 03 de febrero de 2017).
- FALCONER, D.S. 1989. *Introducción a la genética cuantitativa*. Compañía Ed. Continental. México. 383 p.
- HODGKIN, T. 1997. Some current issues in the conservation and the use of plant genetic resources. En: AYAD, W.G.; HODGKIN, T.; JARADAT, A.; RAO, V.R. (eds.). *Molecular genetic techniques for plant genetic resources*. IPGRI Workshop, 3-10.
- KÖRNER, C. 2003. *Plant Alpine Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2.º ed. Springer. Berlín. 359 p.
- LEVIZOU, E.; DRILIAS, P.; PSARAS, G.; MANETAS, Y. 2004. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur. *New Phytologist* 165 (2), 463-472.
- MOORE, G.; SANFORD, P.; WILEY, T. 2006. *Perennial pastures for Western Australia*. Department of Agriculture and Food, Western Australia, Bulletin 4690. 26 p.
- NELSON, C.I.; SLEPPER, D.A. 1983. Using leaf area expansion rate to improve yield of tall fescue. *Proc. xiv International Grassland Congress*, Lexington. 413-416.
- PISTORALE, S.M.; ABBOTT, L.A.; ANDRÉS, A. 2008. Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e Investigación Agraria* 35 (3), 259-264.
- RICHARDSON, D.M.; PYSEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M.G.; PANETTA, F.D.; WEST, C.J. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity Distributions*. 6 (2), 93-107.
- SACKVILLE HAMILTON, N.R.; CHORLTON, K.H. 1995. Collecting vegetative material of forage grasses and legumes, Plant Science Division, IGER, Plas Gogerddan, Aberystwyth, Dyfed SY23 3EB, Reino Unido. 467-484.
- SAVIDAN, Y.; PERNÉS, J. 1982. Diploid - tetraploid - dihaploid cycles and the evolution of *Panicum maximum* Jacq. *Evolution* 36 (3), 596-600.
- SHING, M.; CECCARELLI, S.; HAMBLIM, J. 1993. Estimation of heritability from varietal trials data. *Theoretical and Applied Genetics* 86 (4), 437-441.
- TURESSON, G. 1922. The genotypical response of the plant species to the habitat. *Heredities* 3 (3), 211-350.
- WAGNER, G.; WANG, E.; SHEPHERD, R. 2004. New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome. *Annals of Botany* 93 (1), 3-11.
- WARMKE, H.E. 1954. Apomixis in *Panicum maximum*. *American Journal of Botany* (1), 5-11.
- WHYTE, R.O.; MOIR, T.R.; COOPER, J.P. 1959. Las gramíneas en la agricultura. *FAO Estudios Agropecuarios* N.º 42, Roma. 465 p.
- WU, K.; JAIN, S. 1978. Genetic and plastic responses in geographic differentiation of *Bromus Rubens* populations. *Canadian Journal of Botany*. 56 (7), 873-879.

Composition and thermal properties of starch in flint maize (*Zea mays*, L.) kernels: location and crop management effects

ACTIS, M.¹; FARRONI, A.E.²; ANDRADE, F.H.^{1,3,4}; VALENTINUZ, O.R.⁵; CIRILO, A.G.²

ABSTRACT

Flint maize kernels are processed by the dry-milling industry to produce the flaking grits used thereafter in the corn flakes industry. Flaking-grit yield during milling depends on kernel hardness whereas corn flakes production involves starch gelatinization. Starch composition influences both characteristics of maize kernels. The objective of this work was to analyze the effect of different crop environments and management practices on starch composition of kernels and its thermal properties. Two flint maize hybrids (Cóndor and Morgan, 306) were grown at three locations (Balcarce, Pergamino and Paraná, located in a latitudinal transect of 6°) with different plant densities (7.5 and 9 plants/m²), sowing dates (early and late), and fertilizing rates (with and without additional N and S-fertilizer near silking) during two growing seasons (2003-2004 and 2004-2005). Crop biomass accumulated from silking to physiological maturity was measured and mean kernel weight was calculated at harvest. Kernel hardness was estimated by mean of the test weight and percent floaters. Amylose and starch concentration in kernels were determined. Starch thermal properties were analyzed by differential scanning calorimetry and endotherm parameters were calculated. Cropping conditions modified starch composition of kernels. Amylose/starch ratio decreased as air temperature decreased from the north to the south and by delaying sowing date. Deposition of amylose in the endosperm of the kernels increased as growing conditions for crop growth improved during kernel filling. Starch thermal properties were also modified by these changes in starch composition. The onset and peak temperatures, gelatinization enthalpy, and peak height index were positively associated with amylose concentration and amylose/starch ratio, whereas the gelatinization temperature range was negatively associated with both kernel attributes. The results reported herein would contribute to foresee the effect of location and agricultural practices on kernel quality of flint maize, and to make appropriated management adjustments to obtain a product that meets the market needs.

Keywords: flint-maize, kernel hardness, starch composition, starch thermal properties.

¹Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Ruta Nacional 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: actis.marcos@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Av. Frondizi km 4,5 (B2700WAA), Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: farroni.abel@inta.gob.ar, cirilo.alfredo@inta.gob.ar

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Ruta Nacional 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: andrade.fernando@inta.gob.ar

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1033AAJ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Paraná, Ruta 11 km 12,5 (E3100XAD), Paraná, Entre Ríos, Argentina. Correo electrónico: valentinuz.oscar@inta.gob.ar

Received August 13th 2017 // Accepted September 14th 2018// Published online 08th April 2020

RESUMEN

Los granos de maíz flint son procesados por la industria de la molienda seca para producir los flaking grits que son utilizados luego en la industria de corn flakes. El rendimiento de flaking grits durante la molienda depende de la dureza del grano, mientras que la producción de corn flakes involucra la gelatinización del almidón. La composición del almidón influye ambas características del grano de maíz. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de diferentes ambientes de producción y prácticas de cultivo sobre la composición del almidón y sus propiedades térmicas. Dos híbridos de maíz flint (Cóndor y Morgan, 306) fueron cultivados en tres localidades (Balcarce, Pergamino y Paraná, ubicadas en una transecta latitudinal de 6°) con diferentes densidades de plantas (7,5 y 9 plantas/m²), fechas de siembra (temprana y tardía), y dosis de fertilización (con y sin agregado adicional de fertilizante con N y S cerca de la floración) durante dos campañas agrícolas (2003-2004 y 2004-2005). Se midió la biomasa acumulada desde floración hasta madurez fisiológica y se estimó el peso medio del grano en la cosecha. La dureza del grano se estimó a través del peso hectolítrico y el porcentaje de flotación. Se determinó la concentración de amilosa y almidón. Las propiedades térmicas del almidón se evaluaron por calorimetría diferencial de barrido y se estimaron los parámetros de las endotermas. Las condiciones de crecimiento modificaron la composición del almidón de los granos. La relación amilosa/almidón se redujo a medida que la temperatura del aire descendió de norte a sur y por retraso de la siembra. La deposición de amilosa en el endosperma de los granos aumentó cuando las condiciones para el crecimiento del cultivo mejoraron durante el llenado de los granos. Las propiedades térmicas del almidón también se modificaron con estos cambios en la composición del almidón. Las temperaturas de inicio y pico de gelatinización, la entalpía de gelatinización y el índice de altura de pico se asociaron positivamente con la concentración de amilosa y la relación amilosa/almidón, mientras que el rango de temperatura de gelatinización se asoció negativamente con ambos atributos del grano. Los resultados aquí reportados pueden contribuir a prever los efectos de la localidad y prácticas de cultivo sobre la calidad de maíz flint y hacer los ajustes de manejo del cultivo apropiados para obtener un producto final que satisfaga las necesidades del mercado.

Palabras clave: maíz flint, dureza de grano, composición del almidón, propiedades térmicas del almidón.

INTRODUCTION

Dry-milling industry processes kernels of maize to provide the flaking grits used in the corn flakes industry (Orthofer and Eastman, 2004). Flaking-grit yield during milling depends on kernel hardness. Flaking-grit yield of flint maize is greater than those of dent or semi-dent maize because of higher kernel hardness. Kernel hardness is related to the proportion of horny endosperm of higher density (Kljak *et al.*, 2018). Robutti *et al.* (2000) reported that the horny endosperm presented higher amylose concentration than the floury endosperm. Kernel endosperm is mainly composed of protein and starch. Starch represents ~70% of the maize endosperm and it consists of two types of carbohydrate chains, amylose and amylopectin. Amylose is predominantly composed of linear chains of glucans, whereas amylopectin has branched chains. The starch is contained in granules immersed in the protein matrix of the endospermic cells (Sabelli and Larkins, 2009). Endosperms with high amylose/starch ratio are more compressible by the protein matrix during grain-filling period and therefore become denser and harder at harvest than endosperms with a high proportion of amylopectin (Dombrink-Kurtzman and Knutson, 1997). In turn, flaking grits obtained by the dry-milling industry are cooked in boiling syrup to elaborate the corn flakes. Through this procedure, the flaking

grits achieve a softening and translucent aspect as the result of water intake and starch gelatinization (Fast, 2001; Farroni and Buera, 2012). Resulting gelatinized grits are then immediately pressed and toasted and, after that, the resulting corn-flakes become ready for packing (Johnson *et al.*, 2011). It would be expected that differences in starch composition will also modify the onset, extend, and energy requirement of the gelatinization process and, then, would affect the energy requirement for cooking during the elaboration of corn flakes.

The starch composition is an heritable attribute of maize kernels (Robutti *et al.*, 2000; Sandhu *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2006; Srichuwong and Jane, 2007; Popescu *et al.*, 2010; Ali *et al.*, 2016). Kernel starch composition may vary depending on the type of maize. The normal maize starch contains ~23-25% of amylose, but there is a broad range among maize types. In fact, while the waxy maize has only ~0-1% of amylose, the amylose-extender maize presents ~50-70% of amylose (Singh *et al.*, 2005). The cropping conditions also affect starch composition of maize kernels. Recently, Martinez *et al.* (2017) reported crop environment and management effects on starch composition of kernels for maize hybrids of different hardness. In turn, genotype (Ji *et al.*, 2003; Scott and Duvick, 2005; Tziotis *et al.*, 2005) and environment (Ng *et al.*, 1997; Ji

et al., 2004a; Lenihan *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2014) effects on the starch structure and thermal properties were reported in the literature. Nevertheless, there is still scarce information about the influence of the environment and the cropping conditions on starch composition of maize kernels and its thermal properties. The objective of this work was to analyze the effect of locations and crop management practices on starch composition and its thermal properties in two commercial orange-flint hybrids grown in the main maize-production area of Argentina.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments

Two commercial hybrids of flint maize were evaluated: (i) Cónдор (from Syngenta Agro S.A.), which is a modern hybrid with high grain yield potential but with unstable flint-type expression, and (ii) Morgan 306 (from Dow AgroSciences S.A.), which is an old hybrid with limited grain yield potential but with strong flint-type expression. Field experiments were conducted in the Argentina's main maize-production area. We selected three representative locations along a south to north transect: (i) Balcarce (latitude 37° 50' S, longitude 58° 15' W) with the lowest thermal and radiation conditions; (ii) Pergamino (latitude 33° 53' S, longitude 60° 34' W), with intermediate temperature and radiation levels; and (iii) Paraná (latitude 31° 43' S, longitude 60° 32' W), with the highest temperature and radiation regimes. Experiments were conducted during two cropping seasons (2003–2004 and 2004–2005). Four different crop management treatments were imposed at each location: (i) *control*: early sowing date (mid-October) with a population of 7.5 plants/m²; (ii) *high density*: early sowing date (mid-October) with a population of 9 plants/m²; (iii) *refertilization*: early sowing date (mid-October) with a population of 7.5 plants/m² and nitrogen (N, 10 g/m²) and sulfur (S, 4 g/m²) addition to the soil at pre-silking (at V₁₅ to V_T crop stage; Ritchie *et al.*, 2008); and (iv) *late sowing*: late sowing date (mid-December; except for Paraná in the second season when sowing took place on January 3rd) with 7.5 plants/m². At each location, treatments were arranged in a split-plot design with three replicates. Crop management treatments were assigned to the main plots and the hybrids to the sub-plots. In all experiments, each sub-plot had 35 m² (5 rows, 0.70 m apart, and 10 m long). Every plot was fertilized at the crop stage V₆ (Ritchie *et al.*, 2008) with 4 to 8 g N/m² (source: urea) according to local expert estimates for maize production. Phosphorus fertilizer was also added into the top layer of the soil by pre-sowing application of 3 g P/m² (source: calcium triple super-phosphate). Potassium soil levels were naturally high at all evaluated locations. Insects, weeds, and diseases were appropriately controlled. Plots were hand-planted at three seeds per hill, and thinned to the desired plant population at V₃ (Ritchie *et al.*, 2008). Water stress was prevented by means of sprinkler irrigation, keeping available soil water content over 50% in the uppermost 1 m of soil throughout the growing season. Rain accumulation throughout the crop growing cycle ranged

across locations from 422 to 644 mm for the early sowings and from 270 to 951 mm for the late ones. Daily rain, mean air temperature and incident solar radiation data were obtained from standard weather stations installed not farther than 500 m from each experimental site.

Kernel weight, post-silking biomass and source-sink ratio

At harvest time, all plant ears in 4 m of each of the three central rows were sampled in each plot (total surface: 8.4 m²). Resulting kernel samples were weighed, their moisture was determined, and the weight was corrected to kernel moisture of 140 g/kg and expressed by m². Kernel weight (KW) in dry basis (db) was determined by weighing samples of 500 kernels per plot, previously dried at 60–65°C for 20 days until constant weight. Kernel number (KN) per unit area was calculated as the quotient between grain yield expressed in db and KW. Post-silking biomass (BIOM) accumulation was determined by taking plant samples at silking (i.e., when 50% of the plants reached silking) and physiological maturity (i.e., when 50% of the plants reached 75% milk line in kernels from the mid portion of ears) from the three central rows of each plot. The sample size was 10 plants per plot, leaving appropriate border rows and border plants within the sampled rows. Plants were cut at ground level, grinded, dried in an air-forced oven at 60–65°C for 10 days and weighed. Mean plant weight of samples and plant density were used to calculate dry matter per square meter. Post-silking biomass accumulation was calculated as the difference between biomass at physiological maturity and at silking. Post-silking source-sink ratio (SSR; in mg/kernel) was calculated as the ratio between BIOM accumulation and KN per unit area. The source-sink ratio was used as an estimator of photo-assimilates availability per growing kernel during grain-filling period.

Kernel hardness estimation

Kernel hardness was estimated by the determination of test weight (TW) and percent floaters (PF) in pooled samples from each experimental unit. Test weight was determined in kernel samples of ≈400 g from each harvested plot, using a Tripette & Renaud TR-77400 instrument. Values were expressed in kg/hl. Higher TW values are generally related to flintier kernels (Robutti *et al.*, 2000). Percent floaters values were determined according to Lepes *et al.* (1976). One hundred of whole kernels from each harvested plot were placed in a 250 ml beaker with ≈170 ml of carbon tetrachloride and kerosene mixture with a 1.305 g/cm³ density at 25°C. After being briefly stirred with a glass rod, the floating kernels were counted. Values were expressed in percentage. Lower values of this test indicate flintier kernels (Robutti *et al.*, 2000).

Amylose and starch determination

Amylose (Am, %) and starch concentration (St, %) in kernels were determined by spectrophotometry. The Knutson (1986) method modified by Robutti *et al.* (2000) was used for

amylose determination. Starch was solubilized in dimethylsulfoxide (DMSO) at 70°C during 48 hr. Absorbance of amylose-iodine complex was measured at 600 nm. Starch concentration in kernel was analyzed by the method of Dubois et al. (1956) and absorbance for starch was measured at 490 nm. Single measurements for both variables were performed on pooled samples from each harvested plot and results were expressed in db. Amylose/starch ratio (Am/St, %) was calculated as the quotient between both variables. The amylose (Am, mg) and starch content (St, mg) per kernels was obtained by multiplying their concentration by the mean KW (data of KW was reported in Cirilo *et al.*, 2011).

Starch thermal properties measurement

Differential scanning calorimetry (DSC) methodology was used to analyze starch thermal properties (Seetharaman *et al.*, 2001; Yu and Christie, 2001; Ai and Jane, 2018) on pooled samples for each harvested plot from the field experiments. A DSC Perkin-Elmer Pyris 6 (Perkin-Elmer, Norwalk, CT) was used. Starch extraction was performed according to the procedure described by White *et al.* (1990) procedure with modifications introduced by Ji *et al.* (2004b). Briefly, five whole mature kernels were selected and incubated in 15 ml tubes with 2 ml of sodium metabisulfite 0.45% w/v at 45°C for 48 ± 4 hr. Then, the germ and pericarp were manually extracted using bistoury and histology nippers. Endosperms were placed in 50 ml centrifuge tubes with 25 ml of distilled water and were homogenized in a tissue homogenizer (Ultra-Turrax T25, 600 W, Tekmar, Cincinnati, OH) at 1,600 rpm in two periods of 30 sec. Then, the ho-

mogenized liquid was filtered through a 30 µm pore size nylon membrane. The preparation was decanted in a 250 ml beaker at 4°C during 2 hr. After that, water was discharged, and starch was dried at room temperature for 4 hr under fan air current. Finally, the starch was removed with a spatula and it was temporarily stored in glass vials. Starch samples (3 to 6 mg) were weighted on aluminum pans and water was added at 1:2 starch/water ratio. Pans were sealed and allowed to stand for 30 min at room temperature. A linear temperature gradient from 30 to 120°C at a heating speed of 10°C/min was used for starch gelatinization and corresponding endotherms were obtained. Previously, Indio and Zinc standards were used to calibrate the equipment. Thermograms were analyzed using Pyris software for Windows (v2.04, Perkin-Elmer, Norwalk, CT) to characterize starch thermal properties: gelatinization onset temperature (T_{oG}) is the temperature at which the gelatinization process starts; gelatinization peak temperature (T_{pG}) is the temperature at which the process achieves its maximum; gelatinization enthalpy (DH_G) was calculated from area under the endotherm curve and is the amount of energy needed to complete the gelatinization process; gelatinization range (R_G) is the range of temperatures over which gelatinization occurs and was calculated as $2*(T_{pG} - T_{oG})$. Narrow values for R_G would reveal that the granule size distribution is homogeneous and hence starch gelatinization progress rapidly. In turn, lower values for T_{oG} as well as for DH_G indicate less energy required for starch gelatinization. The gelatinization peak temperature (T_{pG}) indicates the change of state for the starch, and the peak height index (PHI), expressed as the ratio between the energy needed and the half of the temperature range for the process, gives a measure of the

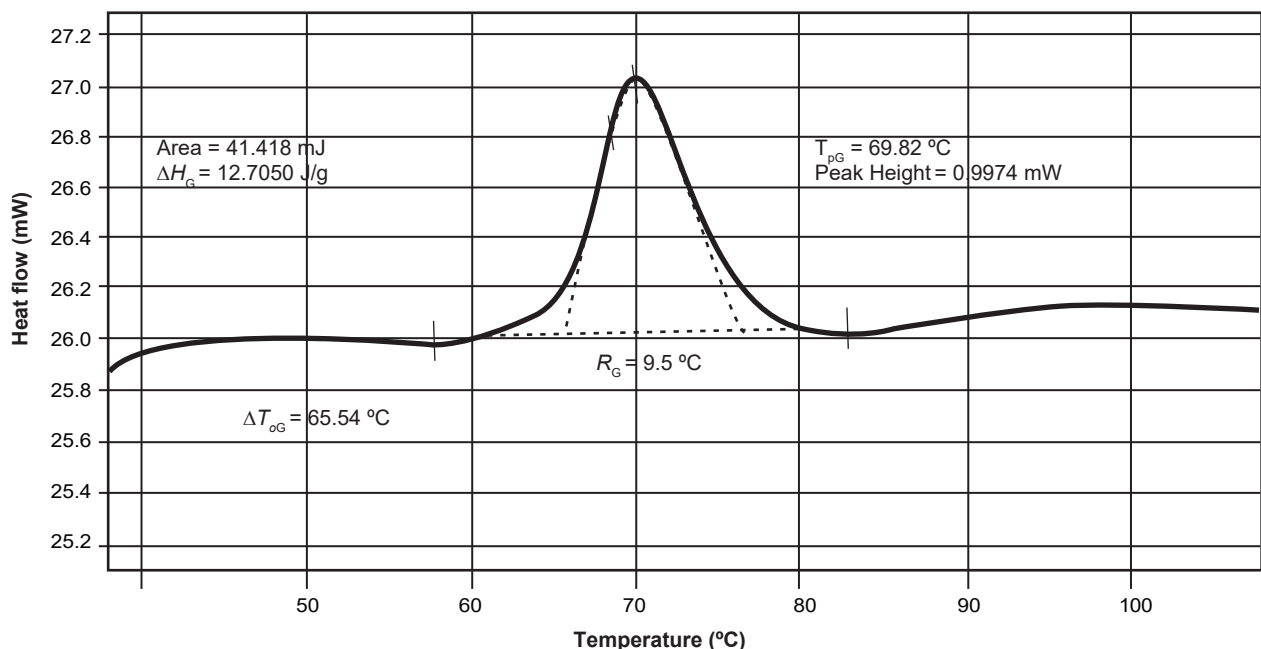


Figure 1. Starch gelatinization endotherm corresponding to hybrid C3ndor grown under the control management at Pergamino in the 2003-04 growing season. A linear temperature gradient at a heating speed of 10°C/min was used. The bold line represents the heat flow during the process. Dotted lines indicate the software simplification over the curve to make parameter calculations.

uniformity of starch gelatinization (Krueger *et al.*, 1987). figure 1 shows an example of an endotherm graph obtained during starch gelatinization of a sample.

Statistical analysis

Combined analysis of variance over locations and years were made to evaluate the effects of hybrids, locations, crop managements and their interactions on the response variables. Locations and years were assumed as fixed effects in the analyses. The Tukey's test ($p < 0.05$) was used for mean comparisons. Partial correlation coefficients among variables were calculated. All statistical analyses were performed using the InfoStat statistical software (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTS

Air temperature and incident solar radiation during grain-filling period at the field

Mean temperature and mean daily incident radiation during the grain-filling period (from silking to physiological maturity) varied according to location and sowing dates (table 1). For more details view Cirilo *et al.* (2011).

Crop post-silking biomass and source-sink ratio

Growth location and crop management significantly affected the BIOM, no significant differences between hybrids were found. Mean values for this variable were higher at Pergamino compared to the northern and southern locations (1437 vs. 1074 g/m² for Pergamino and the other locations, respectively). Late sowing date markedly decreased crop dry matter accumulation from silking to physiological maturity. Post-silking biomass accumulated in late sown

plots reached nearly 60% of that corresponding to early sown ones (797 vs. 1328 g/m² for late and early sowings, respectively). This effect was more noticeable during the second season because of the unusual behavior of late sown crops at Paraná. The post-silking biomass had a significant positive association with mean daily incident radiation during the post-silking period ($r^2 = 0.58$, $n = 12$, $p < 0.01$), which varied according to sowing date and location.

Variations in the BIOM accumulated during the post-silking period and in the KN harvested per unit area (data not shown) generated a wide range of SSR during grain-filling period. Values of this ratio ranged from 272 to 582 mg/kernel in 2003-04, and from 154 to 617 mg/kernel in 2004-05. The hybrid Morgan 306 always showed higher post-silking SSR compared to Cándor (405 vs. 342 mg/kernel, respectively). This difference resulted from the low KN set by Morgan 306 and the similar BIOM production between hybrids. In turn, SSR values were higher at the intermediate location of Pergamino (419 mg/kernel) compared to the northern and southern locations (mean of 355 mg/kernel). This variable was significantly affected by crop management. Late sowings showed very low values because the reductions in BIOM production were larger than those in kernel set when sowing was delayed. Nevertheless, significant interactions between crop management, year, and location were found. In fact, the high BIOM accumulation during the post-silking period in the first growing season at Paraná, and the low kernel set in the second season at Pergamino contributed to explain those interactions.

Kernel weight and hardness

Kernel weight was affected by the treatments. Morgan 306 showed weightier kernels than Cándor (251 vs. 243 mg, respectively). In turn, kernel weight in Pergamino was always higher compared to the other locations. Weightiest

| Location | Sowing date | Daily mean air temperature (°C) | | Daily mean incident solar radiation (MJ/m ²) | |
|-----------|--------------|---------------------------------|------------|--|------------|
| | | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 |
| Balcarce | Early sowing | 20.0 ± 3.4 ^a | 18.3 ± 3.9 | 17.3 ± 5.4 | 15.7 ± 5.4 |
| | Late sowing | 17.2 ± 4.6 | 15.8 ± 3.6 | 12.7 ± 5.0 | 12.4 ± 3.6 |
| Pergamino | Early sowing | 22.1 ± 3.0 | 22.1 ± 3.8 | 24.7 ± 5.0 | 21.9 ± 6.0 |
| | Late sowing | 21.0 ± 2.6 | 19.2 ± 3.3 | 19.8 ± 5.6 | 16.7 ± 5.3 |
| Paraná | Early sowing | 23.4 ± 3.3 | 24.2 ± 3.5 | 23.4 ± 6.5 | 22.8 ± 6.5 |
| | Late sowing | 20.7 ± 4.4 | 17.7 ± 4.3 | 16.7 ± 6.8 | 13.1 ± 6.4 |

Table 1. Mean temperature and mean daily incident radiation averaged from silking to physiological maturity of two orange-flint maize hybrids grown at three locations with four different crop managements without water restrictions during 2003–2004 and 2004–2005 growing seasons (previously reported in Cirilo *et al.*, 2011).

^aData shown are means ± standard deviation.

kernels were harvested when maize was sown earlier, at low plant density and refertilized near silking. Late sowing date produced kernels with lower weight in most cases. Kernel weight for late sowings at Paraná showed an opposite behavior in both years. In fact, it was as high as that obtained in early sowings in the first year but also low in the second year. Reductions in weight per kernel in response to late sowings were more pronounced at Balcarce than at the other locations for both years (27 vs. 19% in 2003-04, and 19 vs. 6% in 2004-05).

Kernel hardness was also affected by the treatments. The hybrid Morgan 306 always recorded higher TW than Cónдор (average of 80.5 vs. 78.2 kg/hl, respectively). In turn, maize kernels achieved the highest TW value at Pergamino (i.e., 80.5 kg/hl, mean for both hybrids), whereas the lowest one was obtained at the southern location of Balcarce (i.e., 78.1 kg/hl). Crop management practices also significantly affected TW. In fact, the highest TW value was measured when early-sown maize was refertilized (average of 80.0 kg/hl), whereas the lowest one was obtained at late sowings (i.e., 78.1 kg/hl). The difference between both crop managements was more evident at Balcarce (79.3 vs. 75.2 kg/hl, average of both hybrids and years). These responses revealed that while the old hybrid Morgan 306 matched the dry-milling industry requirement for premium quality (i.e., 79 kg/hl) in almost all situations, the new high-yielding hybrid hardly achieved that requirement.

The hybrid Morgan 306 presented lower PF values than Cónдор (average of 1.2 vs. 17.0%, respectively for each hybrid), but these differences were more noticeable at Balcarce and Paraná. In turn, refertilization of early-sown maize decreased PF for hybrid Cónдор, reducing the differences between hybrids. This effect was more evident in Balcarce and Paraná than in Pergamino. Moreover, delayed sowing and high plant density resulted in increments in this variable for Cónдор, with larger effects in Balcarce (for both years) and Paraná (only for the second year) compared to Pergamino. Almost 40% of the data corresponding to Cónдор (mainly from late sowing date and high density at the southern and northern locations) exceeded that limit, whereas all data from Morgan 306 were below it (Cirilo *et al.*, 2011).

Starch and amylose in kernels and amylose/starch ratio

Starch concentration in kernels was slightly lower at Pergamino than at the other locations (i.e., 71.6% at Pergamino and an average of 75.2% for the other two locations, table 2). Starch content per kernel varied according to cropping conditions. Kernels from Pergamino showed the highest starch content in comparison to the other locations. When fertilizer was added close to silking, the amount of starch accumulated in kernels increased significantly. Nevertheless, significant interactions were found between location and crop management in both growing seasons, mainly because of the lower starch deposition in kernels when maize was sown late at the southern location (Balcarce). Cónдор hybrid generally showed higher starch concentration than Morgan 306 (74.6 vs. 73.3%, respectively). However, higher starch accumulation was observed for Morgan 306 only

during the second season, resulting in a significant interaction effect between year and hybrid.

Amylose concentration in kernels increased from Balcarce, the coldest location situated at the highest latitude, to Paraná, the warmest location at the lowest latitude. This trend was more noticeable during the 2004-05 growing season (table 2). Nevertheless, kernels from Pergamino showed higher Am (mg) than kernels from other locations. On the other hand, Am (mg) was lower for late sowing dates, but this trend was less important for Paraná in the first season and for Pergamino in the second one, revealing a significant interaction between growing location and crop management. In turn, Am (mg) in kernels was higher during the 2003-04 growing season, but important effects of cropping conditions were evident for each season. In fact, the refertilization treatment increased amylose accumulation in kernels; however, late sowing dates reduced said concentration compared to the other crop managements. Hybrid Cónдор showed higher Am (%) than Morgan 306.

Amylose/starch ratio was higher in 2003-04 and increased from Balcarce to Paraná (i.e., 32.2 and 33.7%, respectively, as means for both years; table 2). The delay in sowing date significantly reduced this ratio in the 2004-05 growing season (32.6 vs. 31.1%, as means for early and late sowings, respectively).

Starch thermal properties

Starch thermal properties varied according to year, location, crop management and hybrid (table 3). T_{og} , T_{pg} , and R_G were slightly higher for the first growing season, but significant interaction was found with the remaining sources of variation (i.e., location, crop management, and hybrid). In turn, DH_G and PHI were slightly lower for the first season. T_{og} and T_{pg} increased as latitude decreased from Balcarce to Paraná (from 63.8 to 66.4°C for T_{og} , and from 68.7 to 70.7°C for T_{pg} , respectively, as average across both growing seasons).

Contrarily to T_{og} and T_{pg} , R_G decreased from Balcarce to Paraná (from 9.9 to 8.6°C, respectively as average for both growing seasons). In 2003-04, hybrid Cónдор showed lower R_G values than Morgan 306 (9.0 vs. 9.8°C, respectively). Calculated PHI increased from Balcarce to Paraná (2.41 to 2.79 J/g.°C, respectively as means of both years), and the hybrid Cónдор always showed higher PHI values than Morgan 306 (2.68 vs. 2.55 J/g.°C, respectively).

Late sowing date significantly reduced T_{og} in comparison to early sowings (63.9 vs. 65.6°C and 68.1 vs. 70.1°C for the first and second growing seasons as means across locations and hybrids, respectively). In turn, refertilization increased the value of T_{pg} compared with the control management plots (70.2 vs. 69.6°C, respectively in 2003-04, and 65.7 vs. 64.9°C, respectively in 2004-05).

When comparing corn hybrids, T_{og} tended to show lower values for Cónдор than for Morgan 306, but this difference was significant only during 2004-05 growing season (64.9 vs. 65.4°C, respectively; table 3). T_{pg} was also lower for hy-

| Hybrid | Location | Crop management | Amylose content (mg/kernel) | | Starch content (mg/kernel) | | Amylose concentration (%) | | Starch concentration (%) | | Amylose/starch ratio (%) | |
|---------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------|------------|---------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | | | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 |
| Balcarce | | Control | 61.6±2.4 ^a | 63.8±2.2 | 193.5±4.5 | 200.2±16.8 | 24.2±0.4 | 24.3±0.7 | 76.0±1.5 | 76.1±1.9 | 31.8±0.6 | 32.0±1.7 |
| | | High density | 61.9±3.7 | 64.1±1.9 | 187.4±7.3 | 195.4±5.3 | 24.7±0.6 | 24.1±0.3 | 74.9±0.5 | 75.0±1.8 | 33.0±0.7 | 32.8±0.5 |
| | | Refertilization | 67.5±4.1 | 67.0±0.6 | 208.4±17.5 | 213.4±15.0 | 24.7±0.7 | 23.9±0.6 | 76.3±4.2 | 76.5±4.2 | 32.5±0.9 | 31.5±2.4 |
| | | Late sowing | 48.2±1.1 | 42.1±4.6 | 143.9±3.4 | 143.0±18.0 | 24.6±0.1 | 24.3±0.2 | 73.5±2.3 | 77.6±1.9 | 33.5±1.0 | 29.5±1.0 |
| Cóndor | Pergamino | Control | 66.1±2.8 | 64.6±1.3 | 190.3±8.5 | 193.9±3.6 | 25.6±0.3 | 24.4±0.2 | 73.8±1.1 | 71.3±0.2 | 34.8±0.3 | 33.3±0.2 |
| | | High density | 65.2±2.9 | 64.8±3.2 | 192.1±7.7 | 189.8±3.2 | 25.6±0.3 | 25.5±0.9 | 75.4±0.5 | 70.3±2.2 | 33.9±0.2 | 34.2±2.1 |
| | | Refertilization | 71.2±3.0 | 65.4±2.5 | 212.4±8.8 | 202.0±2.0 | 24.8±1.0 | 24.5±1.1 | 74.1±4.2 | 70.8±1.4 | 33.6±1.7 | 32.4±0.9 |
| | | Late sowing | 54.5±1.7 | 52.9±4.1 | 163.7±2.9 | 165.6±10.6 | 25.1±0.6 | 24.9±1.0 | 75.4±1.5 | 73.3±2.2 | 33.3±1.0 | 31.9±0.5 |
| Paraná | | Control | 63.1±2.1 | 56.1±6.8 | 180.0±9.6 | 174.4±20.0 | 25.6±0.3 | 25.6±0.7 | 72.9±2.1 | 77.5±1.6 | 35.1±1.2 | 32.2±0.3 |
| | | High density | 56.8±6.9 | 53.2±3.8 | 161.5±15.9 | 165.5±6.9 | 26.0±0.3 | 25.9±0.3 | 74.1±4.8 | 76.0±1.7 | 35.2±1.9 | 32.1±1.1 |
| | | Refertilization | 68.6±0.6 | 62.0±5.4 | 202.8±8.0 | 190.3±20.6 | 25.3±0.2 | 25.3±0.3 | 74.7±2.1 | 76.5±3.0 | 33.8±1.1 | 32.6±1.5 |
| | | Late sowing | 65.4±1.5 | 37.6±2.5 | 184.3±5.3 | 118.4±6.2 | 25.3±0.2 | 25.3±0.2 | 71.2±2.9 | 74.4±1.9 | 35.5±1.2 | 31.8±0.5 |
| Balcarce | | Control | 64.2±3.0 | 63.0±0.6 | 193.8±8.7 | 194.3±2.2 | 24.3±0.4 | 23.7±0.9 | 73.5±1.2 | 73.2±2.9 | 33.1±0.1 | 32.4±0.5 |
| | | High density | 64.3±1.7 | 59.4±3.9 | 193.6±6.7 | 186.9±5.2 | 24.6±0.8 | 23.8±1.3 | 72.6±3.8 | 74.9±0.9 | 33.2±1.9 | 31.8±1.3 |
| | | Refertilization | 67.7±3.8 | 63.1±3.1 | 214.8±19.9 | 193.3±10.1 | 24.0±0.5 | 23.8±1.1 | 75.9±4.2 | 72.8±2.4 | 31.6±1.3 | 32.7±1.2 |
| | | Late sowing | 54.5±3.9 | 46.6±2.4 | 164.4±14.4 | 153.1±13.0 | 22.8±0.2 | 23.3±0.6 | 73.4±2.3 | 76.4±2.5 | 33.2±1.3 | 30.5±1.6 |
| Morgan 306 | Pergamino | Control | 66.6±2.5 | 62.8±1.3 | 199.9±10.7 | 194.6±4.1 | 23.7±0.3 | 23.4±0.4 | 73.3±2.0 | 72.7±1.5 | 33.3±1.1 | 32.3±0.4 |
| | | High density | 63.7±3.4 | 64.1±4.0 | 186.4±11.1 | 199.4±3.9 | 24.0±0.6 | 23.2±1.0 | 73.2±1.1 | 72.1±1.0 | 34.2±0.3 | 32.1±1.8 |
| | | Refertilization | 70.7±2.6 | 62.5±3.4 | 207.1±2.9 | 192.8±9.7 | 22.9±1.0 | 23.1±1.2 | 71.8±0.2 | 71.3±3.1 | 34.1±1.5 | 32.5±2.1 |
| | | Late sowing | 60.1±3.8 | 59.7±2.2 | 178.2±11.7 | 189.9±3.3 | 23.4±0.8 | 22.2±0.3 | 73.7±2.4 | 70.7±0.9 | 33.7±0.2 | 31.4±0.7 |
| Paraná | | Control | 62.0±4.3 | 63.7±5.7 | 178.6±20.1 | 190.3±19.8 | 24.9±0.2 | 25.1±0.9 | 73.5±4.1 | 74.9±2.5 | 34.8±1.7 | 33.5±0.8 |
| | | High density | 56.6±3.4 | 55.9±0.3 | 164.8±6.6 | 164.9±8.5 | 24.4±0.9 | 25.1±1.4 | 75.4±4.2 | 73.9±3.2 | 34.3±0.9 | 34.0±2.0 |
| | | Refertilization | 65.4±0.7 | 60.1±2.7 | 189.4±2.1 | 181.8±13.8 | 24.9±0.3 | 24.4±0.6 | 73.3±1.8 | 73.9±4.2 | 34.5±0.8 | 33.2±2.7 |
| | | Late sowing | 62.2±0.9 | 38.8±6.9 | 178.3±3.9 | 124.0±22.8 | 23.6±0.5 | 23.0±0.8 | 72.5±1.8 | 73.4±1.2 | 34.9±0.5 | 31.3±0.6 |
| Year (Y) | | (1.6)*** ^b | | (5.5)* | | (0.3)*** | | ns | | (0.4)*** | | |
| Location (L) | | (2.4)*** | | (8.2)*** | | (0.4)*** | | (1.8)* | | (0.6)*** | | |
| Crop management (C) | | (2.3)*** | | (7.3)*** | | (0.5)*** | | ns | | (0.8)* | | |
| Hybrid (H) | | ns | | ns | | (0.2)** | | (0.8)* | | ns | | |
| Y*L | | (4.3)** | | (14.6)* | | (0.7)** | | (3.2)* | | ns | | |
| Y*C | | (3.9)*** | | (12.3)*** | | (0.8)* | | ns | | (0.1)** | | |
| Y*H | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | | |
| L*C | | (5.2)*** | | (16.3)*** | | ns | | ns | | ns | | |
| L*H | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | | |
| C*H | | (2.9)*** | | (10.6)** | | ns | | ns | | ns | | |
| Y*L*C | | (8.3)*** | | (26.0)*** | | ns | | ns | | ns | | |
| Y*L*H | | (3.9)** | | (14.1)* | | ns | | ns | | ns | | |
| Y*C*H | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | | |
| L*C*H | | (6.1)* | | ns | | ns | | ns | | ns | | |
| Y*L*C*H | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | | |

Table 2. Amylose and starch content and concentration, and amylose/starch ratio (in db) of two orange-flint hybrids sown at three locations with four different crop managements without water restrictions during 2003–2004 and 2004–2005 growing seasons. The data in the table are the mean of the three field replications. Only significant interactions are shown.

^a Data shown are means ± standard deviation.

^b Statistical significance of main effects and interactions at 5% (*), 1% (**), and 0.1% (***) levels are included (ns: no significant). Values between brackets are Tukey's ($p < 0.05$) values for mean comparison.

| Hybrid | Location | Crop management | T _{og} (°C) | | T _{pg} (°C) | | R _a (°C) | | ΔH _s (J/g) | | PHI (J/g.°C) | |
|---------------------|-----------|-----------------|-----------------------|----------|----------------------|----------|---------------------|----------|-----------------------|----------|--------------|-----------|
| | | | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 | 2003-04 | 2004-05 |
| Cónдор | Balcarce | Control | 63.4±1.0 ^a | 64.1±0.7 | 68.4±1.0 | 68.8±0.6 | 10.0±0.3 | 9.3±0.8 | 11.5±0.2 | 11.9±0.2 | 2.30±0.04 | 2.56±0.24 |
| | | High density | 63.2±0.5 | 64.6±0.6 | 68.0±0.6 | 69.3±0.3 | 9.6±0.4 | 9.4±0.5 | 11.8±0.3 | 11.7±0.1 | 2.46±0.14 | 2.51±0.16 |
| | | Refertilization | 64.1±0.4 | 64.2±0.2 | 68.9±0.2 | 69.3±0.3 | 9.5±0.8 | 10.1±0.2 | 12.1±0.4 | 12.0±0.2 | 2.56±0.25 | 2.38±0.01 |
| | | Late sowing | 64.7±0.1 | 61.6±0.5 | 69.0±0.3 | 66.3±0.2 | 8.8±0.5 | 9.4±0.8 | 11.6±0.2 | 11.4±0.1 | 2.65±0.18 | 2.45±0.22 |
| Pergamino | Pergamino | Control | 65.1±0.5 | 64.6±0.8 | 69.8±0.3 | 69.4±0.5 | 9.2±0.5 | 9.5±0.8 | 11.9±0.4 | 11.7±0.2 | 2.59±0.21 | 2.47±0.22 |
| | | High density | 65.7±0.4 | 64.9±1.0 | 70.2±0.1 | 69.3±0.7 | 9.2±0.6 | 8.7±0.8 | 11.5±0.1 | 12.4±0.4 | 2.52±0.15 | 2.87±0.25 |
| | | Refertilization | 65.7±0.4 | 65.3±0.3 | 70.1±0.2 | 69.6±0.5 | 8.9±0.3 | 8.4±0.4 | 11.7±0.4 | 12.4±0.4 | 2.65±0.16 | 2.95±0.20 |
| | | Late sowing | 65.5±0.4 | 64.2±0.2 | 69.9±0.1 | 68.2±0.3 | 8.9±1.0 | 8.0±0.8 | 11.4±0.6 | 12.1±0.9 | 2.60±0.28 | 3.08±0.56 |
| Paraná | Paraná | Control | 66.1±0.3 | 66.6±0.1 | 70.2±0.2 | 70.5±0.2 | 8.1±0.4 | 7.7±0.2 | 11.7±0.3 | 12.1±0.8 | 2.88±0.13 | 3.14±0.20 |
| | | High density | 65.7±0.2 | 67.0±0.1 | 70.0±0.2 | 70.8±0.1 | 8.6±0.1 | 7.7±0.4 | 11.5±0.5 | 11.9±0.3 | 2.67±0.09 | 3.09±0.09 |
| | | Refertilization | 66.6±0.4 | 66.7±0.5 | 70.8±0.3 | 71.2±0.2 | 8.3±0.6 | 8.9±0.7 | 12.0±0.3 | 11.7±0.5 | 2.90±0.17 | 2.62±0.31 |
| | | Late sowing | 65.7±0.5 | 64.7±0.2 | 70.3±0.4 | 69.1±0.2 | 9.2±0.9 | 8.6±0.5 | 11.7±0.6 | 12.1±0.3 | 2.55±0.33 | 2.81±0.23 |
| Morgan 306 | Balcarce | Control | 64.0±1.1 | 64.5±1.3 | 68.4±0.7 | 69.8±0.7 | 8.9±0.9 | 10.7±1.4 | 11.2±0.7 | 12.3±0.2 | 2.52±0.28 | 2.32±0.27 |
| | | High density | 63.3±0.8 | 63.9±1.0 | 68.2±0.8 | 69.3±0.8 | 9.7±0.4 | 10.8±0.9 | 11.8±0.3 | 11.5±0.0 | 2.43±0.16 | 2.14±0.19 |
| | | Refertilization | 64.0±1.0 | 64.6±0.4 | 69.0±0.9 | 70.1±0.5 | 10.0±0.6 | 10.9±0.5 | 11.2±0.3 | 12.1±0.4 | 2.24±0.15 | 2.21±0.17 |
| | | Late sowing | 63.1±0.2 | 62.3±1.4 | 69.4±0.5 | 66.4±0.4 | 12.7±0.6 | 8.2±2.5 | 11.2±0.1 | 11.6±0.1 | 1.76±0.10 | 3.02±1.02 |
| Pergamino | Pergamino | Control | 65.3±0.9 | 65.5±0.5 | 70.7±0.2 | 69.8±0.4 | 10.7±1.8 | 8.6±0.2 | 11.4±0.1 | 12.0±0.6 | 2.16±0.38 | 2.80±0.16 |
| | | High density | 64.6±1.2 | 65.7±0.9 | 70.3±0.7 | 70.1±0.8 | 11.5±1.5 | 8.8±0.2 | 11.6±0.4 | 11.8±0.4 | 2.05±0.36 | 2.68±0.14 |
| | | Refertilization | 66.4±0.6 | 65.8±0.5 | 71.0±0.5 | 70.2±0.7 | 9.3±0.8 | 8.8±0.5 | 11.7±0.3 | 12.0±0.4 | 2.55±0.27 | 2.72±0.20 |
| | | Late sowing | 65.7±0.9 | 64.7±0.8 | 70.3±0.7 | 68.8±0.7 | 9.2±0.5 | 8.3±2.8 | 11.5±0.0 | 11.7±0.2 | 2.51±0.12 | 3.14±1.35 |
| Paraná | Paraná | Control | 66.1±0.2 | 67.9±0.3 | 70.7±0.4 | 71.9±0.4 | 9.2±0.4 | 7.9±0.2 | 12.0±0.0 | 12.4±0.7 | 2.59±0.09 | 3.15±0.21 |
| | | High density | 66.2±0.2 | 67.1±0.3 | 70.5±0.4 | 71.3±0.1 | 8.8±0.4 | 8.4±0.6 | 11.6±0.2 | 11.9±0.4 | 2.65±0.14 | 2.84±0.19 |
| | | Refertilization | 67.2±0.2 | 66.9±0.6 | 71.4±0.2 | 71.9±0.1 | 8.3±0.4 | 10.0±1.1 | 12.0±0.7 | 12.3±0.5 | 2.89±0.16 | 2.48±0.36 |
| | | Late sowing | 66.4±0.2 | 65.9±0.5 | 71.0±0.1 | 70.0±0.3 | 9.1±0.3 | 8.4±0.3 | 11.7±0.2 | 11.9±0.8 | 2.56±0.13 | 2.84±0.25 |
| Year (Y) | | | ns | | (0.2)* | | (0.2)** | | (0.2)** | | (0.11)** | |
| Location (L) | | | (0.3)*** ^b | | (0.3)*** | | (0.4)*** | | ns | | (0.17)*** | |
| Crop management (C) | | | (0.5)*** | | (0.3)*** | | ns | | ns | | ns | |
| Hybrid (H) | | | (0.2)** | | (0.1)*** | | (0.3)*** | | ns | | (0.11)* | |
| Y*L | | | (0.6)* | | (0.5)*** | | (0.7)* | | ns | | ns | |
| Y*C | | | (0.8)*** | | (0.6)*** | | (1.0)** | | ns | | (0.35)* | |
| Y*H | | | (0.4)* | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| L*C | | | ns | | ns | | (1.3)* | | ns | | ns | |
| L*H | | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| C*H | | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| Y*L*C | | | ns | | (1.2)*** | | (2.0)* | | ns | | ns | |
| Y*L*H | | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| Y*C*H | | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| L*C*H | | | ns | | ns | | ns | | ns | | ns | |
| Y*L*C*H | | | (2.0)* | | ns | | (3.0)*** | | ns | | (1.16)* | |

Table 3. Starch thermal properties (gelatinization onset and peak temperature, range and enthalpy) of two orange-flint hybrids grown at three locations with four different crop managements without water restrictions during 2003–2004 and 2004–2005 growing seasons. The data in the table are the mean of the three field replications. Only significant interactions are shown.

^aData shown are means ± standard deviation.

^bStatistical significance of main effects and interactions at 5% (*), 1% (**), and 0.1% (***) levels are included (ns: no significant). Values between brackets are Tukey's (p < 0.05) values for mean comparison.

brid Cónдор than for Morgan 306 (69.6 vs. 70.1°C in 2003-04 and 69.3 vs. 70.0°C in 2004-05, respectively).

Correlation between analyzed variables

Partial correlation coefficients among variables calculated for the whole data set are shown in table 4. Total amylose deposition in the endosperm of kernels appeared to be significantly and positively associated with the amount of BIOM produced by the crop after silking. Nevertheless, the correlation coefficient was higher for Am (mg) than for Am (%). The same trend was found for starch deposition. Then, weightier kernels appeared to be strongly associated with St (mg), mainly explained by amylose deposition. A high and significant correlation coefficient was found between Am/St (%) and amylose deposition in kernels, in terms of both content and concentration. Thereafter, amylose/starch ratio in kernels was significantly correlated with both the crop BIOM produced during the post-silking period and the SSR for kernels established for the same period. Amylose content of kernels also strongly correlated to hardness-associated properties of kernels. In fact, a positive association was found between the Am (mg) and the TW, whereas the association was negative with the PF. These correlations indicate that kernel became flintier when Am (mg) increased. On the other hand, the variations in amylose deposition in

kernels, promoted by locations and crop management, also showed significant associations with some starch thermal properties. In fact, T_{og} and T_{pg} were strong and positively correlated with Am (%) and Am/St (%) of kernels. As expected, T_{og} was strongly associated with T_{pg} , and both temperatures were negatively correlated to R_G . Similarly, T_{og} showed significant correlation coefficients with ΔH_G and PHI. The PHI, which involved both components in the calculation, appeared to be better explained by the difference between T_{og} and T_{pg} than by variations in ΔH_G . Finally, narrow values for R_G were associated with high values of ΔH_G .

DISCUSSION

Variations in crop environment due to location and crop management modified the crop growing condition during the reproductive period after silking. Late sowing date markedly decreased crop dry matter accumulation from silking to physiological maturity, particularly during the second growing season when reductions in incident radiation and temperature were more pronounced (table 1). The low SSR established in delayed sowing dates (325 vs. 390 mg/kernel as general means for late and early sowings, respectively) limited the supply of assimilate to support grain filling demand, as was previously proposed for Bonelli *et al.* (2016) and Zhou *et al.* (2017). In fact, kernels produced in late sowing date were

| | KW ^a | BIOM | SSR | TW | PF | Am, mg | St, mg | Am, % | St, % | Am/St, % | T_{og} | T_{pg} | R_G | ΔH_G | PHI |
|--------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--------------|------|
| KW | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| BIOM | 0.70 *** ^b | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| SSR | 0.59 *** | 0.74 *** | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| TW | 0.49 *** | 0.36 *** | 0.48 *** | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| PF | -0.54 *** | -0.36 *** | -0.43 *** | -0.63 *** | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Am, mg | 0.95 *** | 0.74 *** | 0.59 *** | 0.45 *** | -0.52 *** | 1.00 | | | | | | | | | |
| St, mg | 0.96 *** | 0.66 *** | 0.51 *** | 0.38 *** | -0.47 *** | 0.93 *** | 1.00 | | | | | | | | |
| Am, % | -3.4E-03 | 0.22 ** | 0.09 | -0.01 | -0.01 | 0.32 *** | 0.07 | 1.00 | | | | | | | |
| St, % | -0.22 ** | -0.19 * | -0.30 *** | -0.41 *** | 0.31 *** | -0.13 | 0.07 | 0.23 ** | 1.00 | | | | | | |
| Am/St, % | 0.16 | 0.33 *** | 0.30 *** | 0.28 *** | -0.24 ** | 0.37 *** | 2.7E-03 | 0.69 *** | -0.54 *** | 1.00 | | | | | |
| T_{og} | 0.10 | 0.12 | 0.16 | 0.46 *** | -0.17 * | 0.20 * | 0.06 | 0.35 *** | -0.14 | 0.40 *** | 1.00 | | | | |
| T_{pg} | 0.20 * | 0.21 * | 0.23 ** | 0.56 *** | -0.29 *** | 0.32 *** | 0.17 * | 0.40 *** | -0.14 | 0.44 *** | 0.90 *** | 1.00 | | | |
| R_G | 0.18 * | 0.16 | 0.10 | 0.06 | -0.21 * | 0.17 * | 0.20 * | -4.0E-03 | 0.03 | -0.02 | -0.49 *** | -0.06 | 1.00 | | |
| ΔH_G | 0.07 | -0.07 | -0.10 | 0.08 | -4.4E-03 | 0.05 | 0.05 | -0.07 | -0.06 | -0.02 | 0.28 *** | 0.17 * | -0.29 *** | 1.00 | |
| PHI | -0.16 | -0.20 * | -0.09 | -0.04 | 0.17 * | -0.18 * | -0.19 * | -0.06 | -0.05 | -0.02 | 0.46 *** | 0.06 | -0.93 *** | 0.48 *** | 1.00 |

Table 4. Partial correlation coefficients between kernel weight, biomass accumulation and source-sink ratio after silking, hardness associated properties (test weight, and percent floaters), starch and amylose content and concentration, amylose/starch ratio, and starch thermal properties (gelatinization onset and peak temperatures, gelatinization range and enthalpy, and peak height index), of two flint hybrids of maize grown at three locations with four different crop managements without water restrictions during 2003–2004 and 2004–2005 growing seasons. Data for kernel weight, post-silking biomass, post-silking source-sink ratio, test weight, and percent floaters were reported in Cirilo *et al.*, 2011.

^a *References:* KW (kernel weight), BIOM (post-silking biomass), SSR (post-silking source-sink ratio), TW (test weight), PF (percent floaters), Am, mg (amylose content per kernel), St, mg (starch content per kernel), Am, % (amylose concentration), St, % (starch concentration), Am/St (amylose/starch ratio), T_{og} (gelatinization onset temperature), T_{pg} (gelatinization peak temperature), R_G (gelatinization range), ΔH_G (gelatinization enthalpy), PHI (peak height index).

^b * Significance at 5% level; ** significance at 1% level; *** significance at 0.1% level.

markedly lighter than those corresponding to early sowings (216 vs. 258 mg/kernel as general means for late and early sowings, respectively). The shortage in assimilate supply during grain-filling period would particularly affect amylose deposition in the endosperm since the proportion of amylose in the starch gradually increase toward the last phase of grain development in maize (Guo *et al.*, 2006). The significant relationship found between Am (mg) or Am/St (%) with the BIOM produced after silking (figure 2) supports this assumption and highlights the importance of favorable growing conditions during grain-filling period in maize to promote increases in the Am (mg) into the kernel, enhancing the Am/St (%) of the endosperm.

Those cropping conditions that allowed the crops to achieve higher grain yields (data not shown) together with weightier kernels also produced flintier kernels. Recently, analyzing the behavior of several maize hybrids in different locations from a broad area of the maize production region of Argentina, Cerrudo *et al.* (2017) reported a strong association between the environment potential sources to supply assimilates to fill the kernels and its hardness at harvest. Robutti *et al.* (2000) reported that flintier maize kernels had higher amylose proportion than flourey ones. Endosperms with starch having higher amylose content would be more compressible during the maturing stage at the field. Then, these endosperms would achieve higher density and, consequently, higher hardness than endosperms with fewer amylose content (Kljak *et al.*, 2018). In fact, we found a significant correlation between the Am/St (%) and hardness-associated properties like TW ($r=0.28$, $p<0.001$) and PF ($r=-0.24$, $p<0.01$; table 4). Kernel hardness in maize results from the whole endosperm biochemical composition, and the interaction established between stored protein and starch was proposed to account for the differences in endosperm texture of the kernels (Robutti *et al.*, 2000). The negative correlation between Am/St (%) and St (%) shown in table 4 ($r=-0.54$, $p<0.001$) reflected the increase in pro-

tein deposition in the endosperm (data not shown) when assimilate availability per kernel during the grain-filling period increased as was reported by Borrás *et al.* (2002). Then, with improved conditions during grain-filling period, the protein matrix of the endosperm would become stronger. A strong protein matrix would compress the starch that would also become rich in amylose and more compressible under those conditions. This assumption is supported by significant correlation coefficients calculated between hardness-associated properties and the Am (mg) of kernels ($r=0.45$ and -0.52 , $p<0.001$, for TW and PF, respectively; table 4).

Crop growth environment varied across locations and sowing dates. Daily mean air temperature and incident radiation during the grain-filling period increased from Balcarce, the southern location at higher latitude, to Paraná, the northern location at lower latitude, when comparing similar sowing dates (table 1). Accordingly, variations in starch composition were observed. In fact, positive and significant relationships between Am (%) ($r^2\geq 0.37$, $n=12$, $p\leq 0.01$) or Am/St (%) ($r^2\geq 0.36$, $n=12$, $p\leq 0.01$) and mean air temperature during the grain-filling period were found when all data for each hybrid were analyzed (figure 3). Lenihan *et al.* (2005) proposed that increases in temperature in maize reduce the activity of the starch branching enzyme which catalyses the α -1,6 links in the starch. This enzymatic response to temperature would consequently reduce the production of branch-chains of amylopectin, consequently increasing the Am/St (%) (table 3). The increase of amylose in response to temperature was also reported for barley (Savin and Nicolas, 1999) and wheat (Hurkman *et al.*, 2003). Evaluating kernels from several maize hybrids of different endosperm texture grown in Argentina, Martinez *et al.* (2017) recently reported that both Am (%) and Am/St (%) were increased in response to increases in mean air temperature during the grain-filling period.

In turn, starch thermal properties also varied across locations according to the thermal environment registered

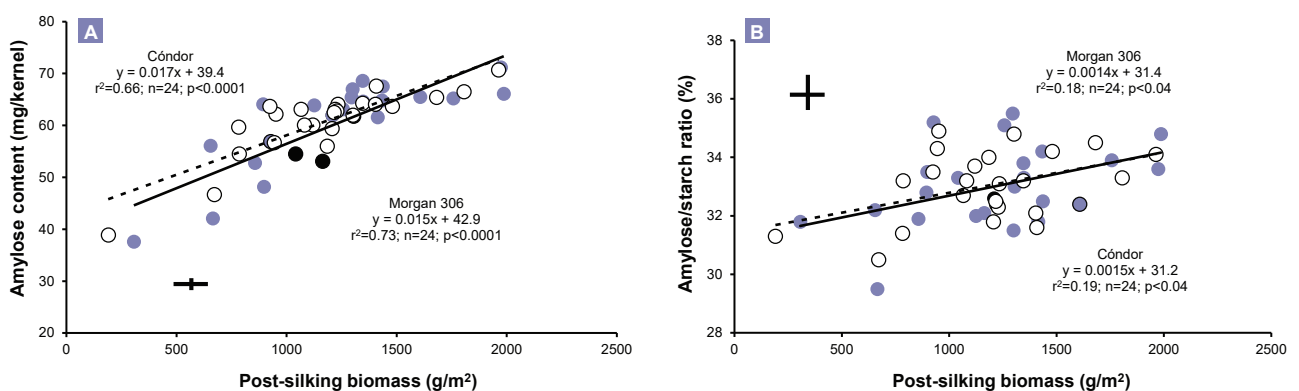


Figure 2. Amylose content in kernels as a function of post-silking biomass for two flint maize hybrids: Morgan 306 (open symbols) and Cónдор (close symbols), grown at three locations (Balcarce, Pergamino and Paraná) with four different crop managements (control, high density, refertilization and late sowing) during two growing seasons (2003-04 and 2004-05). Each symbol corresponded to the mean of three replications for both hybrids. Bars in cross represent the value of the standard error for each variable. The lines represent the fitted regressions for Cónдор (bold line) and Morgan 306 (dotted line) hybrids. The inserts show details for the corresponding equations.

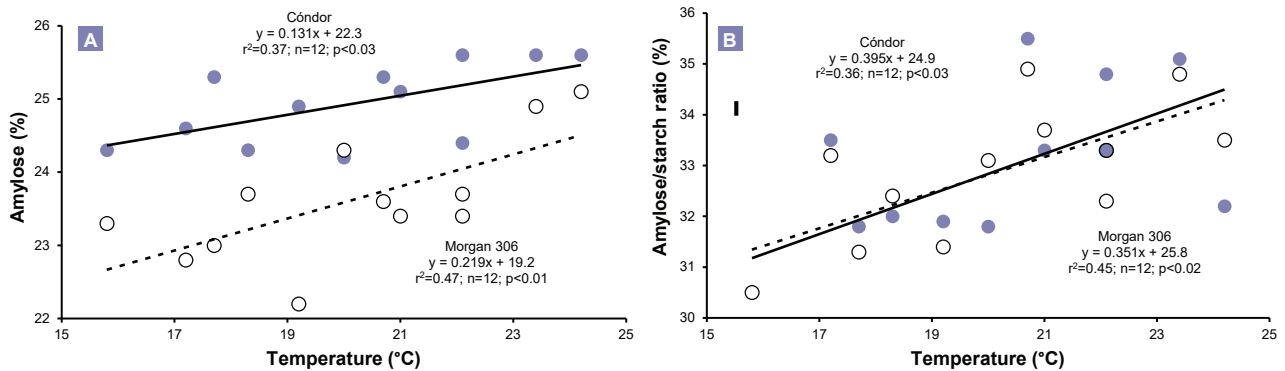


Figure 3. Amylose concentration (A) and amylose/starch ratio (B) in kernels as a function of air mean temperature for the post-silking period for two flint maize hybrids: Morgan 306 (open symbols) and Cóndor (close symbols) grown at three locations (Balcarce, Pergamino and Paraná) with two different sowing dates (early and late) during two growing seasons (2003-04 and 2004-05). Each symbol corresponded to the mean of three replications for both hybrids. Only data from control treatment for early sowings were including. The vertical bars represent the value of the standard error for the amylose and the amylose/starch ratio. The lines represent the fitted regressions for Cóndor (bold line) and Morgan 306 (dotted line) hybrids. The inserts show details for the corresponding equations.

throughout the kernel growing stage. In fact, a $\approx 2.7^\circ\text{C}$ ($p<0.0001$) increase in T_{og} , a $\approx 1.3^\circ\text{C}$ ($p<0.0001$) decrease in R_G , a $\approx 0.2 \text{ J/g}$ (n.s.) increase in ΔH_G , and a $\approx 0.4 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$ ($p<0.001$) increase for PHI were found when kernels were filled at the warmer location (Paraná) compared to those filled at the cooler one (Balcarce; table 3). Lenihan *et al.* (2005), comparing kernels grown in tropical and temperate environments, found that increases in air temperature during the grain-filling period produced kernels with starch that gelatinized at higher T_{og} , with narrow R_G and elevated ΔH_G (indicating a taller and narrower endotherm). For the complete data set, a significant association was revealed between the starch composition and the gelatinization onset temperature (T_{og}); this variable strongly correlated with the others thermal properties (table 4). Increases in Am (%) did not affected ΔH_G but resulted in higher T_{og} and T_{pg} values. Sandhu *et al.* (2004) and Sandhu and Singh (2007) also reported that the Am (%) in the starch correlated positively with both T_{og} and T_{pg} , and these variables correlated positively with ΔH_G and PHI. Our findings indicate that the crop environment would affect the behavior of starch during cooking at the industry.

CONCLUSIONS

Variations in the cropping environment by different location and crop management modified the starch composition of flint maize kernels. Amylose/starch ratio decreased as air temperature decreased from the north to the south and by delaying sowing date. The deposition of amylose in the endosperm was increased as growing conditions improved during grain-filling period. Increases amylose deposition resulted in flintier kernels that would perform properly at the dry-milling industry. Starch thermal properties were also modified by these changes in the starch composition.

The results reported herein would contribute to foresee the effect of location and of agricultural practices on kernel quality of flint maize, and to make appropriate management adjustments to obtain a product that meets the market

needs. These findings would be of interest for the industry in order to better estimate kernel quality to be expected according to how and where maize was produced.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors are thankful to Dr. Mabel Percibaldi and lab auxiliary Silvina Yanigro for make the analysis of amylose and starch, and starch thermal properties, respectively.

Financial support was to the Project PNCER-2345 (52-022450) of the National Institute of Agricultural Technology (INTA) of Argentina.

REFERENCES

- AI, Y.; JANE, J. 2018. Understanding starch structure and functionality. In: SJÖÖ, M.; NILSSON, L. (Eds.). Starch in Food. Structure, Function and Applications. 2 ed. Woodhead Publishing, Royston Road, Duxford, UK. 151-178 pp.
- ALI, A.; WANI, T.A.; WANI, I.A.; MASOODI, F.A. 2016. Comparative study of the physico-chemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. J. of the Saudi Soc. of Agric. Sci. 15, 75-82.
- BONELLI, L.; MONZON, J.P.; CERRUDO, A.; RIZZALLI, R.H.; ANDRADE, F.H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. Field Crops Research 198, 215-225.
- BORRÁS, L.; CURÁ, J.A.; OTEGUI, M.E. 2002. Maize kernel composition and post-flowering source-sink ratio. Crop Sci. 42, 781-790.
- CERRUDO, A.; MARTINEZ, D.; IZQUIERDO, N.G.; CIRILO, A.G.; LASERNA, M.P.; REINOSO, L.; VALENTINUZ, O.; BALBI, C.; AND ANDRADE, F.H. 2017. Environment, management, and genetic contributions to maize kernel hardness and grain yield. Crop Sci. 57, 2788-2798.
- CHEN, P.; YU, L.; CHEN, L.; LI, X. 2006. Morphology and microstructure of maize starches with different amylose/amylopectin content. Starch/Stärke 58, 611-615.
- CIRILO, A.G.; ACTIS, M.; ANDRADE, F.H.; VALENTINUZ, O.R. 2011. Crop management affects dry-milling quality of flint maize kernels. Field Crops Res. 122, 140-150.

- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Available at: <http://www.infostat.com.ar> verified: February 02nd, 2012).
- DOMBRINK-KURTZMAN, M.A.; KNUXTON, C.A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chem.* 74, 776-780.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28, 350-356.
- FARRONI, A.; BUERA, M. DEL P. 2012. Colour and surface fluorescence development and their relationship with Maillard reaction markers as influenced by structural changes during cornflakes production. *Food Chem.* 135, 1685-1691.
- FAST, R.B. 2001. Breakfast cereals. In: OWENS, G. (Eds.). *Cereals processing technology*. 1 ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, EUA. 158-172 pp.
- GUO, S.J.; LI, J.R.; QIAO, W.H.; ZHANG, X.S. 2006. Analysis of amylose accumulation during seed development in maize. *Acta Genetica Sinica* 33, 1014-1019.
- HURKMAN, W.J.; MC CUE, K.F.; ALTENBACH, S.B.; KORN, A.; TANAKA, C.K.; KOTHARIA, K.M.; JOHNSON, E.L.; BECHTEL, D.B.; WILSON, J.D.; ANDERSON, O.D.; DUPONT, F.M. 2003. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Sci.* 164, 873-881.
- JI, Y.; POLLAK, L.M.; DUVICK, S.; SEETHARAMAN, K.; DIXON, P.M.; WHITE, P.J. 2004a. Gelatinization properties of starches from three successive generations of sixexotic corn lines grown in two locations. *Cereal Chem.* 81, 59-64.
- JI, Y.; POLLAK, L.M.; DUVICK, S.; SEETHARAMAN, K.; DIXON, P.M.; WHITE, P.J. 2004a. Gelatinization properties of starches from three successive generations of sixexotic corn lines grown in two locations. *Cereal Chem.* 81, 59-64.
- JI, Y.; SEETHARAMAN, K.; WHITE, P.J. 2004b. Optimizing of small-scale corn-starch extraction method for use in the laboratory. *Cereal Chem.* 81, 55-58.
- JOHNSON, L.A.; DEAK, N.; VIGNAUX, N. 2011. Dry-milled corn ingredients in food coatings. In: KULP, K.; LOEWE, R.; LORENZ, K.; GELROTH, J. (Eds.). *Batters and breadings in food processing*. 2 ed. AACCI International, Inc., St. Paul, MN, EUA. 25-52 pp.
- KLJAK, K.; DUVNJAK, M.; GRBEŠA, D. 2018. Contribution of zein content and starch characteristics to vitreousness of commercial maize hybrids. *J. of Cereal Sci.* 80, 57-62.
- KNUXTON, C.A. 1986. A simplified colorimetric procedure for determination of amylose in maize starches. *Cereals Chem.* 63, 89-92.
- KRUEGER, B.R.; WALKER, C.E.; KNUXTON, C.A.; INGLET, G.E. 1987. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64: 187-190.
- LENIHAN, E.; POLLAK, L.; WHITE, P. 2005. Thermal properties of starch from exotic-by-adapted corn (*Zea mays*, L.) lines grown in four environments. *Cereal Chem.* 82, 683-689.
- LEPES, I.T.; MIOTTO, R.M.; CEDRO, A.V.; RUEGG, O.E. 1976. Test de flotación con maíces duros argentinos. I Congreso Nacional de Maíz [1st. International Congress on Maize]. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 287-298 pp.
- LIU, H.; YU, L.; XIE, F.; CHEN, L. 2006. Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. *Carbohydr. Polym.* 65, 357-363.
- LU, D.; SHEN, X.; CAI, X.; YAN, F.; LU, W.; SHI, Y.-C. 2014. Effects of heat stress during grain filling on the structure and thermal properties of waxy maize starch. *Food Chem.* 143, 313-318.
- MARTÍNEZ, R.D.; CIRILO, A.G.; CERRUDO, A.; ANDRADE, F.H.; REINOSO, L.; VALENTINUZ, O.R.; BALBI, C.N.; IZQUIERDO, N.G. 2017. Changes of starch composition by postflowering environmental conditions in kernels of maize hybrids with different endosperm hardness. *Europ. J. of Agron.* 86, 71-77.
- NG, K.-Y.; POLLAK, L.M.; DUVICK, S.A.; WHITE, P.J. 1997. Thermal properties of starch from 62 exotic maize (*Zea mays*, L.) lines grown in two locations. *Cereal Chem.* 74, 837-841.
- ORTHOEFER, F.T.; EASTMAN, J. 2004. Corn processing and products. In: WAYNE SMITH, C.; BETRÁN, J.; RUNGE, E.C.A. (Eds.). *Corn: origin, history, technology and production*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, NY. 867-896 pp.
- POPESCU, E.C.; ALEXANDRU, S.; BĂRĂSCU, E.; IORDAN, M. 2010. Morphological and thermal properties of maize starch. *Annals: Food Science and Technology.* 11, 35-39.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. 2008. How a Corn Plant Develops. Special Report 48. Reprinted November. (Eds.) Iowa State Univ. of Sci. and Tech. Coop. Ext. Service, Ames, IA, 21 p.
- ROBUTTI, J.L.; BORRÁS, F.S.; FERRER, M.E.; PERCIBALDI, N.M.; KNUXTON, C.A. 2000. Evaluation of quality factors in Argentine maize races. *Cereal Chem.* 77, 24-26.
- SABELLI, P.A.; LARKINGS, B.A. 2009. The development of endosperm in grasses. *Plant Physiol. Physiol.* 149, 14-26.
- SANDHU, K.S.; SINGH, N.; KAUR, M. 2004. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *J. Food Eng.* 64, 119-127.
- SANDHU, K.S.; SINGH, N.; MALHI, N.S. 2005. Physicochemical and thermal properties of starches separated from corn produced from crosses of two germ pools. *Food Chem.* 89, 541-548.
- SANDHU, K.S.; SINGH, N. 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chem.* 101, 1499-1507.
- SAVIN, R.; NICOLAS, M.E. 1999. Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 357-364.
- SCOTT, M.P.; DUVICK, S.A. 2005. Identification of QTL controlling thermal properties of maize starch. *Cereal Chem.* 82, 546-553.
- SEETHARAMAN, K.; TZIOTIS, A.; BORRÁS, F.; WHITE, P.; FERRER, M.; ROBUTTI, J. 2001. Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. *Cereal Chem.* 78, 379-386.
- SINGH, N.; SANDHU, K.S.; KAUR, M. 2005. Physicochemical properties including granular morphology, amylose content, swelling and solubility, thermal and pasting properties of starches from normal, waxy, high amylose, and sugary corn. *Prog. in Food Biopolym. Res.* 1, 43-54.
- SRICHUWONG, S.; JANE, J. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A review. *Food Sci. and Biotech.* 16, 663-674.
- TZIOTIS, A.; SEETHARAMAN, K.; KLUCINEC, J.D.; KEELING, P.; WHITE, P.J. 2005. Functional properties of starch from normal and mutant corn genotypes. *Carbohydr. Polym.* 61, 238-247.
- WHITE, P.; ABBAS, I.; POLLAK, L.; JOHNSON, L. 1990. Intra- and interpopulation variability of thermal properties of maize starch. *Cereal Chem.* 67, 70-73.
- YU, L.; CHRISTIE, G. 2001. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. *Carbohydr. Polym.* 46, 179-184.
- ZHOU, B.; YUE, Y.; SUN, X.; DING, Z.; MA, W.; ZHAO, M. 2017. Maize kernel weight responses to sowing date associated variation in weather conditions. *The Crop Journal* 5, 43-51.

Chemical composition and *in vitro* digestibility of annual ryegrass varieties grown in greenhouse conditions

ALENDE, M.¹; FLUCK, A.C.²; VOLPI-LAGRECA, G.¹; ANDRAE, J.G.³

ABSTRACT

Plant breeders have recently focused on increasing the sugar content of grasses as a means to improve their nutritional value. The objective of this study was to compare the chemical composition of four annual ryegrass varieties (*Lolium multiflorum* Lam.): two intermediate tetraploids [*L. multiflorum* var. *italicum*, Bandito2, (conventional) and Abereve, (high sugar)] and two short cycle diploids [*L. multiflorum* var. *westerwoldicum*, Lonestar, (conventional) and Enhancer, (high sugar)] grown in greenhouses. Seeds were planted into plastic pots (16 pots per variety) and clipped three times at six-week intervals. Material was weighed, flash frozen, lyophilized and ground (1 mm). Chemical analyses and digestibility at 24 and 48 h were assessed. *In vitro* DM (IVDMD), OM (IVOMD) and NDF (IVNDFD) disappearance as well as *in vitro* true DM disappearance (IVTD) were calculated. Results were compared by preplanned orthogonal contrasts as follows: C1, intermediate tetraploids vs annual diploids, C2, conventional vs high sugar varieties. Intermediate tetraploid varieties had lower DM content, lower OM content, lower NDF and hemicellulose content. They also tended to have higher CP content, but no differences were observed in WSC content or WSC:CP. Conventional and high sugar varieties did not differ except for DM content. Intermediate tetraploid had higher *in vitro* DM and OM disappearance at 24 and 48 h, and higher *in vitro* true DM disappearance and NDF disappearance at 24h. Conventional varieties had higher digestibility at 24 h but not at 48 h. No differences in WSC were detected between intermediate tetraploids and annual diploids, or between conventional and high sugar varieties. Differences in forage quality were more important between intermediate tetraploids and annual diploids, but no differences were found between conventional and high sugar varieties. High temperatures at the greenhouse may not have allowed high sugar varieties to accumulate increased levels of WSC.

Keywords: Ryegrass, water soluble carbohydrates, high sugar forages, nutritional quality.

RESUMEN

En años recientes, la selección genética se ha abocado a aumentar el contenido de azúcares de los forrajes como una forma mejorar su valor nutricional. El objetivo de este estudio fue comparar la composición química de cuatro variedades de ryegrass anual (*Lolium multiflorum* Lam.): dos variedades tetraploides de ciclo in-

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

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Dois Vizinhos, Paraná, Brazil.

³Clemson University, South Carolina, USA.

termedio [*L. multiflorum* var. *Italicum*, Bandito2, (convencional) y Aberve, (alto azúcar)] y dos variedades de ciclo corto [*L. multiflorum* var. *westerwoldicum*, Lonestar, (convencional) y Enhancer, (alto azúcar)], las cuales se cultivaron en invernáculos. La siembra se hizo en macetas plásticas (16 macetas por variedad y se hicieron tres cosechas (5 cm de altura) con intervalos de 6 semanas entre cosechas. El material cortado fue pesado en fresco, congelado en nitrógeno líquido, liofilizado y molido a 1 mm. Se realizaron análisis químicos y las digestibilidades a las 24 y 48 horas. Se calcularon la degradación *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y FDN así como la digestibilidad *in vitro* real (*in vitro* true digestibility). Los resultados se compararon por medio de los siguientes contrastes ortogonales: C1, tetraploides intermedios vs. diploides anuales, C2, variedades convencionales vs. variedades alto azúcar. Las variedades tetraploides de ciclo intermedio mostraron menor contenido de materia seca, materia orgánica, FDN y hemicelulosa. Además tendieron a tener mayores contenidos de proteína bruta, sin mostrar diferencias en contenido de hidratos de carbono soluble o en la relación hidratos de carbono soluble: proteína bruta. Las variedades convencionales y alto azúcar no mostraron diferencias entre ellas, excepto en contenido de materia seca. Con respecto a la digestibilidad, las variedades tetraploides de ciclo intermedio mostraron mayor degradación *in vitro* de materia seca y materia orgánica a las 24 y 48 h, y mayores valores de digestibilidad *in vitro* real para la materia seca y la materia orgánica a las 24 horas. Las variedades convencionales mostraron mayor degradabilidad y digestibilidad *in vitro* real a las 24 h, pero no a las 48 h. No se encontraron diferencias para contenido de hidratos de carbono solubles entre tetraploides intermedios y diploides anuales, o entre variedades convencionales y alto azúcar. Las diferencias en calidad más importantes se encontraron entre tetraploides intermedios y diploides anuales, pero no entre variedades convencionales y alto azúcar. Las altas temperaturas en el invernáculo podrían haber impedido la expresión del potencial de acumulación de hidratos de carbono solubles por parte de las variedades alto azúcar.

Palabras clave: Ryegrass, hidratos de carbono soluble, forrajes alto azúcar, calidad nutricional.

INTRODUCTION

Annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) is an annual cool season grass cultivated throughout all temperate zones around the world (Jung *et al.*, 1996; Wilkins and Humphrey, 2003). Due to its high digestibility, it is used in cattle with high nutrient requirements. However, grasses nutrient balance is not always adequate. Low water soluble carbohydrate (WSC) content or low WSC to crude protein (CP) ratios (WSC:CP) leads to nutrient imbalance which impairs the ability of ruminal microorganisms for synthesizing microbial protein (Nocek and Russell, 1988; Kingston-Smith and Theodorou, 2000). Therefore, an improved nutrient balance in grasses (i.e., a higher WSC:CP ratio) may lead to higher nitrogen use efficiency by the host animal.

Plant breeders have lately developed high WSC varieties, known as “high sugar grasses” (Smith *et al.*, 2007). Tetraploid and diploid varieties which express higher concentration of fructans in leaves may offer productive advantages for producers. Tetraploids cultivars are associated with higher levels of WSC and higher cell content to cell wall ratio (Hageman *et al.*, 1993). Miller *et al.* (2001) reported milk yield improvement without affecting solid composition in cows grazing high sugar ryegrass. They also reported lower amounts of urinary nitrogen excretion. Moorby *et al.* (2006) found higher dry matter (DM) intake, higher DM digestibility, improved microbial protein synthesis and a higher protein yield in dairy cows fed high sugar ryegrass. Lee *et al.* (2001) evaluated the performance of suckling lambs stocked on a high sugar *Lolium perenne* sward and found increased liveweight gain and higher carrying capacity.

To our knowledge, most of the published research was carried out evaluating perennial ryegrass. Scientific information is scarce for high sugar annual ryegrass varieties, and the ability of this species to accumulate WSC has only been tested by a smaller number of researchers (Hopkins *et al.*, 2002). The objective of this study was to analyze chemical constituents that affect nutritive value and *in vitro* digestibility of four ryegrass varieties two intermediate cycle tetraploids [*L. multiflorum* var. *italicum*, Bandito2, (conventional) and Aberve, (high sugar)] and two short cycle diploids [*L. multiflorum* var. *westerwoldicum*, Lonestar, (conventional) and Enhancer, (high sugar)] grown in greenhouse conditions. Our hypothesis was that intermediate tetraploids and high sugar varieties would have higher WSC content, lower cell wall concentration and higher *in vitro* digestibility.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at a 15 m x 13 m greenhouse at Clemson University, Clemson, South Carolina, USA. Seeds of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) were planted at 0.5 cm depth into plastic pots (3.84 L) containing potting soil. Four annual ryegrass varieties were evaluated: two intermediate tetraploids [Bandito2, (conventional) and Aberve, (high sugar)] and two annual diploids [Lonestar, (conventional) and Enhancer, (high sugar)]. All the varieties were provided by Sucraseed (Oregon, USA). Sixteen pots per variety were planted. Pots were watered to saturation and, after germination, plants were watered

daily with tap water and fertilized weekly with 20-10-20 (N-P-K) nutrient solution (Scotts Sierra Horticultural Products Company, Ohio, USA). No artificial light was used. The greenhouse was equipped with an airflow distribution system. Temperature varied from a minimum of 18°C during the night to a maximum of 29°C during the day and relative humidity was maintained at 70%.

Plants were harvested at six-week intervals by clipping at 5 cm height. The intention was to emulate a rotational grazing situation in which resting time was fixed. A total of three cuttings were harvested. All harvests started at 2:30 PM on days with full sunlight, to ensure a higher accumulation of WSC (Mayland *et al.*, 2005). Material was weighed, placed into cloth bags, and flash frozen in liquid nitrogen. Plant material was stored at -20°C until freeze dried (Lab-conco bulk tray dryer, USA) and ground through a Wiley mill (1 mm), except for an aliquot which was used to estimate DM by drying in the oven at 102°C until constant weight. Ground material was then pooled by variety and sampling. Plant tissue analyses included organic matter (OM) content by placing on muffle furnace (600°C, 6 h), NDF and ADF content which were assessed in the ANKOM fiber analyzer according to Van Soest *et al.* (1991), acid detergent lignin (ADL) by immersing samples into 72% H₂SO₄ (Van Soest *et al.*, 1991), water soluble carbohydrate content (WSC) was assessed by colorimetric phenol-sulfuric acid assay according to Dubois *et al.* (1956), and CP concentration by combustion method on a Leco FB528 analyzer (Leco

Corporation, Minnesota, USA; AOAC, 1990). Hemicellulose was estimated as the difference between NDF and ADF, and cellulose as the difference between ADF and ADL.

For the estimation of the *in vitro* DM (IVDMD), OM (IVOMD) and NDF (IVNDFD) disappearances, dry and ground forages (0.50±0.01 g) were weighed into acetone pre-rinsed incubation bags (F57 bags, Ankom, New York, USA) in duplicate for each variety and sampling. Then they were incubated in a Daisy^{II} *in vitro* incubator (Ankom, New York, USA). Rumen fluid was collected from a cannulated Holstein dairy cow in mid lactation fed a diet comprised of 34% corn silage, 6% grass hay and 60% corn. Liquid and fistfuls of fibrous material were collected from the rumen, kept in pre-warmed thermic bottles and taken to the lab, where it was blended in a in a preheated blender while purged with CO₂. Four hundred ml of the filtered rumen fluid was poured into an incubation jar that contained 1600 ml of buffer (KH₂PO₄, 8.3 g/l, MgSO₄*7H₂O, 0.41 g/l, NaCl, 0.41 g/l, CaCl₂*2H₂O, 0.08g/l, urea 0.41 g/l, Na₂CO₃, 2.5 g/l and Na₂S*9H₂O, 0.16 g/l) while purging with CO₂. *In vitro* true digestibility (IVTD) was obtained by calculating NDF content in the residue post incubation (Goering and Van Soest, 1970).

Statistical Analyses. Chemical composition variables were analyzed by Proc Glimmix of SAS (SAS Institute, Cary, NC) in a model that included variety as fixed factor and cutting date as a random factor. Two pre-planned orthogonal contrasts were used for comparisons: C1, to compare intermediate tetraploids (Bandito2 and Aberve)

| | Intermediate Tetraploid | | Annual diploid | | SEM | Contrasts | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------|----------------|---------------|-------|-----------|------|
| | Bandito2 (C) | Aberve (HS) | Lonestar (C) | Enhancer (HS) | | C1 | C2 |
| Yield (g DM/ pot) | 9.57 | 8.57 | 10.61 | 10.33 | 1.252 | 0.04 | 0.30 |
| Composition* | | | | | | | |
| DM content (g.kg ⁻¹ wet) | 14.69 | 16.62 | 17.98 | 17.95 | 2.056 | <0.01 | 0.06 |
| OM content | 90.21 | 90.31 | 90.82 | 90.78 | 0.915 | 0.02 | 0.89 |
| NDF | 45.33 | 44.66 | 46.04 | 45.90 | 1.396 | 0.07 | 0.39 |
| Hemicellulose | 16.98 | 17.01 | 18.75 | 18.23 | 1.221 | <0.01 | 0.38 |
| ADF | 28.35 | 27.65 | 27.29 | 27.67 | 0.799 | 0.11 | 0.57 |
| Cellulose | 26.19 | 25.37 | 24.93 | 25.41 | 0.732 | 0.03 | 0.47 |
| ADL | 2.16 | 2.28 | 2.36 | 2.26 | 0.521 | 0.31 | 0.95 |
| Crude protein | 10.24 | 10.81 | 9.93 | 10.00 | 2.182 | 0.09 | 0.30 |
| WSC | 12.98 | 15.63 | 15.32 | 13.97 | 1.456 | 0.60 | 0.33 |
| WSC:CP | 1.37 | 1.63 | 1.75 | 1.55 | 0.388 | 0.16 | 0.73 |

Table 1. Dry matter yield and chemical composition of ryegrass varieties (Bandito2, Aberve, Lonestar and Enhancer) grown in greenhouse conditions

* Presented as g.kg⁻¹ DM unless stated otherwise.

C: conventional, HS: high sugar.

DM: dry matter, OM: organic matter, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin, WSC: water soluble carbohydrates, WSC:CP: water soluble carbohydrates to crude protein ratio. SEM: standard error mean. C1: orthogonal contrast intermediate tetraploid varieties vs annual diploid. C2: orthogonal contrast high sugar varieties (Aberve and Enhancer) vs conventional (Bandito2 and Lonestar).

vs. and annual diploids (Lonestar and Enhancer); C2, to compare conventional (Lonestar and Bandito2) vs high sugar (Enhancer and Aberve). Differences between means with $P < 0.05$ were considered statistically different, while differences with $P < 0.10$ were considered as tendencies.

RESULTS AND DISCUSSION

The DM content of the intermediate tetraploid varieties was lower than annual diploid varieties (table 1). These differences, obtained under identical environmental conditions and at the same growing intervals, would indicate genetic differences. Several authors have reported that tetraploids grasses have lower DM content (Van Wijk, 1988; Baert, 1994; Wims *et al.*, 2012). Additionally, maturation is faster in annual varieties, reaching a higher DM content due to a more advanced phenological stage. However, we choose fixed-interval cuts to emulate most rotational grazing systems. Intermediate varieties are crosses of annual x perennial varieties; therefore, they show intermediate characteristics (Hannaway *et al.*, 1999). The two high sugar varieties (Aberve and Enhancer) tended ($P = 0.06$, table 1) to have higher DM content than conventional varieties (Bandito2 and Lonestar). Higher DM contents in high sugar ryegrass varieties have been reported by several authors (Miller *et al.*, 2001, Moorby *et al.*, 2006, Cosgrove *et al.*, 2007). Dry matter content could improve animal performance, through an increase in voluntary intake (John and Ulyatt, 1987).

With respect to the cell wall components analysis, intermediate tetraploid tended to have lower NDF content ($P = 0.07$), with the hemicellulose fraction being significantly

lower (table 1). Since no differences were observed in ADF content, the cellulose fraction resulted higher in the intermediate tetraploid. No differences were found in ADL (table 1). The contrast between high sugar varieties and conventional varieties did not differ. Lower NDF (Wims *et al.*, 2012) and lower hemicellulose content (Morrison, 1980) in tetraploid varieties have been previously reported. The duplication of chromosome number in tetraploid varieties is associated with increased cell size and higher cell content to cell wall ratio, which have a dilution effect on NDF concentration (Hageman *et al.*, 1993). Fiber concentration and dry matter digestibility are usually correlated (Wilkins and Humphreys, 2003). Fiber concentration, due to its filling effect, is important determining forage intake and animal performance (Wilkinson *et al.*, 1982).

Crude protein content tended to be higher in the intermediate tetraploid varieties ($P = 0.09$, table 1). This agrees with the reports of Cosgrove *et al.* (2009) and Wims *et al.* (2012) who reported that tetraploid perennial ryegrass varieties at vegetative stage had higher CP content than diploids. No differences in WSC were found between intermediate tetraploids and annual diploids (table 1). Water soluble carbohydrates and CP and are the main components of cell content (Wilkins and Humphreys, 2003). As previously mentioned, tetraploid grasses have higher cell content. This is in turn associated with higher WSC and CP content, as well as proteins and lipids, and improvements in forage digestibility (Hageman *et al.*, 1993; Nair, 2004).

In our experiment, temperature varied between 18°C and 29°C, which might have impaired the expression of the high sugar trait, explaining the lack of differences.

| | Intermediate Tetraploid | | Annual diploid | | SEM | Contrast | |
|---------------------|-------------------------|-------------|----------------|---------------|-------|----------|-------|
| | Bandito2 (C) | Aberve (HS) | Lonestar (C) | Enhancer (HS) | | C1 | C2 |
| 24 h incubation | | | | | | | |
| IVDM disappearance | 73.12 | 70.35 | 71.32 | 69.30 | 2.375 | 0.10 | 0.009 |
| IVOM disappearance | 81.08 | 77.93 | 78.57 | 76.40 | 3.128 | 0.04 | 0.008 |
| DM IVTD | 81.58 | 77.40 | 77.83 | 77.32 | 2.279 | 0.02 | 0.005 |
| IVNDF disappearance | 59.55 | 49.67 | 52.15 | 51.02 | 3.979 | 0.06 | 0.002 |
| 48 h incubation | | | | | | | |
| IVDM disappearance | 83.30 | 82.43 | 81.00 | 81.87 | 1.964 | 0.08 | 1.00 |
| IVOM disappearance | 92.37 | 91.38 | 89.27 | 90.22 | 2.895 | 0.03 | 0.98 |
| DM IVTD | 88.65 | 87.48 | 86.62 | 87.17 | 1.926 | 0.11 | 0.67 |
| IVNDF disappearance | 75.02 | 72.13 | 71.17 | 72.09 | 2.071 | 0.20 | 0.51 |

Table 2. *In vitro* dry matter and organic matter disappearance, *in vitro* dry matter true digestibility and *in vitro* NDF disappearance at 24 and 48 hours of incubation of ryegrass varieties (Bandito2, Aberve, Lonestar and Enhancer) grown in greenhouse conditions.

Presented as $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM

C: conventional, HS: high sugar.

IVDM: *in vitro* dry matter disappearance after incubation in Daisy^{II}, IVOM: *in vitro* organic matter disappearance after incubation in Daisy^{II}, DM IVTD: dry matter *in vitro* true digestibility, IVNDF: *in vitro* neutral detergent fiber disappearance after incubation in Daisy^{II}. SEM: standard error mean. C1: orthogonal contrast intermediate tetraploid varieties vs annual diploid; C2: orthogonal contrast high sugar varieties (Aberve and Enhancer) vs conventional (Bandito2 and Lonestar). Table built based on experimental data.

Research has shown that the expression of the high sugar trait is affected by environmental conditions. Parsons *et al.* (2004) found that high sugar trait expression needed low night temperatures, which would reduce the ratio of dark respiration to photosynthesis in plant tissues, allowing the accumulation of sugars. Cosgrove *et al.* (2007) reported slight differences (2 to 4 g/kg DM, depending on the year) between high sugar grasses (diploid and tetraploids) and conventional varieties in spring, but no significant differences when the same varieties were compared in fall. Conversely, working at field paddocks in New Zealand, Lazzarini *et al.* (2010) found no differences between varieties in spring and slight differences (1.5 g/ 100 g DM) in fall. Rasmussen *et al.* (2014) detected effects of growth temperature not only on the ability of varieties to concentrate WSC, but also on the expression of specific fructosyltransferases, which showed a reduced expression at high temperatures. The above mentioned results show that genotype x environment interaction exists in the expression of high sugar trait, which does not express equally in every environmental situation (Halling *et al.*, 2004; Edwards *et al.*, 2007; Rasmussen *et al.*, 2014).

With respect to *in vitro* disappearance and digestibility data (table 2), intermediate tetraploid varieties tended to have higher IVDMD both at 24 and 48 h of incubation ($P = 0.10$ and $P = 0.08$, respectively) and significantly higher IVOMD at both incubation times ($P < 0.05$). At 24 h, DM IVT and IVNDF disappearance were also higher in intermediate tetraploids, but there were no differences at 48 h of incubation (table 2). These results agree with those obtained by Skaland and Volden (1973) in Norway, Wims *et al.* (2012) in Ireland, and Balochi and López (2009) in Chile, who reported that tetraploid varieties had higher digestibility.

Conventional varieties had higher IVDM disappearance, IVOM disappearance, DM IVTD and IVNDF disappearance at 24 h of incubation than high sugar varieties. These differences disappeared for all variables at 48 h of incubation (table 2). With no differences in composition between conventional and high sugar varieties, results may be explained by a faster digestible fiber fraction in the conventional varieties, especially Bandito2.

Ryegrass is the most digestible of all the grass species (Morrison, 1980; Frame, 1991). We reported average IVDMD values of 71.02 g/100 g DM and 82.15 g/100 g DM at 24 and 48 h of incubation, which are close to the values reported by Hopkins *et al.* (2002). Acid detergent lignin values were very low (2.27 g/100 g DM, on average), which helps to explain the high digestibility (Jung and Allen, 1995; Moore and Jung, 2001).

CONCLUSIONS

Both in terms of chemical compositions and *in vitro* disappearance and digestibility, intermediate tetraploids showed high nutritive quality. Either no differences or minor significant differences were found when comparing conventional to high sugar varieties. No variety effect was detected in WSC content, possibly due to temperatures higher than

optimal. Breeding strategies for high WSC varieties should include the selection of genotypes with the ability to concentrate WSC in a wide range of environments, including warmer temperatures.

REFERENCES

- BAERT, J. 1994. Dry matter content of induced tetraploid forages. In: RONGLI, O.A.; SOLBERG, E.; SCHJELDERUP, I. (Eds.). Breeding fodder crops for marginal conditions. Proceedings of the *Eucarpia* fodder crops and amenity grass selection for 1993. Loen, Norway. 117-127 pp.
- BALOCCHI, O.A.; LÓPEZ, I.F. 2009. Herbage production, nutritive value and grazing preference of diploid and tetraploid perennial ryegrass cultivars (*Lolium perenne* L.). Chilean J. Agric. Res. 69, 331-339.
- COSGROVE, G.P.; BURKE, J.L.; DEATH, A.F.; HICKEY, M.J.; PACHECO, D.; LANE, G.A. 2007. Ryegrasses with increased water soluble carbohydrate: evaluating the potential for grazing dairy cows in New Zealand. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 69, 179-185.
- COSGROVE, G.P.; KOOLAARD, J.; LUO, D.; BURKE, J.L.; PACHECO, D. 2009. The composition of high sugar ryegrasses. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 71, 187-193.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.D.; REBERS, P.A.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem., 28, 350-356.
- EDWARDS, G.R.; PARSONS, A.J.; RASMUSSEN, S.; BRYANT, R.H. 2007. High sugar ryegrasses for livestock systems in New Zealand. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 69, 161-171.
- FRAME, J. 1991. Herbage production and quality of a range of secondary grass species at five rates of fertilizer nitrogen application. Grass Forage Sci. 46, 139-151.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA Agr. Handbook.
- HAGEMAN, I.W.; LANTINGA, E.A.; SCHLEPERS, H.; NEUTEBOOM, J.H. 1993. Herbage intake, digestibility characteristics and milk production of a diploid and two tetraploid cultivars of perennial ryegrass. Proceedings of 17th International Grassland Congress, Palmerston, New Zealand. 459-460 pp.
- HALLING, M.; LONGLAND, A.C.; MARTENS, S.; NESHEIM, L.; O'KIELY, P.; LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGUENIN, O.; LOBSIGER, M.; MILLAR, N. 2004. Accumulation of water soluble carbohydrates in two perennial ryegrass cultivars at nine European sites. Land use systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Luzern, Switzerland. 954-956 pp.
- HANNAWAY, D.B.; FRANSEN, S.; CROPPER, J. B.; TEEL, M.; CHANEY, M.; GRIGGS, T.; HALSE, R.; HART, J.; CHEEKE, P.; HANSEN, D.; KLINGER, R.; LANE, W. 1999. Annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). Oregon State University Extension Service, Corvallis, OR, USA.
- HOPKINS, C.; MARAIS, J.P.; GOODENOUGH, D.C.W. 2002. A comparison, under controlled environmental conditions, of a *Lolium multiflorum* selection bred for high dry-matter content and non-structural carbohydrate concentration with a commercial cultivar. Grass Forage Sci. 57, 367-372.
- JOHN, A.; ULYATT, M. 1987. Importance of dry matter content to voluntary intake of fresh grass forages. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 47, 13-16.

- JUNG, H.G.; ALLEN, M.S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73, 2774-2790.
- JUNG, G.A.; VAN WIJK, A.J.P.; HUNT, W.F.; WATSON, C.E. 1996. In: MOSER, L.E., BUXTON, D.R.; CASLER, M.D. (Eds.). *Ryegrass. Cool Season Forage Grasses*. Agronomy monograph 34. Madison, WI. American society of Agronomy. 605-641 pp.
- KINGSTON-SMITH, A.H.; THEODOROU, M.K. 2000. Post-ingestion metabolism of fresh forage. *New Phytologist*, 148, 37-55.
- LAZZARINI, M.B. 2010. Milk production and nitrogen partitioning in dairy cows grazing standard and high sugar perennial ryegrass with and without white clover, during spring and autumn: a thesis presented in partial fulfilment of requirements for the degree of Master of Applied Science in Animal Production at Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- LEE, M.R.F.; JONES, E.L.; MOORBY, J.M.; HUMPHREYS, M.O.; THEODOROU, M.K.; MACRAE, J.C.; SCOLLAN, N.D. 2001. Production responses from lambs grazed on *Lolium perenne* selected for an elevated water-soluble carbohydrate concentration. *Anim. Res.* 50, 441-450.
- MAYLAND, H.; MERTENS, D.; TAYLOR, T.; BURNS, J.; FISHER, D.; GREGORINI, P.; CIAVARELLA, T.; SMITH, K.; SHEWMAKER, G.; GRIGGS, T. 2005. Diurnal changes in forage quality and their effects on animal preference, intake, and performance. *California Alfalfa and Forage Symp.*, 35th, Visalia, CA.
- MILLER, L.A.; MOORBY, J.M.; DAVIES, D.R.; HUMPHREYS, M.O.; SCOLLAN, N.D.; MACRAE, J.C.; THEODOROU, M.K. 2001. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): Milk production from late-lactation dairy cows. *Grass Forage Sci.* 56, 383-394.
- MOORBY, J.M.; EVANS, R.T.; SCOLLAN, N.D.; MACRAE, J.C.; THEODOROU, M.K. 2006. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) evaluation in dairy cows in early lactation. *Grass Forage Sci.* 61, 52-59.
- MOORE, K.J.; JUNG, H.J.G. 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range Manage.* 54, 420-430.
- MORRISON, I.M. 1980. Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. *Grass Forage Sci.* 35, 287-293.
- NAIR, R.N. 2004. Developing tetraploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) populations. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47, 45-49.
- NOCEK, J.E.; RUSSELL, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71, 2070-2107.
- PARSONS, A.J.; RASMUSSEN, S.; XUE, H.; NEWMAN, J.A.; ANDERSON, C.B.; COSGROVE, G.P. 2004. Some 'high sugar grasses' don't like it hot. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 66, 265-271.
- RASMUSSEN, S.; PARSONS, A.J.; XUE, H.; LIU, Q.; JONES, C.S.; RYAN, G.D.; NEWMAN, J.A. 2014. Transcript profiling of fructan biosynthetic pathway genes reveals association of a specific fructosyltransferase isoform with the high sugar trait in *Lolium perenne*. *J. Plant Physiol.* 171, 475-485.
- SKALAND, N.; VOLDEN, B. 1973. Yield and quality of diploid and tetraploid ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) receiving different cutting and nitrogen treatments. *Forsk. Fors. Landbr.*
- SMITH, K.F.; STEWART, A.; SPANGENBERG, G. 2007. Breeding high energy grasses for Australia and New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 69, 173-177.
- VAN MIJK, A.J.P. 1988. Breeding tetraploid perennial ryegrass for forage. P 35-41. In: BARKER, R.E.; MEYER, W.A. (ed.). *Proc. 30th Grass Breed. Work Planning Conf.*, Sublimity, OR.
- VAN SOEST, P. V.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- WILKINS, P.W.; HUMPHREYS, M.O. 2003. Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. *The J. Agric. Sci.* 140, 129-150.
- WILKINSON, J.M.; LE DU, Y.L.P.; COOK, J.E.; BAKER, R.D. 1982. The intake and feeding value for young beef cattle of two cultivars of tetraploid Italian ryegrass when grazed or conserved by artificial dehydration or ensilage. *Grass Forage Sci.* 37, 29-38.
- WIMS, C.M.; MCEVOY, M.; DELABY, T.M.; BOLAND, T.M.; DONOVAN, M.O. 2012. Effect of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars on the milk yield of grazing dairy cows. *Animal* 7, 1-12.

Incidencia de altas temperaturas durante el reproductivo sobre el rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum*) cultivado en diferentes distanciamientos entre surcos

TCACH, N.¹; PAYTAS, M.²

RESUMEN

El efecto del cambio climático se observa actualmente en una amplia gama de ecosistemas y especies en todas las regiones del mundo en respuesta al aumento de la temperatura. El distanciamiento entre surcos influye en la arquitectura de las plantas, modificando el microclima y la temperatura del dosel.

El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta de los cultivos de algodón a los incrementos de temperatura para dos espaciamientos entre surcos con especial énfasis en: I) parámetros de desarrollo y crecimiento; II) rendimiento y sus componentes; III) parámetros de calidad de la fibra. Los tratamientos consistieron en una combinación de dos distanciamientos (1,00 y 0,48 m) y dos tratamientos térmicos sin y con aumento de temperatura). Para lograr el aumento (5 °C en promedio) de temperatura, se instalaron carpas de polietileno transparente en el periodo reproductivo durante tres semanas consecutivas en seco.

El distanciamiento entre surcos muestra diferencias cuando las temperaturas son elevadas. En el año de mayor disponibilidad hídrica los tratamientos térmicos no mostraron diferencias de rendimiento entre los distanciamientos entre surcos, es decir, la nubosidad y las lluvias mitigaron parte del estrés térmico.

Palabras clave: estrés abiótico, algodón, periodo reproductivo, cambio climático, seco.

ABSTRACT

The effect of climate change is currently observed in a wide range of ecosystems and species in all regions of the world in response to the increase in temperature. The row spacing influences the architecture of the plants, modifying the microclimate and the temperature of the canopy.

The objective of this study was to determine the response of cotton crops to temperature increases for two row spacing's, with special emphasis on: I) parameters of development and growth; II) performance and its components; III) fiber quality parameters. The treatments consisted of a combination of two spacing's (1.00

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Sáenz Peña, Ruta Nacional 95 km 1108 (3700), Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina. Correo electrónico: tcach.nydia@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Reconquista, Ruta 11 km 773 (3567), Reconquista, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: paytas.marcelo@inta.gov.ar

Recibido 01 de diciembre de 2017 // Aceptado 31 de octubre de 2018 // Publicado online 22 de abril de 2020

and 0.48 m) with two thermal treatments (without and with temperature increase) To achieve the increase (5 °C in average) of temperature, transparent polyethylene tents were installed in the reproductive period during three consecutive weeks in dry land. Row spacing's showed differences when temperatures were high. In the year of greatest water availability, the thermal treatments did not show differences in yield between row spacing's revealing that cloudiness and rainfall mitigated part of the thermal stress.

Keywords: abiotic stress, cotton, reproductive period, climatic change, dry land.

INTRODUCCIÓN

El efecto del cambio climático se observa actualmente en una amplia gama de ecosistemas y especies en todas las regiones del mundo en respuesta al aumento de la temperatura media (Rosenzweig *et al.*, 2007).

El cambio climático ocasionó un aumento de la temperatura y se prevé que subirá más aun, lo cual causará pérdidas sustanciales en la productividad del cultivo de algodón debido al impacto negativo en los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo (Al-Khatib y Paulsen, 1999).

Se espera que la temperatura global podría aumentar entre 1,4 y 5,8 °C a finales del siglo XXI debido a los aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

El algodón en su estado nativo es un arbusto perenne que crece en un hábitat semidesértico y como tal requiere días cálidos (Gipson y Joham, 1969). Sin embargo, a pesar de que se origina a partir de clima cálido, sus rendimientos no logran valores óptimos bajo altas temperaturas (Oosterhuis y Snider, 2011).

En la mayor parte de las regiones productoras de algodón, las temperaturas actuales son ya cercanas o superiores a la temperatura óptima para su crecimiento y desarrollo. Por ello durante el periodo reproductivo es importante identificar y desarrollar técnicas de manejo que atenúen los efectos negativos de las altas temperaturas (Singh *et al.*, 2004).

Temperaturas diurnas por encima de 30 °C se pueden presentar durante las etapas de floración y desarrollo del fruto en muchas regiones productoras de algodón en todo el mundo. Estas temperaturas elevadas pueden comprometer la fijación de órganos reproductivos, el rendimiento y los parámetros de calidad de la fibra (Reddy *et al.*, 2004).

Diversos autores han definido las temperaturas que modulan el crecimiento y desarrollo del cultivo de algodón. Por ejemplo, la fase de primera flor a fin de floración efectiva presenta una temperatura base de 18 °C, una temperatura óptima de 27 a 28 °C y una temperatura crítica de 30 °C (Reddy *et al.*, 2004); mientras que la fase de maduración presenta una temperatura base de 20 °C, una temperatura óptima de 25 a 30 °C y una temperatura crítica de 32 °C (Bibi *et al.*, 2003).

Zhao *et al.* (2005) observaron una mayor tasa de abscisión de las yemas florales y cápsulas jóvenes en las plantas cultivadas a temperaturas de 30 °C durante el periodo reproductivo, en comparación con aquellas que crecen bajo temperaturas óptimas. Zeiher *et al.* (1995) demostraron que el número de cápsulas era bajo asociado con una temperatura mayor a 30 °C, y que esta temperatura parece afectar específicamente el desarrollo de la capsula, ya sea por la destrucción del meristema reproductivo o por aborto del fruto (Hesketh y Low, 1968). En el mismo sentido, Morris (1964) demostró que la alta temperatura acorta el periodo de maduración, lo cual trae cápsulas con menos peso, acelera la precocidad y afecta la calidad de fibra del cultivo de algodón.

Jane *et al.* (2007) encontraron una interacción entre la temperatura y la arquitectura de la planta, así observaron que la temperatura de la canopia era superior en 5-6 °C en surcos espaciados a 0,96 m en comparación con 0,34 o 0,17 metros. El sistema de surcos estrechos puede alterar la arquitectura de la planta y los procesos fisiológicos internos como consecuencia de la mayor densidad (Slosser *et al.*, 1986).

El distanciamiento entre surcos influye en la arquitectura de la planta ya que estas pueden detectar la presencia de otras plantas debido a la sombra que generan (Ballaré y Casal, 2000). En el momento en que las plantas dentro de un cultivo empiezan a competir, el incremento de la densidad de plantas determina una reducción del tamaño de estas y un cambio en la disposición espacial (Smith, 1982; Casal *et al.*, 1986; Ballaré *et al.*, 1987). Las plantas sembradas en surco estrecho modifican el canopeo a través de la reducción de altura de la planta y mayor disponibilidad de luz en el medio y la parte superior de la canopia (Reta-Sanchez, 1992).

En este contexto, las prácticas de manejo agronómico, como el distanciamiento entre surcos, influyen en la arquitectura de las plantas, modificando el microclima y la temperatura del canopeo (Buxton *et al.*, 1977) lo que nos permitiría lograr una adaptación significativa a los incrementos en temperatura que se vienen registrando en los últimos años en la región algodonera argentina. El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta del cultivo de algodón al incremento de temperatura en el periodo reproductivo para dos espaciamientos entre surcos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

Los experimentos se realizaron a campo en la Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), durante las campañas 2013/2014 y 2014/2015, ubicada en la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, Argentina.

El suelo donde se implantaron los ensayos corresponde a la serie Independencia y su clasificación taxonómica corresponde a un haplustol óxico que se encuentra en lomas tendidas que pertenecen a albardones fósiles sin evolucionar, de relieve normal. Suelo moderadamente profundo, la penetración efectiva de raíces de las plantas cultivadas puede llegar hasta alrededor de los 0,90 m, a partir de cuya profundidad hay un ambiente tóxico producido por altas concentraciones de sodio intercambiable (Ledesma *et al.*, 1973).

Material vegetal

La variedad de algodón que se utilizó fue NuOpal RR la cual presenta excelente sanidad, es muy vigorosa, apta para suelos de baja a media fertilidad, ciclo largo (4600 grados días), tolerante a la enfermedad azul (*cotton leafroll dwarf virus*) y mancha angular (*xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*). Dicha variedad se seleccionó en este trabajo por tener excelentes aptitudes agronómicas.

Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos fueron una comparación entre dos distanciamientos entre surcos (1,00 m; D1 y 0,48 m; D2) con y sin generación de estrés térmico durante tres semanas consecutivas desde el inicio de floración. La duración de los tratamientos se basó en la duración de la etapa reproductiva más susceptible (Reddy *et al.*, 1991).

La instalación de las carpas para generar el estrés térmico en la primera campaña (2013/14) se realizó el 23 de diciembre de 2013 (42 días después de la siembra; DDS; etapa de pimpollado) y en la segunda campaña (2014/15) se realizó el 29 de diciembre de 2014 (43 DDS).

Las carpas (una carpa por unidad experimental) que se utilizaron se fabricaron con una estructura de hierro con una altura de 2 m por 1,5 m ancho y 1,5 m de largo (superficie cubierta= 2,25 m²) de manera que puedan entrar los surcos en los cuales se realizó el registro. Se utilizaron cubiertas de un plástico transparente de 200 micras con los laterales abiertos a la altura de 1,20 m para permitir un óptimo intercambio gaseoso, evitar un excesivo calentamiento y permitir un crecimiento activo de planta (Cirilo y Andrade, 1996).

Al inicio de la floración se instalaron por repetición un data logger (Cavadevices) con 2 sensores que registraron la temperatura cada 15 minutos (un sensor se encontraba afuera de la carpa y el otro sensor en el interior de la carpa por debajo de planta y al costado del tallo) para poder registrar la temperatura durante todo el periodo (Neiff *et al.*, 2016). Se calculó un índice de estrés térmico (sumatoria de tiempo térmico por encima de la temperatura umbral 30 °C para

el cultivo de algodón por hora / número de horas que la temperatura permaneció por encima de 30 °C). En total se instalaron 16 sensores; 8 sensores adentro de las carpas (cuatro para distanciamiento 0,48 y cuatro para distanciamiento 1,00 m) y 8 sensores ubicados fuera de las carpas. Se consideró la duración del día (5:05-18:55 h) y duración de la noche (19:00-5:00 h).

Manejo de los experimentos

En la primera campaña (2013/14) la siembra se realizó el 11 de noviembre de 2013 y en la segunda (2014/15) fue el 17 de noviembre de 2014.

La siembra se realizó bajo siembra directa. A partir de los 10 días de producida la emergencia del cultivo se ralearon todas las unidades experimentales a 8 plantas por metro en las siembras distanciadas a 0,48 y a 16 plantas por metro en las siembras distanciadas a 1,00 m. De esta manera se obtiene la misma densidad en ambos sistemas de 160.000 plantas/hectárea.

Durante las dos campañas de ensayos (2013/2014) y (2014/2015) los tratamientos se regularon con Pix a una dosis de 300 cc/hectárea (para evitar el excesivo crecimiento vegetativo), se controlaron malezas y plagas según las recomendaciones de la sección algodón de la EEA-INTA Sáenz Peña. El ensayo se realizó en seco.

La cosecha se realizó el 21 de marzo para la primera campaña (2013/14) y el 27 de marzo en la segunda campaña (2014/15).

Mediciones realizadas a campo y en laboratorio

A los 30 DDS se seleccionó el área donde fue instalada la carpa y se realizaron los registros correspondientes.

En el inicio de floración (45 DDS) se instalaron las carpas durante 3 semanas seguidas. Luego de retiradas (50% de floración) las carpas, se registraron altura, número de nudos, número de pimpollos, de flores, de cápsulas, abscisión de órganos fructíferos (observando presencia o ausencia de frutos; cicatriz) y cápsulas abiertas de todas las plantas del metro lineal.

A los 80 DDS en todas las plantas de un metro lineal (8 plantas) de cada tratamiento se determinó el porcentaje de retención de órganos fructíferos (%ROF) mediante la fórmula $[n.º \text{ órganos fructíferos retenidos} / (n.º \text{ órganos fructíferos retenidos} + n.º \text{ órganos fructíferos caídos})]$, dicha variable se cuantificó en porcentaje.

A los 95 DDS (posestrés) se midió el área foliar total por planta (AFP) con el Medidor Portable de Área Foliar LICOR modelo LI-3000C. Las mediciones se hicieron sobre cuatro plantas por metro lineal en las cuatro repeticiones, totalizando 16 plantas por cada tratamiento. Las unidades de medida fueron en mm² (área de scanner: 1 x 1 mm).

Para observar la disminución de radicación ocasionada por el plástico de la carpa, se midió la radiación incidente ($\mu\text{m}^2/\text{día}^{-1}$) a las 12 am durante las tres semanas todos

los días, tanto en el interior como fuera de la carpa sin el cultivo. Por única vez a los 95 DDS se midió la radiación incidente con un radiómetro (Cavadevices) con una barra de 1 metro de longitud. Se realizaron dos mediciones: 1.^a) en el estrato superior, colocando la barra por encima del ápice de la planta y 2.^a) en el estrato inferior, colocando la barra en el nudo número 6 sobre el tallo principal. La radiación interceptada (RDi) se calculó de la siguiente manera $[1 - (\text{radiación inferior} \cdot \text{radiación superior})] \cdot 100$.

A los 102 DDS, y considerando que la apertura de cápsulas se encontraba por encima del 50%, se determinó precocidad (duración del ciclo) en cada tratamiento mediante el conteo del número de capullos (estructura fructífera abierta) y el número de cápsulas (estructura fructífera cerrada). La precocidad se calculó mediante la fórmula $[\text{N.º capullos} / (\text{N.º de capullos} + \text{N.º de cápsulas})] \cdot 100$.

A los 102 DDS se procedió a la extracción de un metro lineal de las unidades experimentales (8 plantas) para la determinación de biomasa total y biomasa particionada, separando las estructuras vegetativas (tallo + hojas) y reproductivas (cápsula + pimpollo). Las muestras se llevaron a estufa a una temperatura de 60 °C hasta peso constante. Se pesaron y se expresaron en g/m².

A los 130 DDS se cosechó, se pesó el algodón en bruto (fibra + semilla) y luego se realizó el desmote (separación de la semilla de la fibra) mediante el empleo de una microdesmotadora eléctrica a sierras. El porcentaje de desmote es la relación entre $[\text{peso de fibra} / (\text{peso fibra} + \text{peso semilla})] \cdot 100$. Las muestras de fibra se enviaron al laboratorio de calidad de fibra de la EEA Sáenz Peña para estimar los principales parámetros tecnológicos de la fibra: longitud (mm), resistencia (gr/tex) e índice de micronaire. Este análisis se realizó mediante un instrumento denominado HVI (High Volumen Instrument), marca: Uster y modelo: Spectrum.

Análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó fue de parcelas divididas (parcela principal: distanciamiento entre surcos y sub-parcela: estrés térmico) completamente aleatorizadas con 4 repeticiones (factorial: 2x2x4).

Las variables analizadas por ANOVA fueron: temperatura promedio horaria, área foliar, intercepción de la radiación, altura, retención de órganos fructíferos, precocidad, biomasa, componentes de rendimiento y parámetros de calidad de fibra mediante el empleo del paquete estadístico InfoStat/P versión 2017. Para la comparación entre medias se utilizó el test de Duncan ($\alpha=0,05$). Se analizó la regresión lineal entre las variables de área foliar por planta y %ROF.

RESULTADOS

Descripción del ambiente

Precipitaciones

En la figura 1 se observan las precipitaciones acumuladas para ambas campañas. En el primer año de estudio se registró un total de precipitaciones de 561,1 mm, mientras que en el segundo un total de 443,1 mm. Ambos años presentaron un pico de máximas precipitaciones en noviembre donde se realizó la siembra manteniéndose las precipitaciones en torno a los 75 mm mensuales desde fines de diciembre (inicio de estrés térmico por altas temperaturas) a mediados de enero (finalización del estrés). Se destaca que en la segunda campaña el registro de precipitaciones fue más estable en los meses de enero, febrero y marzo.

Temperatura

Existieron diferencias estadísticamente significativas durante el día al analizar los valores de temperatura obtenidos.

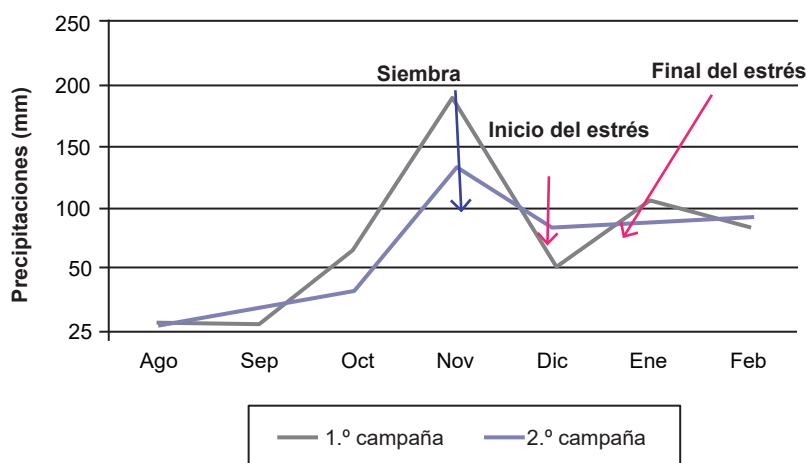


Figura 1. Precipitaciones mensuales durante el ciclo del cultivo para cada campaña (2013/2014) y (2014/2015) en Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco). Las flechas indican las fechas de siembra del cultivo de algodón y el inicio y finalización de estrés térmico por altas temperaturas en los meses correspondientes. Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de la EEA Sáenz Peña.

nidos tanto fuera como dentro de las carpas. Se observó este comportamiento en valores promedio y mediante un índice de estrés térmico. Con respecto a la temperatura nocturna no se observaron diferencias de temperatura entre los tratamientos, debido a que la carpa no se encontraba totalmente cerrada (tabla 1). Esto permitió una aireación constante y además la temperatura del aire a esas horas no era elevada.

La aplicación de las carpas generó que a partir de las 10 de la mañana la temperatura en el interior comenzó a elevarse con respecto a la temperatura del ambiente, visualizando la diferencia entre interior y exterior (figura 2). La duración diaria de dicho estrés fue de 5 horas promedio durante tres semanas de la instalación de las carpas, haciendo un total de 105 horas promedio de estrés. La temperatura que se registró se mantuvo por encima de los umbrales óptimos (27-28 °C) durante tres semanas continuas.

En la figura 3 se observa que la temperatura de los tratamientos térmicos en ambos sistemas de siembra presentó diferencias respecto a la temperatura del día. El distanciamiento de 1,00 presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al distanciamiento de 0,48 m durante las horas del día 14:00 y 16:00 h, observándose un pico de máximas temperaturas alrededor de los 50 °C (0,48 m) y 40 °C (1,00 m). En distanciamientos de 0,48 m las diferencias de temperatura entre los tratamientos térmicos fueron menores comparadas con distanciamientos de 1 m.

Radiación incidente

La diferencia de incidencia de la radiación en el interior y exterior de las carpas sin la presencia del cultivo, es decir,

| Tratamiento | Campaña 2013/14 | | Campaña 2014/15 | |
|--|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | T °C Noche | T °C Día | T °C Noche | T °C Día |
| Interior de carpa | 24,35 a | 44,81 b | 20,2 a | 44,03 b |
| Exterior de carpa | 24,54 a | 34,62 a | 19,79 a | 37,06 a |
| Índice de estrés térmico (interior de carpa) | * | 8,9 b | * | 8,8 b |
| Índice de estrés térmico (exterior de carpa) | * | 6,9 a | * | 7,4 a |

Tabla 1. Temperatura promedio en el interior y exterior de las carpas registrada mediante data loggers calibrados cada 15 minutos (5:05-18:55 h) y noche (19:00-5:00 h) del periodo de estrés evaluado para el cultivo de algodón. Índice de estrés térmico diurno dentro y fuera de la carpa. Durante las campañas 2013/14 y campañas 2014/15. Roque Sáenz Peña, Chaco.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

la disminución de la radiación ocasionada por el plástico, fue de 10% de la radiación incidente.

Área foliar

Durante las dos campañas la variable área foliar total por planta (AFP) registrada en el periodo reproductivo (plena floración) presentó similar comportamiento. En los sistemas sometidos a estrés térmico el AFP fue superior a los testigos (sin estrés). En este sentido, la campaña 2013/14, la siembra a 1,00 m se diferencié estadísticamente de su testigo (sin estrés) en un 36,3%, a diferencia de la siembra a menor distanciamiento (0,48 m) que si bien incrementa un 17% su AFP con respecto a su testigo (sin estrés), no existen diferencias significativas. En la campaña 2014/15 se observaron resultados similares, los tratamientos con estrés térmico mostraron mayor AFP con una diferencia de 53 y 30,6% en siembras 1,00 y 0,48 m, respectivamente (tabla 2). Nuevamente, las diferencias significativas solo se observaron para los distanciamientos entre surcos de 1,00 m.

Retención de órganos fructíferos

El porcentaje de retención de los órganos fructíferos a los 80 DDS mostró que los tratamientos testigos (sin estrés) presentaron mayor retención de órganos fructíferos con respecto a los tratamientos con estrés (tabla 3).

Cuando se compara la ROF entre ambos distanciamientos ante situaciones de estrés, se detectan diferencias estadísticamente significativas a favor de los surcos estrechos, observándose una menor disminución de los valores de la ROF para los D2 en ambas campañas (tabla 3). Cuando la comparación entre distanciamientos se hace sin estrés, existe claramente un efecto año ya que para la primera campaña no se presentan diferencias estadísticamente significativas, mientras que para la segunda campaña los D1 obtuvieron mayores valores de ROF que los D2 siendo esa diferencia estadísticamente significativa (interacción distanciamiento x año) (tabla 3).

En la figura 4 se observa un análisis de regresión entre las variables AFP y ROF. En este se observa que existe un moderado grado de asociación entre ambas ($R^2 = 61$).

Precocidad

El comportamiento de la precocidad fue similar entre las dos campañas de estudio. Los tratamientos térmicos en ambos distanciamientos presentaron valores más altos de precocidad. En la campaña 2013/2014 los tratamientos térmicos presentaron diferencias estadísticamente significativas para ambos distanciamientos: en D1 la diferencia fue de 15,86% y para D2 fue del 11%; mientras que en la campaña 2014/2015 las diferencias fueron 15,7 y 8,6% en D2 y D1 respectivamente. Es decir, en ambos sistemas de siembra, la elevación de la temperatura acortó el tiempo de maduración (tabla 4). Comparando los tratamientos térmicos, D1

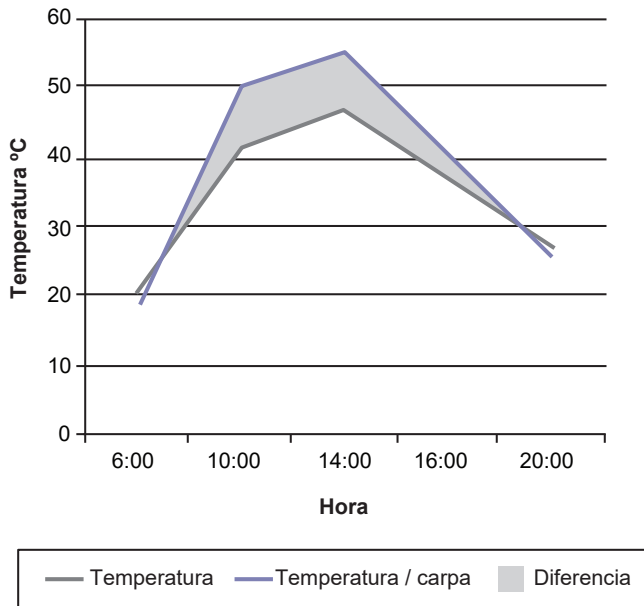


Figura 2. Valores de temperatura media diurna (6:00, 10:00, 14:00, 16:00, 20:00) para dos distanciamientos entre surcos de algodón en el interior y exterior de las carpas (promedio de tres semanas y dos campañas) en Roque Sáenz Peña, Chaco.

presentó mayor precocidad que D2 con diferencias estadísticas significativas entre dichos tratamientos (tabla 4).

Biomasa seca aérea total

El análisis de los valores de biomasa total para las dos campañas mostró que ambos distanciamientos sometidos a estrés producen menos biomasa que sus respectivos testigos (tabla 5).

Para D1 las diferencias estadísticamente significativas fueron en ambas campañas y alcanzaron valores de biomasa total en el tratamiento térmico respecto a los testigos de un 22 y 26,4% menos para la primera y segunda campaña, respectivamente. En cuanto a D2, también presentó diferencias estadísticamente significativas para ambas campañas. En 2013/2014 la diferencia fue de 7,8% y en 2014/2015 de 17,3% menos de biomasa seca total para los tratamientos de estrés térmico con respecto al testigo (tabla 5). Comparando los tratamientos térmicos en la primera campaña las diferencias fueron significativas entre distanciamientos, donde D2 presentó 590 kg/ha más que D1; mientras que en la segunda campaña las diferencias no fueron estadísticamente significativas (tabla 5).

Rendimiento y sus componentes

Al analizar la variable rendimiento (kg/ha) se obtuvieron respuestas variables según las campañas, los tratamientos de distanciamiento y de estrés térmico.

La respuesta más importante se debió a las diferencias entre campañas, ya que en la campaña 2014/2015 el rendimiento fue prácticamente el doble del logrado en la campaña 2013/2014 para todos los distanciamientos y tipo de estrés, debido a que las precipitaciones fueron mayores y mejores distribuidas (tabla 6).

Cuando el análisis se realizó por distanciamiento, los resultados varían en función de la campaña considerada. Para la primera campaña, los tratamientos sin estrés rindieron más que los tratamientos con estrés: en D1 la reducción de los tratamientos con estrés fue de 25,8% y con el D2 de 18%. En la segunda campaña no se encontraron diferencias significativas dentro de cada distanciamiento entre los tratamientos térmicos, a pesar de presentar diferencias en valores absolutos favorables a los tratamientos sin estrés, siendo la reducción en D1 de 17% y en D2 de 11% (tabla 6).

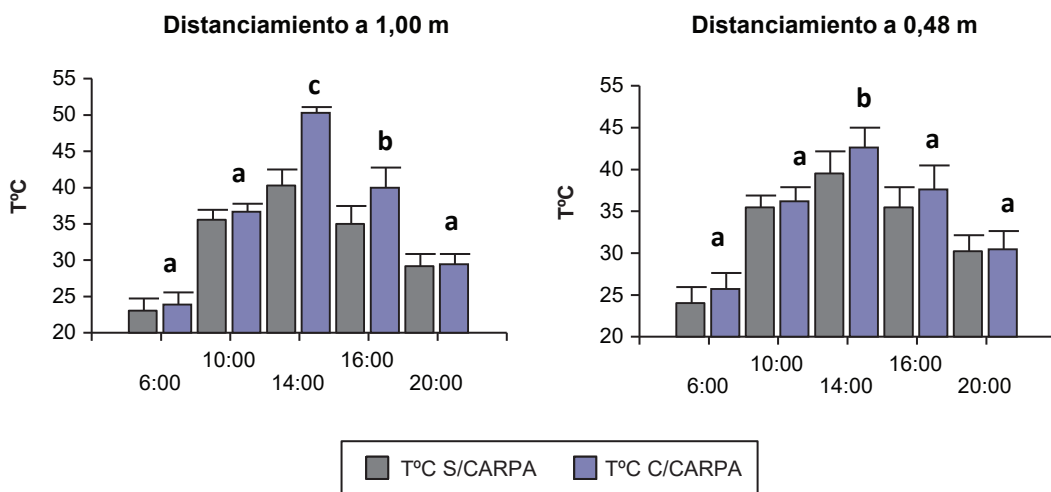


Figura 3. Temperaturas en el interior y exterior de las carpas durante el periodo de estrés en ambas campañas (2013/14 y 2014/15) en algodón en Roque Sáenz Peña, Chaco para dos distanciamientos entre surcos (1,00 y 0,48 metros). El análisis estadístico individual para cada distanciamiento con su respectivo testigo.

| Área foliar por planta (AFP) | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|
| Tratamiento | Campaña 2013/14 | Campaña 2014/15 |
| D1 Con carpa | 1201,56 b | 1411,49 b |
| D1 Sin carpa | 746,56 a | 655,83 a |
| D2 Con carpa | 946,36 a | 1215,99 ab |
| D2 Sin carpa | 778,21 a | 843,56a b |
| DMS | 460,14 | 579,99 |
| p-valor | 0,0001 | 0,0001 |

Tabla 2. Área foliar por planta a los 95 DDS en los diferentes tratamientos durante las dos campañas.

DMS representa la diferencia mínima significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

| % Retención de órganos fructíferos | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Tratamiento | Campaña 2013/14 | Campaña 2014/15 |
| D1 Con carpa | 64,93 a | 57,49 a |
| D1 Sin carpa | 79,12 b | 84,30 c |
| D2 Con carpa | 77,13 b | 69,94 b |
| D2 Sin carpa | 80,63 b | 75,80 b |
| p-valor | 0,0001 | 0,0001 |
| DMS | 14,03 | 11,45 |

Tabla 3. Porcentaje de retención de órganos fructíferos (ROF) a los 80 DDS en los diferentes tratamientos (D1 y D2 con y sin estrés) en algodón en Roque Sáenz Peña, Chaco.

DMS representa la diferencia mínima significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

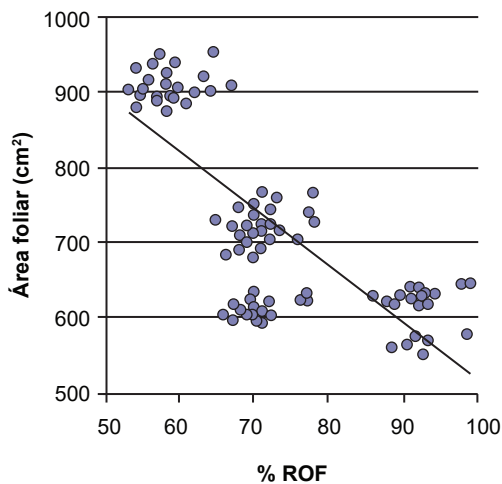


Figura 4. Análisis de regresión lineal del Área Foliar por planta (cm^2) y porcentaje de retención de órganos fructíferos (%ROF) a los 80 DDS en función de los tratamientos (D1 y D2 con y sin estrés), ($y = -0,0743x + 133,23$, $R^2 = 0,6176$). Los puntos representan el promedio de ambas campañas en el cultivo de algodón en Roque Sáenz Peña, Chaco.

Al igual que el rendimiento, el número de capullos fue muy superior en la campaña 2014/2015 que en la campaña 2013/2014 (tabla 6). En la campaña 2013/2014, el número de capullos por metro cuadrado solo presentó diferencias significativas con el D2, mostrando mayor número de capullos en los tratamientos sin estrés. En la campaña 2014/2015 se observaron diferencias significativas en los dos sistemas de siembras mostrando menor número de capullos en los tratamientos térmicos (tabla 6).

El peso de capullo mostró un comportamiento similar en ambas campañas, diferenciándose las respuestas princi-

| % Precocidad | | |
|--------------|-----------------|-----------------|
| Tratamiento | Campaña 2013/14 | Campaña 2014/15 |
| D1 Con carpa | 55,64 c | 50,31 c |
| D1 Sin carpa | 38,4 ab | 45,96 b |
| D2 Con carpa | 42,81 b | 44,01 b |
| D2 Sin carpa | 35,35 a | 37,08 a |
| p-valor | 0,0001 | 0,0001 |
| DMS | 6,34 | 6,73 |

Tabla 4. Tiempo en que se produce la maduración de los frutos (precocidad) del cultivo de algodón expresada en porcentaje a 102 días después de la siembra en los diferentes combinación de tratamiento (D1 y D2 con y sin estrés) Roque Sáenz Peña, Chaco.

DMS representa la diferencia mínima significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

| Biomasa (kg/ha) | | |
|-----------------|-----------|-----------|
| Tratamiento | 2013/14 | 2014/15 |
| D1 Con carpa | 2812,01 a | 3904,01 a |
| D1 Sin carpa | 3650,40 c | 5304,01 b |
| D2 Con carpa | 3402,02 b | 4121,01 a |
| D2 Sin carpa | 3688,69 c | 5025,02 b |
| p-valor | 0,0038 | 0,0169 |

Tabla 5. Biomasa seca total de algodón a los 127 días después de la siembra para todos los tratamientos analizados (D1 y D2 con y sin estrés) en las dos campañas en Roque Sáenz Peña, Chaco.

DMS representa la diferencia mínima significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

| Tratamiento | N.º de capullos/m ² | | Peso de capullos (g) | | Rendimiento (kg/ha) | |
|---------------------|--------------------------------|---------|----------------------|---------|---------------------|------------|
| | 2013/14 | 2014/15 | 2013/14 | 2014/15 | 2013/14 | 2014/15 |
| D1 Con carpa | 23 a | 52 a | 3,10 a | 3,24 b | 740,10 a | 1706,25 a |
| D1 Sin carpa | 22 a | 73 b | 4,42 b | 2,70 a | 997,47 b | 2073,25 ab |
| D2 Con carpa | 27 a | 62 a | 3,39 a | 3,12 ab | 924,10 b | 2077,08 ab |
| D2 Sin carpa | 32 b | 72 b | 3,44 a | 3,22 ab | 1128,20c | 2344,81 b |
| DMS | 4,02 | 9,05 | 0,86 | 0,52 | 123,7 | 516,04 |
| p- valor | 0,0422 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |

Tabla 6. Rendimiento, peso individual de capullos y número de capullos de algodón en Roque Sáenz Peña, Chaco. DMS representa la diferencia mínima significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

| Tratamiento | Rendimiento de fibra (%) | | Longitud (mm) | | Resistencia (gr/tex) | | Micronair | |
|---------------------|--------------------------|---------|---------------|---------|----------------------|---------|-----------|---------|
| | 2013/14 | 2014/15 | 2013/14 | 2014/15 | 2013/14 | 2014/15 | 2013/14 | 2014/15 |
| D1 Con carpa | 30,75 a | 36,33 a | 28,25 a | 27,60 a | 31,44 a | 32,92 a | 3,67 a | 3,48 a |
| D1 Sin carpa | 30,65 a | 37,51 a | 28,44 a | 27,72 a | 31,63 a | 32,48 a | 3,17 a | 3,27 a |
| D2 Con carpa | 28,79 a | 35,99 a | 28,82 a | 27,88 a | 34,81 a | 33,35 a | 3,08 a | 3,17 a |
| D2 Sin carpa | 32,73 a | 36,82 a | 28,15 a | 27,70 a | 32,15 a | 33,90 a | 3,19 a | 4,05 a |
| p-valor | 0,3096 | 0,9960 | 0,2168 | 0,9748 | 0,1173 | 0,8000 | 0,5786 | 0,2295 |
| DMS | 6,59 | 15,34 | 1,27 | 1,79 | 7,18 | 4,43 | 1,75 | 1,28 |

Tabla 7. Porcentaje de desmote (rendimiento de fibra) y principales parámetros de calidad de fibra de algodón en Roque Sáenz Peña, Chaco.

egRegistros obtenidos del Laboratorio de Calidad de Fibra de la EEA de INTA de Presidencia Roque Sáenz Peña. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

palmente por el distanciamiento. En los D1, los capullos fueron más pesados en el tratamiento sin estrés en relación con el estresado, originando diferencias significativas para la campaña 2014/15.

Rendimiento y parámetros de calidad de fibra

Durante las dos campañas no existieron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de desmote y los parámetros de calidad de fibra (micronaire, longitud y resistencia) al comparar los diferentes tratamientos de distanciamientos con y sin estrés. (tabla 7).

DISCUSIÓN

Las temperaturas altas son un fenómeno complejo que afecta a la fisiología, el crecimiento y la productividad en

las plantas de algodón. Coincidiendo con Cicchino *et al.* (2010) y Neiff *et al.* (2016), el incremento de la temperatura durante el periodo reproductivo del cultivo de algodón mediante la utilización de las carpas de plástico transparente fue efectivo, mostrando diferencias de temperatura durante el día. La elevación de la temperatura en el interior de las carpas provocó un estrés en el año donde las precipitaciones fueron menores, con cambios en el crecimiento y desarrollo, coincidiendo con Wahid *et al.* (2007) quienes reportaron que el estrés es causado por un ascenso en la temperatura máxima diaria por encima de un valor umbral y durante un periodo breve, lo que provoca daños irreversibles en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Al-Khatib y Paulsen (1999) mencionan que la magnitud de dicho efecto depende de características del estrés como intensidad, duración y tasa de incremento térmico. Precisamente, en este ensayo la temperatura que se registró

se mantuvo por encima de los umbrales óptimos (30 °C) durante tres semanas consecutivas, lo cual indicaría que la magnitud del efecto del estrés fue importante. En este marco, cuando las temperaturas fueron elevadas, el sistema de siembra espaciado a metro presentó mayor amplitud térmica, en comparación con el sistema de configuración en surcos estrechos, lo cual explica que a medida que se acorta la distancia entre surcos, las variaciones térmicas en el interior del cultivo son menores. Estos resultados coinciden con lo que expresan Jane *et al.* (2007) quienes encontraron una interacción entre la temperatura y la arquitectura de la planta, mostrando que la temperatura de la canopea era superior en 5-6 °C en surcos espaciados a 0,96 m versus surcos espaciados a 0,34 o 0,17 metros. El efecto térmico causó mayor área foliar para ambos distanciamientos (mayor en el distanciamiento a metro) coincidiendo con Reddy *et al.* (1992) quienes encontraron que a temperaturas altas el área foliar era seis veces mayor que la de las plantas cultivadas a menor temperaturas, dado que la temperatura favorece el crecimiento. Constable (1975) encontró que los valores altos de área foliar afectan negativamente los rendimientos, causando abortos en las posiciones fructíferas, coincidiendo con los resultados de este ensayo, en los cuales los tratamientos sometidos a estrés presentaron mayor área foliar, pero menor rendimiento. El sistema de siembra espaciado a metro fue el que menor porcentaje de retención de órganos fructíferos presentó bajo condiciones de estrés térmico por altas temperaturas. En este ensayo, para ambos distanciamientos, hay una disminución del %ROF, pero esta merma no presentó diferencias estadísticamente significativas en siembras a menores distanciamientos (0,48 m), pero sí en las siembras de 1,00 m. Se destaca que el estrechamiento de surcos a 0,48 m amortiguó el efecto adverso del estrés térmico en el %ROF, no diferenciándose del testigo. Estos resultados concuerdan con lo que expresan Zhao *et al.* (2005) que observaron que cuando las temperaturas son elevadas en el periodo reproductivo hay mayor porcentaje de aborto.

Las plantas sometidas a estrés por alta temperatura mostraron valores más altos de precocidad respecto a los testigos en los dos distanciamientos entre surcos, lo cual significa que cumplieron su ciclo en menor tiempo generando, a su vez, una menor biomasa seca aérea total. Resultados similares fueron reportados por Morris (1964) que demostró que las altas temperaturas acortan el ciclo de cultivo. Yfoulis y Fasoulas (1978) expresan que las temperaturas altas acortan el tiempo de maduración del algodón por lo que sus cápsulas maduran antes y, como consecuencia, los valores de biomasa son significativamente menores, tal cual lo confirmaron Zeiher *et al.* (1994).

Con respecto al rendimiento (kg/ha), los tratamientos térmicos mostraron una reducción significativa en la primera campaña de estudio donde las precipitaciones fueron menores. Estos resultados coinciden con los reportados por Paytas *et al.* (2013) quienes expresan que las altas temperaturas afectan negativamente al rendimiento. Sin embargo, en la segunda campaña, donde las precipitaciones fueron más abundantes, al tener el cultivo un mayor suministro

de agua el estrés térmico no se expresó por el enfriamiento evaporativo (Montaldi, 1995).

No se registraron diferencias significativas debido a los tratamientos térmicos en cuanto a los parámetros de calidad como ser los valores de longitud de fibra. En este último caso, las longitudes de fibra no llegaron a sus valores óptimos (29-30 mm) según lo expresado por Gipson y Joham (1969), donde expresan que la longitud máxima de fibra se obtiene cuando las temperaturas se encuentran entre 15 y 21 °C.

Este conocimiento permitirá conocer el comportamiento de los sistemas de siembra ante los actuales y próximos cambios del clima, especialmente referidos a la elevación de la temperatura. Sin embargo, hace falta seguir investigando sobre estrés térmico por altas temperaturas en diferentes fases del periodo reproductivo en distintos cultivares de algodón.

AGRADECIMIENTOS

INTA EEA Sáenz Peña, Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE), PNIND 1108064 "Bases Eco fisiológicas del Mejoramiento y Sistemas de Cultivo" y proyecto integrador del cultivo de algodón.

BIBLIOGRAFÍA

- AL-KHATIB, K.; PAULSEN, A. 1999. High temperature effects on photosynthetic processes in temperate and tropical cereals. *Crop Sci.* 39:119-125.
- BALLARÉ, C.; CASAL, J. 2000. Light signals perceived by crop and weed plants. *Field.Crop Research* 67:149-160.
- BALLARÉ, C.; SÁNCHEZ, A.; CASAL, J.L.; GJERSA, C. 1987. Early detection of neighbor plants by photochromic perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant, Cell and Environ.* 10: 551-557.
- BIBI, A.C.; OOSTERHUIS, D.M.; BROWN, R.S.; GONIAS, E.D.; BOURLAND, F.M. 2003. The Physiological Response of Cotton to High Temperatures for Germplasm Screening. *Summaries of Arkansas Cotton Research. AAES Research Series* 521. 87-93 pp.
- BUXTON, R.; BRIGGS, R.; PATTERSON, L.; WATKINS, S. 1997. Canopy Characteristics of Narrow-Row Cotton as Influenced by Plant Density. *AGRON. J.* 69: 929-933.
- CASAL, J.; SÁNCHEZ, A.; DEREGIBUS, V. 1986. Effects of plant density on tillering: The involvement of the red/far-red and the proportion of radiation intercepted per plant. *Exp. Environ Bot.* 26: 365-371.
- CICCHINO, M.; RATTALINO EDREIRA, J.I.; OTEGUI, M.E. 2010. Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature *Crop Sci.* 50:1431-1437.
- CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science.* 36:325-331.
- CONSTABLE, G.A. 1975. Growth, development and yield of cotton as influenced by cultivar and row spacing. *Masters Thesis. Faculty of Agriculture, University of Sydney, Sydney.* 175 p.
- CONSTABLE, G.A.; SHAW, A. J. 1988. Temperature requirements for cotton. *New South Wales, Australia: Department of Agriculture and Fisheries Agfact P5.3.5. Agdex* 151/022.
- GIPSON, J.; JOHAM, H. 1969. Influence of night temperature on growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). III. Fiber elongation. *Crop Sci.* 9, 127-129.

- HEARN, A.B.; CONSTABLE, G.A. 1984. Irrigation for crops in a sub-humid environment: Evaluation of irrigation strategies for cotton. *Irrigation Science* 5, 75-94.
- HESKETH, J.; LOW, A. 1968. Effects of temperature and fiber quality of cotton varieties of diverse origin. *Emp. Cott. Grow. Rev.* 45: 243-257.
- JANE, B.; PIERCE, P.; YATES, M. 2007. New Mexico State University, 67 E. Four Dinkus Road, Artesia, NM 88210.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. En: PARRY, M.L.; CNAZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (eds.). *Contribution of Working Group II to Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 976 p.
- LEDESMA, L.L.; BARBONA, S.A.; MELGRATTI DE INALBON, M.R.; SAYAGO, J.M.; MARGOSA, L.A.; RODRIGUEZ, F.J.; ENRIQUEZ, O.; DE FANTIN, L.M. 1973. *Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco*. Convenio INTA MAG del Chaco. 158 p.
- NEIFF, N.; TRACHSEL, S.; VALENTINUZ, O.; BALBI, C. N.; ANDRADE, F.H. 2016. High Temperatures around Flowering in Maize: Effects on Photosynthesis and Grain Yield in Three Genotypes. *Crop Science Society of America*. USA All rights reserved. Vol 56.
- MONTALDI, E.R. 1995. *Principios de Fisiología Vegetal*. Ediciones Sur. La Plata. 247 p.
- MORRIS, D.A. 1964. Variation in the boll maturation period of cotton. *Emp. Cott. Gr. Rev.* 44: 2-22.
- OOSTERHUIS, D.M.; SNIDER, J.L. 2011. High temperature stress on floral development and yield of cotton. *Stress Physiology in Cotton*. The Cotton Foundation, Cordova, TN, EUA. Reference Book Series, number 7. 1-24 pp.
- PAYTAS, M. 2010. Improving cotton yield under water limiting conditions in Argentina. En: ICAC Recorder International Cotton Advisory Committee. Vol xxviii N.º 2. Washington OC, Estados Unidos. 577 p.
- PAYTAS, M.; PLOCHUK, E.L. 2013. Capítulo 3.3. En: DE LA FUENTE E.; GIL, A.; (Eds.). *Cultivos Industriales*. Kantolil 1.ª ed. EFA, Buenos Aires, Argentina. 413-445 pp.
- RETA SANCHEZ, H.M. 1992. Canopy Light Environment and Yield of Narrow-Row Cotton as Affected by Canopy Architecture. *Agronomy Journal*.
- REDDY, V.R.; REDDY, K.R.; BAKER, D. 1991. Temperature effects on growth and development of cotton during the fruiting period. *Agron. J.* 83: 211-217.
- REDDY, K.R.; REDDY, V.R.; HODGES, H.F. 1992. Effects of temperature on early season cotton growth and development. *Agron. J.* 84: 229-337.
- REDDY, K.R.; KAKANL, V.G.; ZHAO, D.; KOTL, S.; GAO, W. 2004. Interactive effects of ultraviolet-B radiation and temperature on cotton physiology, growth, development and hyperspectral reflectance. *Photochem. Photobiol.* 79, 416-427.
- ROSENZWEIG, C.; CASASSA, G.; KAROLY, D. 2007. Evaluación de los cambios observados y respuestas en natural y gestionada sistemas. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Cambridge, Prensa de la Universidad. 79-13 pp.
- SINGH, R.P.; SINGH, J.; LAL, C.B.; SUNITA, K.; ELAYARAJA, K. 2004. Evaluation of punjab American cotton (*G. hirsutum* L.) genotypes tolerant to high temperature and their performance during spring summer season. *Ann. Agric. Res.* 25: 268-273.
- SLOSSER, J.; PUTERKA, G.; PRECIO, J. 1986. Cultural control of the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae): effects of narrow-row spacing and row. *Entomologic* 79: 378-373.
- SMITH, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 33: 481-518.
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R.; KHAIR, A. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.* 61, 199-223.
- YFOULIS, A.; FASOULAS, A. 1978. Role of minimum and maximum environmental temperature on maturation period of the cotton boll. *Agron. J.* 70: 421-425.
- ZEIHER, C.; BROWN, P.; SILVERTOOTH, J.; MATUMBA, N.; MITTON, N. 1994. The Effect of Night Temperature on Cotton Reproductive Development College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ).
- ZEIHER, C.; MATUMBA, N.; BROWN, P.; SILVERTOOTH, J. 1995. Response of upland cotton to elevated night temperatures. II. Results of controlled environmental studies. *Proceeding of the Beltwide Cotton Conferences*. National Cotton Council of America, Memphis, TN. 1129 p.
- ZHAO, D.; REDDY, K.R.; KAKANI, V.G.; KOTI, S.; GAO, W. 2005. Physiological causes of cotton fruit abscission under conditions of high temperature and enhanced ultraviolet-B radiation. *Physiol. Plant.* 124, 189-199.

Comportamiento de cultivares diploides y tetraploides de *Chloris gayana* Kunt (grama Rhodes) al sur del paralelo 40° en condiciones de riego

MIÑÓN, D.P.^{1,2}; GALLEGO, J.J.^{1,3}

RESUMEN

Las especies megatérmicas o C_4 han experimentado un proceso de expansión en el país, incluyendo NOA, NEA y regiones pampeana y semiárida central. En la norpatagonia trabajos exploratorios mostraron un comportamiento promisorio de la grama Rhodes. En el Valle Inferior de Río Negro (40°48'LS) se evaluó la adaptación de cultivares diploides y tetraploides en condiciones de riego, corte mecánico y fertilización. Los cultivares fueron Callide, Epica Peman INTA y Toro (tetraploides), Fine Cut, Top Cut, Katambora, Tolga y Santana INTA Peman (diploides). En el primer ciclo se efectuaron dos cortes y los más productivos fueron un conjunto integrado por diploides (Fine Cut y Top Cut) y tetraploides (Callide y Épica). En primavera del segundo ciclo Callide, Épica y Toro no rebrotaron. Fine Cut y Top Cut resultaron las más productivas acumulando alrededor de 10 t MS ha⁻¹ durante dos ciclos de crecimiento, mientras que Santana y Tolga produjeron entre 6,5 y 7,5. Ninguno de los cultivares sobrevivió a las heladas del segundo invierno. Se considera que la grama Rhodes no se adaptó a las condiciones de los valles templados fríos norpatagónicos por su corta persistencia y período de aprovechamiento.

Palabras clave: gramíneas C_4 , forrajeras, norpatagonia, Río Negro.

ABSTRACT

The C_4 species are undergoing a process of expansion in the different regions of the country, including NOA, NEA, pampean and central semi-arid region. In the northern patagonia exploratory works showed promising behavior of Rhodes grass. In the Lower Black River Valley (40°48'LS) the performance of diploid and tetraploid cultivars of Rhodes grass under conditions of irrigation, mechanical cutting and fertilization were evaluated. The cultivars were Callide, Epica Peman INTA and Toro (tetraploids), Fine Cut, Top Cut, Katambora, Tolga and Santana INTA Peman (diploids). In the first cycle, two cuts were made and the most productive cultivars were composed of diploids (Fine Cut and Top Cut) and tetraploids (Callide and Epic). In spring of the second cycle Callide, Epic and Toro did not regrow. Fine Cut and Top Cut were the most productive accumulating around 10 t DM ha⁻¹ during two growth cycles, Santana and Tolga produced between 6.5 and 7.5 t. None of the varieties survived the frost of the second winter. It is considered that the Rhodes grass did not adapt to the northern patagonia conditions of cold temperate valleys due to their short persistence and harvest period.

Keywords: C_4 grasses, forage, norpatagonia, Río Negro.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior. Convenio Pcia. de Río Negro – INTA. Ruta Nacional N° 3 km 971 y camino 4. IDEVI (8500). Viedma, Río Negro. Correo electrónico: minon.daniel@inta.gov.ar

²Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), Belgrano 526 (8500) Viedma, Río Negro, Argentina.

³Universidad Nacional del Comahue, Centro Universitario Regional Zona Atlántica (CURZA). Correo electrónico: galego.juan@inta.gov.ar

Recibido 21 de febrero de 2018 // Aceptado 12 de noviembre de 2018 // Publicado online 29 de abril de 2020

INTRODUCCIÓN

Las gramíneas megatérmicas o Carbono 4 (C_4) poseen una vía fotosintética diferencial de cuatro carbonos que les permite utilizar más eficientemente la radiación solar y el agua (Long, 1999), a la vez que no presentan fotorrespiración como ocurre con las especies mesotérmicas o Carbono 3 (C_3) (Leegood, 1995). Como consecuencia de esto, las C_4 presentan mayores tasas de crecimiento que las C_3 en períodos de altas temperaturas y luminosidad como el verano. Las C_4 se adaptan a suelos de baja fertilidad, aunque la digestibilidad y el contenido de proteínas por lo general son menores que en las especies templadas (Barbehenn *et al.*, 2004). Asimismo son de lenta implantación y presentan sensibilidad a las heladas que, dependiendo de las especies, puede ser muy alta (Baruch y Fisher, 1988).

Actualmente las C_4 perennes están experimentando un proceso de gran expansión de la superficie sembrada en las regiones subtropicales del NEA y NOA (De León, 2003) y en la zona central semiárida (Veneciano *et al.*, 2006). En esta última región, existen experiencias exitosas en La Pampa con pasto llorón (*Eragrostis curvula*), digitaria (*Digitaria eriantha*), sorgo negro (*Sorghum almum*) y mijo perenne (*Panicum coloratum*) (Adema *et al.*, 2001; Petruzzi *et al.*, 2003). Asimismo se publicaron trabajos sobre la adaptación de especies C_4 al sudeste de Buenos Aires (Boletta, 2009), de grama Rhodes (*Chloris gayana*) a la Pampa Deprimida (De Magistra *et al.*, 2015; Olivera *et al.*, 2015, Pesqueira *et al.*, 2017) y de pasto llorón, mijo perenne y pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el secano de la zona de Bahía Blanca (Torres Carbonell y Marinissen, 2010).

En la Norpatagonia las bajas temperaturas invernales, la elevada frecuencia de heladas y la corta estación de crecimiento generarían condiciones desfavorables para las especies C_4 que presentan una pobre capacidad para crecer y sobrevivir con temperaturas bajas (Ehleringer y Björkman, 1977). En la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior se realizaron observaciones sobre fenología, cobertura, acumulación de forraje en el ciclo estival, altura, proporción de forraje helado y rebrote primaveral y se determinó que un grupo de variedades de grama Rhodes acumuló más materia seca que pasto llorón, *Panicum maximum* variedad Gatton y mijo perenne entre otras (Miñón *et al.*, 2011).

La grama Rhodes es perenne, de porte erecto y con capacidad de formar estolones que enraízan en sus nudos y le permiten cubrir el suelo con rapidez (Martín, 2010). Es originaria de la sabana africana, los requerimientos hídricos varían de 600 a 750 mm según variedades (Cook *et al.*, 2005; Moore, 2006; 2017; Ecocrop, 2014) y es tolerante a sequías (Duke 1983; Cook *et al.*, 2005). Tiene gran capacidad adaptativa a condiciones de suelos pobres y con ciertos tenores de salinidad donde es persistente y productiva (Alcocer *et al.*, 2005). Su crecimiento óptimo se produce con temperaturas entre 30/25 °C, se reduce marcadamente por debajo de 18/13 °C y la temperatura base de crecimiento es de 12 °C, por lo cual es una especie moderadamente tolerante a las heladas (Ivory, 1976; Ru-

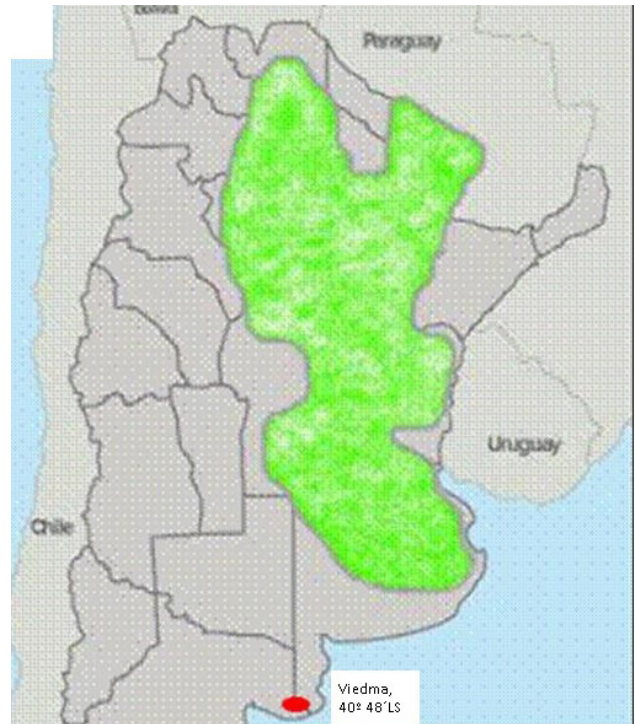


Figura 1. Regiones de adecuación de grama Rhodes (*Chloris gayana*) en Argentina. Fuente: Adaptado de Avila *et al.*, 2014.

sell y Web, 1976). El mayor crecimiento se verifica con pH de 5,5 a 7, aunque puede crecer entre 4,5 y 10. Los cultivares se clasifican en diploides y tetraploides (Hutton, 1961; Loch y Zorin, 2010). Los materiales diploides son de origen subtropical, en general son más resistentes a la salinidad y al frío, florecen temprano en la primavera y durante el verano, lo que les confiere en general una menor calidad. Los materiales tetraploides son de origen tropical, muy estoloníferos, foliosos y de alta producción de forraje, y en general son de floración otoñal, con menor resistencia al frío y a las sales (Avila *et al.*, 2014; Moore, 2017). Su área de adaptación potencial en la Argentina es amplia; abarca desde climas subtropicales a templados, sean semiáridos o subhúmedos (figura 1).

En la región de los valles irrigados norpatagónicos existe escasa información sobre el comportamiento de la especie y una demanda por parte de productores y profesionales respecto del cultivo. Este contexto hace necesario contar con información sobre el comportamiento de cultivares de grama Rhodes. El objetivo de este trabajo fue evaluar en el Valle Inferior del Río Negro la producción de forraje y la persistencia de cultivares diploides y tetraploides de grama Rhodes en condiciones de riego, corte mecánico y fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se sembró en la EEA Valle Inferior del INTA (40° 48'S, 63° 05'W y 4 m s. n. m.) donde llueven 408 mm

(1965-2008) y se requiere de un riego integral para el desarrollo de cualquier cultivo (Martín, 2009). En noviembre de 2010 se sembraron los cultivares Callide, Epica Peman INTA y Toro (tetraploides), Fine Cut, Top Cut, Katambora, Tolga y Santana INTA Peman (diploides), empleando un diseño en bloques completos al azar con 3 repeticiones. Las parcelas fueron de 5,4 m² sembradas a razón de 600 semillas viables/m² en un suelo de la serie Chacras de textura arcillo-limosa (43% arcilla, 47% limo, 10% arena) con las siguientes características: 2,7% de materia orgánica (Walkley-Black); pH (1:2,5) 7,3; nitrógeno total 0,13% (Kjeldhal); fósforo disponible: 12 ppm (Olsen); C.E (mmhos/cm): 1,7. A la siembra se realizó una fertilización con 70 kg/ha de FDA y en el segundo ciclo se aplicaron 50 kg/ha de N luego de cada corte.

Los cortes comenzaron aproximadamente a los 80 días de la siembra efectuándose el primer corte cuando las plantas alcanzaron los 50-60 cm de altura, mientras que los cortes posteriores se realizaron teniendo en cuenta la acumulación de temperaturas (400 °C-días de crecimiento, temperatura base 12 °C). En cada corte se dejaron remanentes de entre 5 y 7 cm y luego del último corte de cada ciclo, las plantas crecieron libremente hasta los 40-45 cm como protección contra heladas ya que la última defoliación debe permitir una alta acumulación de materia seca, que asegure la persistencia luego del reposo invernal (Montenegro *et al.*, 2015).

Se cuantificó la producción de forraje por corte. Para ello se cosechó la superficie completa de las parcelas, se pesó el forraje y se extrajeron muestras que se secaron a 60 °C en estufa con aire forzado para determinar porcentaje de materia seca (MS). En primavera se realizaron observaciones sobre la cobertura verde (% de suelo cubierto de la parcela según proyección vertical del follaje).

Para determinar las necesidades de riego se utilizó el balance hídrico: para ello se empleó la evapotranspiración

del cultivo (ETc) y las precipitaciones registradas para el período noviembre-abril. Para el cálculo de la ETc se utilizó la evapotranspiración de referencia (Penman-Monteith) y el coeficiente del cultivo de tablas de la FAO, procesando la información con el programa cropwater (Allen *et al.*, 1998). Se realizó riego gravitacional en melgas, aplicándose laminas promedio de 140 mm (Lui *et al.*, 2012).

Se relevaron los datos climáticos en estación meteorológica ubicada en cercanías de sitio experimental. La información fue analizada por análisis de varianza utilizando el paquete estadístico INFOSTAT y se utilizó la prueba Fisher para la comparación entre medias (5%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales durante los dos ciclos de duración del experimento fueron representativas del clima de la norpatagonia ya que se asemejaron a las correspondientes al promedio histórico 1965-2008 (Martín, 2009) (tabla 1). No obstante, si se consideran las temperaturas mínimas absolutas mensuales registradas en abrigo meteorológico a 1,50 m del suelo, se observa que en los inviernos del 2011 y 2012 las temperaturas fueron mayores que el promedio histórico (figura 2).

El cálculo del balance hídrico arrojó una ETc de 538 y 552 mm para el ciclo 1 y 2 respectivamente. Las precipitaciones y los riegos aplicados permitieron cubrir los requerimientos hídricos de la grama en ambos ciclos (tabla 1).

En el primer ciclo se realizaron dos cortes, excepto en Katambora, cv en el que se efectuó solo uno, dada su lenta implantación. Los cvs más productivos fueron un conjunto integrado por diploides (Fine Cut y Top Cut) y tetraploides (Callide y Épica). Cuando se comparó la producción de forraje acumulada del conjunto de los cvs tetraploides frente a los diploides, los primeros produjeron un 25% más de forraje (tabla 2). Estos resultados son coincidentes con los observados en climas templados donde los cvs tetraploides fueron más productivos el primer ciclo (Ávila *et al.*, 2014 y De Magistra *et al.*, 2015). Se destaca el corto período de aprovechamiento de la especie que se extendió durante 46 días.

Durante el invierno del 2011 la totalidad de los cultivares se helaron (cobertura verde = 0). En primavera de 2011 (mediados de noviembre) los cultivares Callide, Épica y Toro no rebrotaron por el efecto de las heladas meteorológicas. Las variedades diploides mostraron mayor tolerancia al frío, aunque rebrotaron y cubrieron el suelo muy lentamente (figura 3). Estos resultados confirmarían que las variedades diploides son más tolerantes a las heladas que las tetraploides (Ávila *et al.*, 2014; Moore, 2017). En el segundo ciclo se realizó un primer corte que representó solo el 29% del primer corte realizado en 2011. La producción acumulada de los 3 cortes realizados el segundo ciclo no difirió entre cultivares (tabla 3) y el período de utilización si bien fue superior al primer ciclo, alcanzó solo 63 días.

| | Año 2011 | Año 2012 | Promedio histórico 1965-2008 |
|-----------------------------|----------|----------|------------------------------|
| Tº mínima media anual | 8,3 | 7,9 | 7,9 |
| Tº mínima absoluta | -7 | -6,2 | -9,9 |
| Período libre helada (días) | 180 | 192 | 196 |
| N.º de heladas | 36 | 43 | 39 |
| Precipit. (mm) (sep-ago) | 254 | 360 | 408 |
| Riegos (mm) y N.º | 700 (5) | 840 (6) | - |

Tabla 1. Condiciones ambientales y riegos aplicados durante el período experimental.

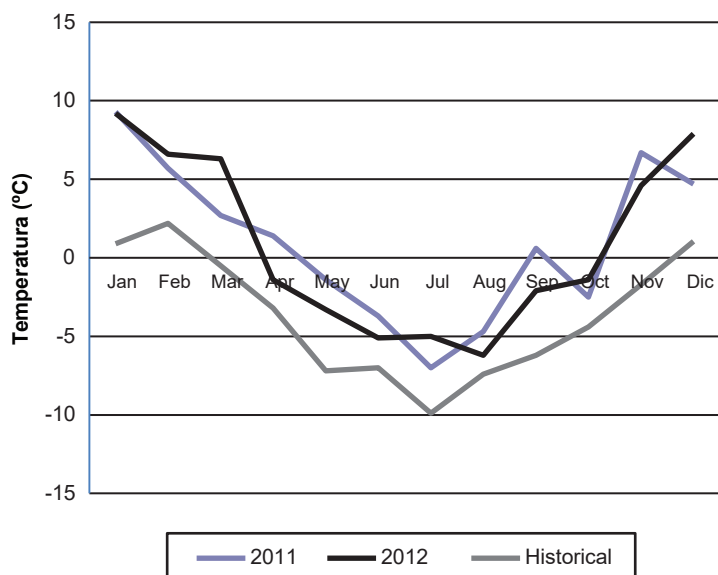


Figura 2. Temperaturas mínimas absolutas (°C) de 2011 y 2012 registradas en abrigo a 1,5 m del suelo frente al promedio histórico.

| Cultivares | 1.º corte 01/02/11 | 2.º corte 18/03/11 | Forraje Acumulado 1 | Ploidía | Forraje Acumulado 1 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------|
| Toro (tet) | 837 | 3.011 | 3.848 bcd | Tetraploide | 5114 a |
| Epica (tet) | 1.540 | 3.868 | 5.408 ab | | |
| Callide (tet) | 2.340 | 3.744 | 6.084 ab | | |
| Katambora (dip) | 0 | 1.663 | 1.663 d | Diploide | 4090 b |
| Santana (dip) | 535 | 3.438 | 3.973 bcd | | |
| Top Cut (dip) | 1.264 | 3.795 | 5.059 abc | | |
| Fine Cut (dip) | 2.701 | 4.126 | 6.827 a | | |
| Tolga (dip) | 1.167 | 1.760 | 2.927 cd | | |

Tabla 2. Ploidía y forraje acumulado (kg MS ha⁻¹) de cultivares de grama Rhodes durante el primer ciclo de crecimiento (2011). Letras distintas indican diferencias significativas según Fisher ($p < 0,05$).

| Cultivares | 1.º corte 03/01/12 | 2.º corte 02/02/12 | 3.º corte 07/03/12 | Forraje Acumulado 2 | Total Ciclo 1+2 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| Toro (tet) | - | - | - | - | 3848 e |
| Epica (tet) | - | - | - | - | 5.408 cde |
| Callide (tet) | - | - | - | - | 6.048 cde |
| Katambora (dip) | 227 | 1.000 | 1.639 | 2.866 a | 4.528 de |
| Santana (dip) | 302 | 1.215 | 2.003 | 3.520 a | 7.494 bc |
| Top Cut (dip) | 795 | 1.800 | 2.015 | 4.610 a | 9.670 ab |
| Fine Cut (dip) | 449 | 1.307 | 1.696 | 3.452 a | 1.0278 a |
| Tolga (dip) | 233 | 1.516 | 1.949 | 3.698 a | 6.626 cd |

Tabla 3. Forraje acumulado (kg MS ha⁻¹) de cultivares de grama Rhodes durante el segundo ciclo de crecimiento (2012). Letras distintas indican diferencias significativas según Fisher ($p < 0,05$).

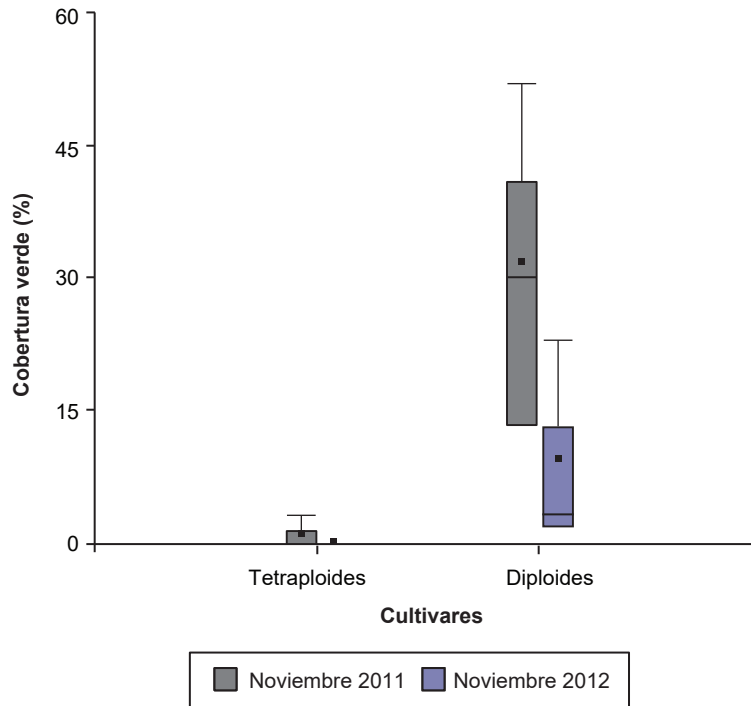


Figura 3. Cobertura (%) verde de las variedades diploides y tetraploides en primavera (mediados de noviembre) de 2011 y 2012.

En el segundo ciclo la producción promedio de los cultivares diploides representó alrededor del 90% de la lograda con los mismos cultivares el primer ciclo (tablas 2 y 3). La escasa cobertura verde observada en la primavera de 2012 como consecuencia del lento rebrote sería la causa de la baja producción promedio de forraje, no obstante haber recibido una fertilización nitrogenada de 150 kg ha^{-1} a lo largo del ciclo de crecimiento (figura 3). Los cvs Fine Cut y Top Cut resultaron los más productivos acumulando alrededor de 10 t MS ha^{-1} durante dos ciclos de crecimiento. Los cvs Santana y Tolga produjeron entre 6,5 y 7,5 t mientras que Katambora fue el de menor producción (tabla 3). El corto período de aprovechamiento se extendió entre enero y marzo época del año en la que el forraje es abundante. Como referencia se puede mencionar que en la Depresión del Salado en el período octubre-marzo en suelos con halo-hidromorfismo la acumulación de forraje fue de $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ (Di Marco *et al.*, 2010).

Ninguno de los cultivares sobrevivió a las heladas del segundo invierno. Si se considera que el experimento se sembró en un suelo de textura fina, con un pH óptimo para la especie, un contenido de N medio-alto, niveles adecuados de P y libre de sales, las condiciones edáficas no aparecerían como un factor limitante para el crecimiento de la especie. En cuanto a los requerimientos de N las sucesivas refertilizaciones sumadas al riego permitirían asegurar que se cubrieron los requerimientos de nutrientes y agua de la gramínea. Por lo tanto, la intensidad de las heladas meteorológicas sumadas a la elevada frecuencia con que estas se produjeron parecieran ser las

responsables de la falta de adaptación ecológica de esta especie (Ávila *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

Los cultivares tetraploides persistieron durante un ciclo comportándose como especies anuales, mientras que los diploides, más tolerantes al frío, produjeron durante dos ciclos aunque no soportaron las condiciones del segundo invierno. Puede considerarse que la grama Rhodes como especie no se adaptó a las condiciones ambientales, especialmente a las bajas temperaturas de los valles templados fríos norpatagónicos. El corto período de utilización, la poca persistencia y la producción netamente estival, estación en la que el forraje es abundante y de calidad, no hacen recomendable su utilización en ambientes regados de norpatagonia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. Agr. Marta R. Colabelli sus valiosos comentarios para mejorar el presente trabajo y a los Sres. Marcos Tarqui y Horacio Pallao por sus aportes en la obtención de datos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

ADEMA, E.O.; RUIZ, M.A.; BABINEC, F.J.; RUCCI, T. 2001. Gramíneas estivales introducidas en Chacharramendi: producción

y calidad en estado de crecimiento. Investigación en Producción Animal 1999-2001. Región Subhúmeda y Semiárida Pampeana. Genética, Evaluación y Manejo de Forrajeras. EEA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas. INTA. Boletín 73: 3 p.

ALCOCER, G.P.; PEREZ, H.; GARCÍA POSSE, F.; DEVANI, M.R. 2005. Determinación de estabilidad de la producción de cultivares de *Chloris gayana* Kunth en Tucumán y zonas de influencia. Rev. Ind. Agr. Tucumán, Vol. 82, N.º 1-2.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computer cropwater requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Food and Agriculture Organization of United Nations. Roma. (Disponible: www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents verificado: 17 de julio de 2017).

AVILA, R.; BARBERA, P.; BLANCO, L.; BURGHI, V.; De BATTISTA, J.; FRASINELLI, C.; FRIGERIO, K.; GANDARA, L.; GOLDFARB, M. C.; GRIFFA, S.; GRUNBERG, K.; LEAL, K.; KUNST, C.; LACORTE, S. M.; LAURIC, A.; MARTÍNEZ CALCINA, L.; MC LEAL, G.; NENNING, F.; OTONDO, J.; PETRUZZI, H.; PIZZIO, R.; PUEYO, J. D.; RE, A. E.; RIBOTTA, A.; ROMERO, L.; STRITZLER, N.; TOMAS, M.A.; TORRES CARBONELL, C.; UGARTE, C.; VENECIANO, J. 2014. Gramíneas forrajeras para el subtropical y el semiárido central de la Argentina. INTA. (Disponible: inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_gramineas_forrajeras_para_el_subtropico_y_el_semiarido.pdf verificado: 28 de agosto de 2017).

BARBEHENN, R.V.; CHEN, Z.; KAROWE, D.N.; SPICKARD, A. 2004. C₃ grasses have higher nutritional quality than C₄ grasses under higher ambient and elevated atmospheric CO₂. Global Change Biology 10 (9): 1565-1575.

BARUCH, Z.; FISHER, M. 1988. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de una pastura. En: LASCANO, C.E.; SPAIN, J.M. (Eds.). Establecimiento y Renovación de Pasturas. Conceptos, Reflexiones y Enfoque de la Investigación. Red Internacional de Evaluación de Pastos tropicales. CIAT Memorias. Veracruz, México, 103-142.

BOLETTA, A. 2009. Producción de forraje de especies megatérmicas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Revista Acción Rural, año 16, N.º 77.

COOK, B.G.; PENGELLY, B.C.; BROWN, S.D.; DONNELLY, J.I., EAGLES, D.A.; FRANCO, M.A.; HANSON, J.; MULLEN, B.F.; PARTRIDGE, I.J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. 2005. Tropical Forages. CSIRO; DPI&F; CIAT and ILRI. Brisbane, Australia. (Disponible: <http://www.tropicalforages.info> verificado: 10 de mayo de 2017).

DE LEÓN, M. 2003. Ampliando la frontera ganadera. Revista de la Sociedad Rural de Jesús María N.º 139: 45-48.

DE MAGISTRA, C.; FERRARI, L.; OLIVERA, M.E.; POSTULKA, E.B.; DELBOY, N.G.; MONTENEGRO, L.F. 2015. Curvas de distribución estacional de cuatro cultivares de *Chloris gayana* Kunt en la Depresión del Salado. Revista Argentina de Producción Animal. 35 (1): 144.

DI MARCO, O.; AGNUSDEI, M.; ÁVILA, R.; HARKES, H. 2010. Calidad nutritiva de grama Rhodes (*Chloris gayana*) y agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en relación a la altura de la pastura en el rebrote otoñal. Revista Argentina de Producción Animal 30 (1): 258-259.

DUKE, J.A. 1983. *Chloris gayana* Kunth. Handbook of Energy Crops. NewCROPS web site, Purdue University. (Disponible: https://hort.purdue.edu/newcrop/Chloris_gayana.html verificado: 17 de julio de 2017).

ECOCROP, 2014. Rhodes Grass (*Chloris gayana*). Feedpedia. Animal Feed Resources Information System. INRA-CIRAD-FAO. (Disponible: <http://www.feedpedia.org/node/480> verificado: 12 de marzo de 2017).

EHLERINGER, J.R.; BJORKMAN, O. 1977. Implications of quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants: dependence on temperature, CO₂, and O₂ concentration. Plant Physiology 59: 86-90.

HUTTON, E.M. 1961. Inter-variety variation in Rhodes Grass (*Chloris gayana* Kunth). Grass and Forage Science. Vol 16 (1): 23-29.

IVORY, D.A. 1976. The effect of temperature on the growth of tropical pastures grasses. Journal Australian Institute of Agricultural. 42: 113-114.

LEEGOOD, R.C. 1995. Effects of temperature on photosynthesis and photorespiration. En SMIRNOF, N. (Ed). Environment and plant metabolism. Bios Scientific Publishers, Oxford, 45-62.

LOCH, D.S.; ZORIN, M. 2010. Development of new tetraploid *Chloris gayana* cultivars with improve salt tolerance from "Callide" and "Sandford". (Disponible: www.ihs.org/subsites/Conference2010/documents/IHS2010PosterProceedings (14). Pdf verificado: 20 de septiembre de 2017).

LONG, S.P. 1999. Environmental Responses. En SAGE, R.F.; MONSON, R.K. (Eds.). Plant Biology. Academic Press. San Diego, 215-249.

LUI, E.N.; ROA, R.C.; MARTÍNEZ, R.S.; ZELMER, H.; REINOSO, L.; D'ONOFRIO, M. 2012. Evaluaciones de riego parcelarias en el Valle Inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. vi Jornadas de actualización en riego y fertirriego: prácticas para incrementar la productividad y asegurar la sostenibilidad del uso del agua y del suelo. Mendoza, Argentina. (Disponible: http://www.riegoyfertirriego.com.ar/VI_Jornadas/ResumenesVIJARF/VIJARF_Resumenes2012.pdf verificado: 08 de abril de 2018).

MARTÍN, D.M. 2009. Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. EEA Valle Inferior-Convenio Provincia de Río Negro-INTA. Información Técnica N.º 27: 80 p.

MARTÍN, G.O. 2010. Pasturas cultivadas para el NOA: grama Rhodes. Producir XXI 18 (219): 48-52.

MIÑÓN, D.P.; GALLEGO, J.J.; BARBAROSSA, R.A. 2011. Comportamiento de gramíneas megatérmicas introducidas en condiciones de riego en el noreste patagónico. EEA Valle Inferior-Convenio Provincia de Río Negro-INTA. Valle Inferior Informa Año 6 N.º 47: 5 p.

MONTENEGRO, L.F.; OLIVERA, M.E.; POSTULKA, E.B.; FERRARI, L.; DELBOY, N.G.; DE MAGISTRA, C. 2015. Impacto del momento de la última defoliación sobre la persistencia y el rendimiento del forraje de un cultivar diploide de *Chloris gayana* Kunt (grama Rhodes) en la Depresión del Salado. Revista Argentina de Producción Animal, 35 (1): 146.

MOORE, G. 2006. Rhodes Grass. Dep. Agric. Food Western Australia. Bull 4690. Perth. (Disponible: http://archive.agric.wa.gov.au/objtwo/imported_assets/content/past/rhodes%20grass verificado: 10 de marzo de 2017).

MOORE, G. 2017. Rhodes Grass in southern western Australia. Department of Agriculture and Food. Department of Primary Industries and Regional Development. Government of Western Australia. (Disponible: www.agric.wa.gov.au/pasture-species/rhodes-grass?page=0%2CI verificado: 08 de diciembre de 2017).

OLIVERA, M.E.; FERRARI, L.; PELÁEZ, D.V.; POSTULKA, E.B.; MONTENEGRO, L.F., DELBOY, N.G.; DE MAGISTRA, C. 2015. Caracterización morfológica y productiva de *Chloris gayana* Kunt en un ambiente con y sin limitantes de halohidromorfismo durante el establecimiento del cultivo. Revista Argentina de Producción Animal, 35 (1): 145.

PESQUEIRA, J.; OTONDO, J.; GARCÍA, M.D. 2017. Producción de biomasa, cobertura, y calidad forrajera de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en un suelo alcalino sódico de la Depresión del Salado. RIA vol 43 N.º 3: 231-238.

PETRUZZI, H.J.; STRITZLER, N.P.; ADEMA, E.O.; FERRI, C.M.; PAGELLA, J.H. 2003. Mijo Perenne. *Panicum coloratum*. EEA INTA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas. Publicación Técnica N.º 51: 28 p.

RUSELL, J.S.; WEBB, H.R. 1976. Climatic range of grass and legumes used in pastures. Result of a survey conducted at the 11th International Grassland Congress. Journal Australian Institute Agricultural Science. 42:156-163.

TORRES CARBONELL, C.; MARINISSEN, A. 2010. Pasturas perennes megatérmicas en la zona de Bahía Blanca. Hoja Técnica N.º 13. EEA Bordenave. INTA. 4 p.

VENECIANO, J.H.; FRIGERIO, K.L; FRASINELLI, C.A. 2006. Acumulación de forraje e indicadores de calidad en *Digitaria eriantha* cv Irene bajo diferentes frecuencias de defoliación. Revista de Investigaciones Agropecuarias 35 (3): 121-133.

Forestación en pastizales: el rol de las especies y el manejo forestal sobre el proceso de salinización secundaria de suelos

MILIONE, G.M.¹; MUJICA, C.R.²; BEA, S.A.²; DOMINGUEZ DAGUER, D.³; GYENGE, J.E.⁴

RESUMEN

La introducción de forestaciones con especies de rápido crecimiento donde la vegetación original es la de pastizal puede traer aparejado cambios en los flujos de agua, causando la movilización de las sales disueltas en el suelo. La magnitud/sentido de los flujos hídricos y, por lo tanto, de la acumulación de sales en el suelo dependerá de factores climáticos, hidrogeológicos y biológicos. Para evaluar el efecto biológico, se midió la conductividad eléctrica (CE) del suelo en 12 parcelas apareadas (forestación con *Eucalyptus* spp. y *Pinus radiata* con diversos manejos silvícolas vs. agricultura / pastizal) distribuidas en un sitio en el centro sur de la provincia de Buenos Aires. No se observaron diferencias significativas en la CE del suelo entre todas las situaciones a una profundidad de 0-20 cm. Por el contrario, a los 20-40 cm se encontraron diferencias significativas, midiéndose los valores más altos en macizos de *Pinus radiata* y los más bajos en una tala rasa de dos años de antigüedad de la misma especie. El suelo sometido a agricultura / pastizal y a la forestación con *Eucalyptus* spp. mostró valores similares de CE. Los valores de CE se relacionaron positivamente con la cobertura forestal, mostrando que el manejo silvícola juega un rol determinante en la acumulación de sales en el suelo. Más allá de las diferencias de CE entre usos del suelo, se concluyó que el cambio de la vegetación no generó un aumento de sales que pueda afectar la producción de los cultivos agrícolas y forestales más conspicuos de la región.

Palabras clave: impacto de la forestación, salinización secundaria, cambio de uso del suelo, manejo silvícola.

ABSTRACT

*The introduction of fast-growing species afforestation in grassland could induce changes on the water flows with the consequent soil dissolved salts mobilization. The magnitude / direction of these water flows, and therefore, the soil salts accumulation will depend on climatic, hydrogeological and biological factors. To assess this last one, the soil electrical conductivity (EC) was measured in 12 paired plots (afforestation of *Eucalyptus* spp. and *Pinus radiata* with different silvicultural treatments and crops / grassland) distributed on an area in the south center of Buenos Aires province. No significant differences were observed in the soil EC in all plots at*

¹CONICET, IHLLA y Cátedra de Dasonomía (UNCPBA). Av. Rca de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: gmilione@faa.unicen.edu.ar

²CONICET e IHLLA. Av. Rca de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: claudioramonmujica@gmail.com.ar

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Agencia de Extensión Rural (AER) Tandil Dirección Nacional de Desarrollo Forestoindustrial. Gral. Rodríguez 370 (7000), Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: ddforestal@gmail.com

⁴CONICET, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Agencia de Extensión Rural (AER) Tandil, Gral. Rodríguez 370 (7000), Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: javier_gyenge@yahoo.com

0-20 cm depth. Contrary, significant differences were found at 20-40 cm being the highest values measured in *Pinus radiata* plantation, whereas the lowest ones in a two year old felled area of the same tree species. On the other hand, managed agriculture/pasture soils with *Eucalyptus* spp. afforestation showed similar EC values. EC values were positively related to the forest cover, showing that the silvicultural management plays a crucial role in the soil salts accumulation. Beyond the EC differences between land usages, it was concluded that the vegetation changes did not generate an increment in the soil salts that could affect the production of the most conspicuous agricultural and forest crops in the region.

Keywords: afforestation impact, secondary salinization, soil use change, silvicultural treatments.

INTRODUCCIÓN

El cambio de la cobertura vegetal del suelo genera alteraciones en los flujos de agua y solutos, cuya magnitud varía según diversos factores (Nosetto *et al.*, 2008; Jobbágy *et al.*, 2008). Así se han verificado procesos de salinización secundaria como fruto de alguna actividad antrópica que rompe el equilibrio hídrico produciendo la removilización de las sales desde fuentes cercanas (subsuelos salinos, aguas subterráneas, etc.) (Zhang *et al.*, 2003; Bin *et al.*, 2014). Este proceso de salinización secundaria puede surgir como consecuencia de la forestación de pastizales y posee tres componentes impulsores: aspectos de índole biológico, hidrogeológicos y climáticos (Nosetto *et al.*, 2008; Jobbágy *et al.*, 2008).

El componente biológico incide en el proceso de salinización secundaria a través del consumo diferencial de agua dado por las características ecofisiológicas de las especies (Gyenge *et al.*, 2011), su tolerancia a la salinidad (Nosetto *et al.*, 2008) y la redistribución de las precipitaciones a través de la cobertura vegetal (Besteiro y Rodríguez Vagaría, 2012). En general, el consumo diferencial de agua de las forestaciones se encuentra ligado con su productividad, aunque no siempre de manera proporcional (Gyenge *et al.*, 2011). Así los árboles de rápido crecimiento consumen más recursos que los de menor productividad (por ejemplo; Gyenge *et al.*, 2011). En este sentido, ante el caso de que dos especies se cultiven en el mismo sitio, se esperaría la ocurrencia de este proceso de salinización secundaria en la forestación con la especie más productiva. Asimismo, la magnitud de la salinización también dependerá del nivel de tolerancia de las especies a la concentración de solutos en el suelo, tal como lo demostraron Nosetto *et al.* (2008). Estos autores observaron que las especies más tolerantes pueden llevar a una mayor acumulación de sales antes de sufrir los efectos negativos. Además del uso del agua, es importante analizar la interceptación de lluvias por parte del dosel forestal que influye directamente sobre los flujos verticales de agua. Este proceso también difiere entre especies. Por ejemplo, Besteiro *et al.* (2012) estimaron que la interceptación de las precipitaciones de forestaciones de *Eucalyptus* spp. fueron inferiores a forestaciones de *Pinus* spp. Por un lado, estas diferencias generarían cambios en la cantidad de precipitación directa que llegue al suelo, pu-

diendo provocar mayores flujos de drenaje y, por lo tanto, un mayor lavado de sales del perfil del suelo (Nosetto *et al.*, 2008; Jobbágy *et al.*, 2008). Por otro lado, tal como menciona Besteiro *et al.* (2013), el cambio de cobertura vegetal modifica los procesos de lavado / lixiviado de sales del suelo. En este sentido, como la cobertura de una forestación puede ser modificada por el manejo (densidad de plantación, podas, raleos), es posible disminuir la evapotranspiración del ecosistema lo que podría generar mayores excesos hídricos y, por lo tanto, un mayor lixiviado de sales del suelo (Zhang, 2001).

El objetivo principal de este trabajo fue el de cuantificar la conductividad eléctrica del suelo (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$) sometido a distintos usos y manejos silvícolas: forestaciones con *Eucalyptus* spp. y *Pinus radiata*, agricultura y pastizal natural. Se utilizó la CE del suelo como un indicador de los cambios en la concentración de sales, permitiéndonos identificar situaciones que comprometan la calidad / productividad de los cultivos agrícolas y forestales más conspicuos de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las sierras de Tandilia, con una altura máxima de 524 m s. n. m., se alzan sobre la llanura bonaerense con orientación NO-SE y tiene una longitud de 350 km desde la ciudad de Mar del Plata hasta la ciudad de Olavarría y un ancho máximo de 60 km (De la Sota, 1967; Dalla Salda *et al.*, 2006). El área de estudio se encuentra en la zona central de este sistema, en el grupo serrano de Tandil-Barker, provincia de Buenos Aires (figura 1). La vegetación natural predominante son los pajonales y matorrales (Frangi, 1975). El clima es templado húmedo con precipitaciones promedio que rondan los 893 mm año⁻¹ y distribuidas de manera más o menos homogénea a lo largo del año (Aeródromo Tandil, 2016), lo que genera un balance hídrico de 0 a 200 mm año⁻¹ (Nosetto *et al.*, 2008, figura 1). Los suelos son de textura franca a franca fina, profundos en el piedemonte y en las sierras son poco desarrollados y están emplazados sobre un manto rocoso (INTA, 1989).

Durante el mes de febrero del 2016, se establecieron parcelas apareadas en sitios con una cobertura vegetal herbácea (pastura o pastizal) y otras en forestaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus* spp. Todas las forestaciones

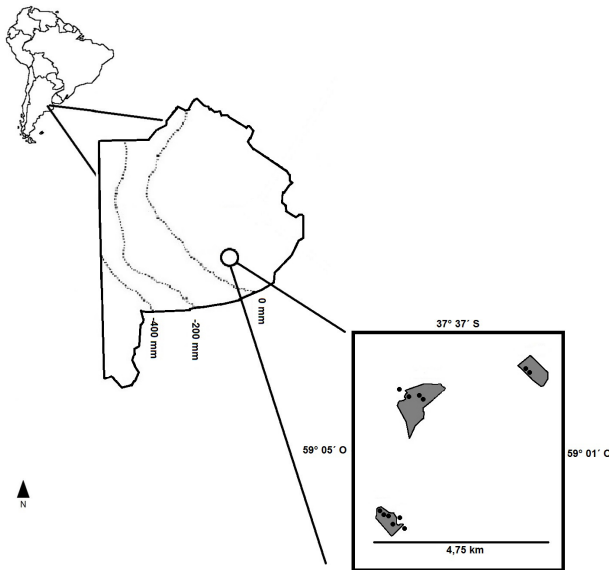


Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo (círculo hueco) con sus parcelas apareadas (puntos negros), en gris se denota las forestaciones. Con líneas punteadas se denotan los balances hídricos calculados como la diferencia entre la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial de Penman-Montheith (modificado a partir de Nosetto *et al.*, 2008).

fueron implantadas en 1990 (28 años de edad al momento del muestreo) y poseían diferentes manejos silvícolas. Los manejos silvícolas abarcaron macizos de *Eucalyptus* spp. (EU) y *Pinus radiata* (PD) (códigos EU1, EU2, EU3, PD1, PD2 y PD3, tabla 1), un sistema silvopastoril en fajas de 10 metros de ancho abierta en el año 2011 (código F11, tabla 1), otro silvopastoril con fajas de 14 metros de ancho abierta en el año 2013 (código F21, tabla 1) y una tala rasa realizada dos años antes del muestreo (código Tr2, tabla 1) todos provenientes de macizos de *Pinus radiata*.

Con el objetivo de analizar las características estructurales del rodal y tomar las muestras de suelo, en las parcelas situadas en las forestaciones se demarcó una superficie que tuvo distinto tamaño dependiendo de la densidad y la distribución de los árboles. Así, en unos sitios con distribución irregular de los árboles (sitios EU1, PD2 y EU2) se delimitaron superficies circulares de 10 y 30 metros de diámetro dependiendo del distanciamiento entre los árboles, mientras que en los sitios con una distribución regular (sitios EU3, PD1, PD3) se establecieron parcelas de 4 filas por 10 árboles, midiendo *a posteriori* la superficie ocupada (figura 2).

Tanto en las parcelas con forestaciones como en las establecidas en los cultivos herbáceos, pastizal natural y

| Código | Ubicación | Profundidad del suelo (cm) | Textura del suelo | Cobertura |
|--------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| EU1 | 37°40'9.14"S 59° 4'52.62"O | 110 | | Ed |
| F21 | 37°40'8.47"S 59° 4'57.75"O | 40 | | Pr |
| PD1 | 37°40'16.92"S 59° 4'41.28"O | 40 | Franco a Franco arcillo arenoso | Pr |
| Pas1 | 37°40'13.38"S 59° 4'38.31"O | 80 | | A |
| F11 | 37°40'10.92"S 59° 4'47.02"O | 40 | | Pr |
| Nat1 | 37°40'19.69"S 59° 4'31.21"O | 40 | | Pn |
| EU2 | 37°38'28.75"S 59° 4'43.62"O | 80 | | Ev |
| Tr | 37°38'28.09"S 59° 4'32.36"O | 40 | Franco arcilloso a arcillo arenoso | Tr |
| Nat2 | 37°38'24.99"S 59° 4'50.05"O | 40 | | Pn |
| PD2 | 37°38'30.86"S 59° 4'28.31"O | 40 | | Pr |
| PD3 | 37°37'59.38"S 59° 2'33.88"O | 40 | Franco arcilloso | Pr |
| EU3 | 37°38'2.17"S 59° 2'29.64"O | 80 | | Ev |

Tabla 1. Código y ubicación geodésica de las parcelas, profundidad de suelo (estimada a partir de los mapas de suelo 1:50000, INTA (1989) y corroborado a campo), textura del suelo, cobertura (Ed: *Eucalyptus dalympheana*, Ev: *Eucalyptus viminalis*, Pr: *Pinus radiata*, Pn: Pastizal natural, A: *Avena sativa*, Tr: Tala rasa).

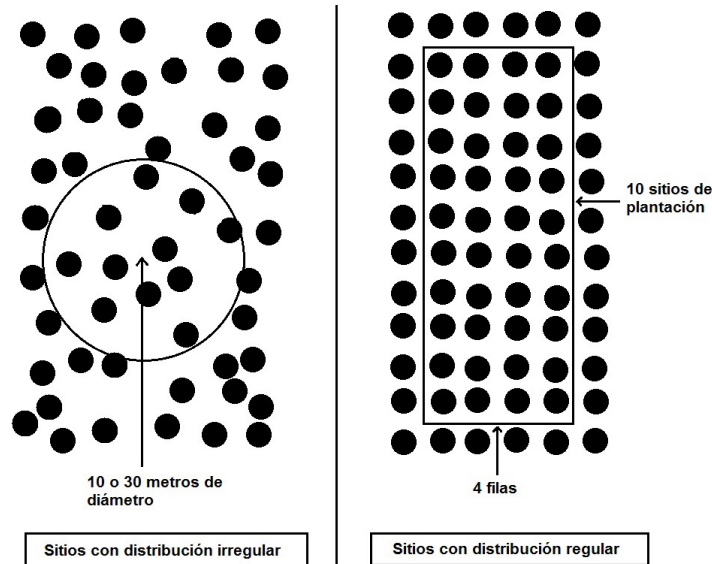


Figura 2. Ejemplo de cómo fueron establecidas dentro de la forestación las parcelas muestreadas (los puntos negros representan los árboles). Estas parcelas tuvieron distinto tamaño dependiendo de la densidad y la distribución espacial de los árboles.

tala rasa, se extrajeron muestras de suelo en 5 puntos al azar hasta máxima profundidad posible (las limitaciones de profundidad están dadas en todos los casos por la presencia de un manto rocoso o carbonato de calcio cementado). La distancia entre ambas parcelas apareadas fue de, aproximadamente, unos 50 metros buscando la mayor homogeneidad posible en cuanto a pendiente y exposición. Se analizó la conductividad eléctrica del suelo (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$) en diluciones 1:2,5 por medio de un lector OAKTON PC700 con sonda de CE-temperatura 35608-74 y se determinó la textura del suelo de cada muestra por el método de Bouyoucos (p.ej., Bouyoucos, 1962; Elliot *et al.*, 1999).

Con el fin de caracterizar las forestaciones y dentro de cada superficie delimitada, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), con cinta diamétrica, de todos los árboles vivos y la altura de los árboles dominantes (H, m) mediante clinómetro Suunto PM-5/360PC (Suunto, Finlandia). Se consideró como pie individual a todos aquellos fustes mayores de 3 cm de diámetro. A partir de estos estadísticos se estimó la densidad (árboles ha^{-1}) y área basal del rodal (AB, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; tabla 2) estimada a partir de la sumatoria de todas las áreas individuales obtenidas a partir del DAP. La cobertura forestal se estimó a partir del análisis de fotografías planas mediante el programa ImageJ 1.48v (Wayne Rasband, National Institutes of Health, EE. UU.).

Se analizaron diferencias entre tratamientos (eucalipto macizo, pinos macizo, pinos silvopastoril, pastizal natural, avena y tala rasa; tabla 3) mediante ANOVA con un $\alpha = 0,05$ aplicándose test de LSD de Fisher (InfoStat versión 2011). En el caso de las forestaciones con pinos, la mayor profundidad encontrada fue de 40 cm. Por este motivo, se

compararon los valores promedio de CE por cada tratamiento de las profundidades 0-20 y 20-40 cm.

RESULTADOS

Caracterización de las forestaciones

Las forestaciones que denominamos macizos (códigos EU1, EU2, EU3, PD1, PD2 y PD3, tabla 1) carecían de manejo silvícola. La densidad de plantación varió desde 127,3 hasta 1572,6 árboles ha^{-1} (para macizos de *Eucalyptus viminalis* y *Pinus radiata* respectivamente), mientras que el área basal de los rodales estuvo entre los 22,9 y 91,9 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ (tabla 2). La cobertura del dosel arbóreo varió entre 11,2% y 76,3%, estimándose para las fajas del sistema silvopastoril y macizo de *Pinus radiata* respectivamente (figura 3), mientras que los macizos de *Eucalyptus* spp. mostraron valores intermedios (de 50 al 60%) (figura 3).

Variables de suelo por especie y manejo

No se observó una gran variación en la textura de los suelos de los distintos tratamientos, estimándose una textura general franca en la superficie (0-20 cm) a franca arcillosa o arcillosa arenosa en profundidad (20-40 cm, tabla 1).

Por un lado, en general, se observó una tendencia a obtener menores valores de CE en los perfiles de suelos más profundos (tabla 3). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la CE del suelo a una profundidad de 0-20 cm, a pesar de los manejos y especies contrastantes (tabla 3). Por el contrario, la CE varió en la profundidad de 20-40 cm en respuesta al uso y al manejo silvícola. Así en el aprovechamiento a tala rasa, con tan solo 2 años de

| Código | Especie | N | DAP | AB | H |
|--------|---------|--------|--------------|------|------|
| EU1 | Ed | 636,6 | 34,4 ± 12,11 | 66,1 | 27 |
| F21 | Pr | - | - | - | - |
| PD1 | Pr | 1572,6 | 26,9 ± 4,57 | 91,9 | 16,7 |
| F11 | Pr | - | - | - | - |
| EU2 | Ev | 127,3 | 46,4 ± 12,3 | 22,9 | 26,2 |
| PD2 | Pr | 700,3 | 32,4 ± 5,8 | 58,7 | 20,2 |
| PD3 | Pr | 790,7 | 27,9 ± 6,8 | 51,1 | 16,5 |
| EU3 | Ev | 925,9 | 22,9 ± 8,7 | 43,6 | 21,2 |

Tabla 2. Variables descriptoras de los rodales. Especie= Ed: *Eucalyptus dalrympeana*, Ev: *Eucalyptus viminalis*, Pr: *Pinus radiata*; N= Densidad (árboles ha⁻¹); DAP= diámetro del fuste a 1,30 m (cm); AB= área basal (m² ha⁻¹); H= altura dominante (m).

antigüedad, se midieron los valores más bajos de CE (65,08 $\mu\text{S cm}^{-1}$, tabla 3), mostrando diferencias significativas con todos los tratamientos (herbáceas, silvopastoriles y macizos de *Pinus radiata*) excepto con el suelo donde se situaron los macizos de *Eucalyptus* spp. En contraste, a esta profundidad del suelo, los macizos de *Pinus radiata* mostraron los valores más altos de CE (110,44 $\mu\text{S cm}^{-1}$, tabla 3) diferenciándose de la tala rasa y los macizos de *Eucalyptus* spp. Por último, la CE del suelo en los sistemas silvopastoriles mostraron valores intermedios (101,31 $\mu\text{S cm}^{-1}$, tabla 3), que no se diferenciaron del pastizal ni del cultivo.

Por otro lado, al analizar los distintos tipos de manejo forestal para la especie *Pinus radiata*, se encontró una relación positiva entre la CE promedio del suelo y la cobertura ($R^2 = 0,94$, figura 4).

| Especie y sistema de producción | Código | EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$) | |
|---------------------------------|--------|------------------------------|------------------|
| | | Profundidad | |
| | | 0-20 cm | 20-40 cm |
| Eucaliptos macizo | EU | 148,05 ± 61,40a | 71,71 ± 25,87ab |
| Pinos macizo | PD | 186,73 ± 44,62a | 110,44 ± 30,19c |
| Pinos silvopastoril | F | 153,46 ± 40,66a | 101,31 ± 20,77bc |
| Pastizal natural | Nat | 170,46 ± 37,37a | 101,42 ± 33,53bc |
| Avena | Pas | 150,66 ± 23,21a | 109,38 ± 24,21bc |
| Tala rasa | Tr | 150,60 ± 28,53a | 65,08 ± 11,25a |

Tabla 3. Conductividad eléctrica del suelo promedio (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$) y desvíos en la localidad de Tandil de las parcelas por especie y tipo de sistema de producción, discriminando los valores por profundidad de muestreo. Letras distintas indican diferencias significativas para cada profundidad con un $\alpha=0,05$.

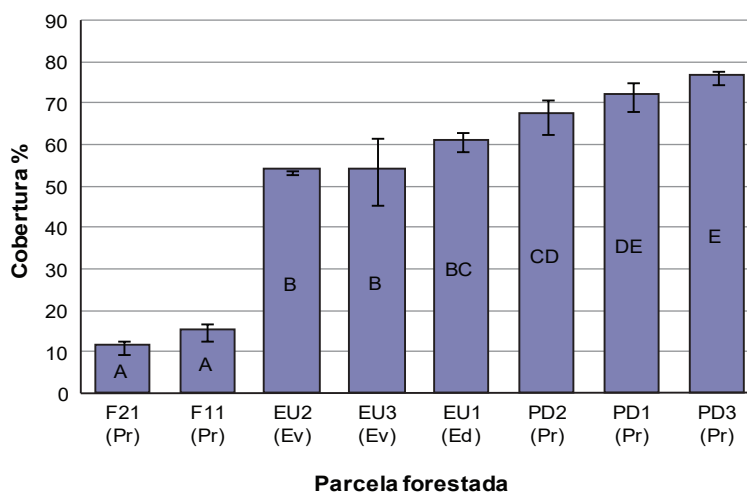


Figura 3. Cobertura del dosel arbóreo (%) y sus desvíos para cada parcela de la localidad de Tandil. Entre paréntesis la especie correspondiente a cada parcela (Pr: *Pinus radiata*, Ev: *Eucalyptus viminalis*, Ed: *Eucalyptus dalrympeana*). Letras distintas indican diferencias significativas entre parcelas con un $\alpha = 0,05$.

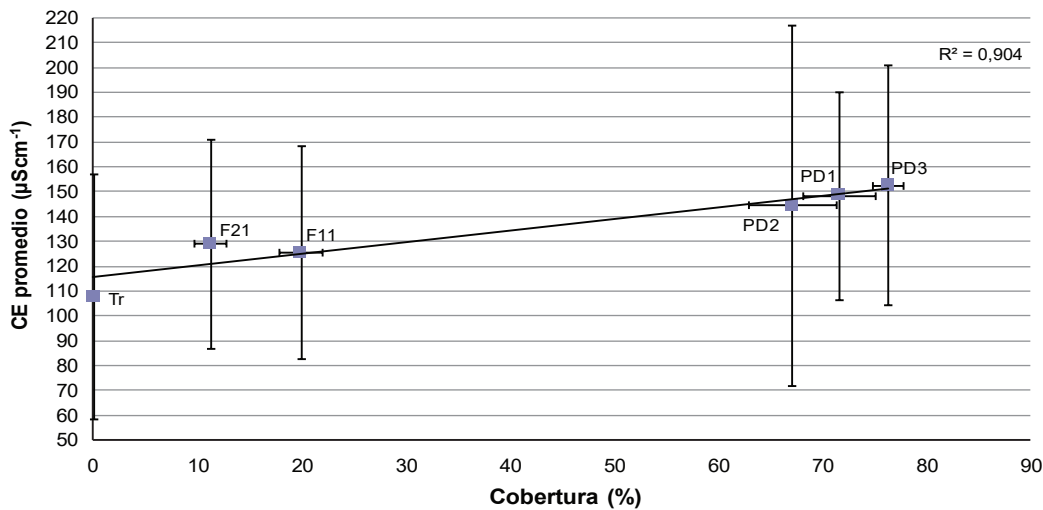


Figura 4. Relación entre la cobertura (%) y la CE promedio (μScm^{-1}) para *Pinus radiata* bajo distintos tipos de manejo. Donde PD1, PD2 y PD3; macizos, F11 y F21; fajas silvopastoriles y Tr; tala rasa.

DISCUSIÓN

Características de las forestaciones

La variación de la cobertura arbórea se relacionó de manera lógica con los manejos forestales (tabla 2). Así, las mayores coberturas se estimaron en las parcelas de los macizos de *Pinus radiata*, los que, además, mostraron una mayor densidad y área basal. De manera contraria, las fajas silvopastoriles mostraron valores bajos de cobertura (figura 3), propios de estos sistemas de manejo (Fassola *et al.*, 2005).

Efectos en la CE del suelo producto del cambio de uso

No se observaron diferencias en la CE del suelo entre los tratamientos en los primeros 20 cm de profundidad, más allá del tipo de cobertura vegetal y manejo. Esto posiblemente se deba a un fácil lavado de los cationes debido a la buena infiltración de las texturas francas en la superficie (Weil y Brady, 2017). No obstante, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la profundidad de 20-40 cm, observándose una mayor CE en los macizos de *Pinus radiata* (tabla 3). Este efecto puede ser producto de la mayor cobertura arbórea (figura 3) en conjunto con una acumulación de solutos lixiviados sobre el manto rocoso. Sin embargo, estos valores están muy por debajo de los $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (1 dS m^{-1}), que podrían afectar la producción de los cultivos agrícolas o forestales más sensibles de la región (Hillel, 2000; Marcar *et al.*, 2002; Stirzaker *et al.*, 2002). De manera contraria, se observó la menor CE en el suelo de los macizos de *Eucalyptus* spp. a 20-40 cm, los que poseían una menor cobertura (figura 3) y se encontraban sobre suelos más profundos (tabla 1), permitiendo probablemente un mayor lixiviado de sales en profundidad. Así también, existen antecedentes que plantean la baja ca-

pacidad de retención de agua en el suelo forestal en rodales de *Eucalyptus* spp. frente a pastizales naturales. Esto debido a un mayor porcentaje de macro/mesoporos y a una mayor hidrofobicidad de la materia orgánica (Silveira *et al.*, 2006). Esta combinación de factores favorecería el lavado de sales hacia perfiles más profundos durante los periodos de exceso hídrico.

Como mencionamos, a una profundidad de 20-40 cm, el aprovechamiento a tala rasa obtuvo los valores más bajos de CE (tabla 3). Como es de esperar, el efecto más notorio ocurre al disminuir bruscamente la cobertura forestal. Tal como menciona Roberts (2001), la tala rasa genera un aumento instantáneo del rendimiento hídrico debido a la consecuente caída del consumo de agua. Así, es interesante recalcar lo rápido que se observa una reversibilidad del proceso, ya que se midió una disminución significativa de la CE con solo dos años desde que la forestación fue cosechada. Como complemento, sería interesante analizar los cambios en la calidad de las salidas de agua en las forestaciones sometidas a este tipo de manejo.

La relación positiva entre la CE del suelo y la cobertura forestal (figura 4) pone de manifiesto el valor del manejo silvícola como herramienta para disminuir la acumulación de sales en la rizosfera. En este sentido, las fajas silvopastoriles a una profundidad de 20-40 cm obtuvieron valores intermedios de CE, solo diferenciándose de la tala rasa (mínimo valor absoluto de CE para todas las situaciones consideradas) y muy similares a los del pastizal natural (tabla 3). Así, es importante resaltar la importancia del manejo forestal en cuanto a la acumulación de sales en el suelo, como también a la disponibilidad relativa de los recursos que limitan la productividad (por ejemplo, el agua; Martínez Meier *et al.*, 2015). Entonces, como mencionan Jobbágy *et al.* (2006), la instalación de plantaciones con bajas den-

sidades podría ser considerada como una alternativa de menor impacto en estas regiones que pueda reducir la intensidad de los procesos de salinización secundaria.

Efecto de las especies en la CE

Tal como se esperaba, los mayores valores de CE fueron estimados en los pinares (tabla 3). En este sentido, *Eucalyptus viminialis* y *Eucalyptus dalrympleana* fueron descritas como especies de tolerancia baja a moderada (2000 a 4000 $\mu\text{S cm}^{-1}$; FAO 1981, Marcar *et al.*, 2002), mientras que *P. radiata* se describe como de una mayor tolerancia a la salinidad que estas especies (4000 a 8000 $\mu\text{S cm}^{-1}$; Marcar *et al.*, 2002). Esto estaría en concordancia con lo encontrado por Nosetto *et al.* (2008), quienes indican que las especies más tolerantes podrían llevar a una acumulación mayor de sales. Finalmente, si bien los crecimientos en el centro de la provincia de Buenos Aires de *Eucalyptus viminialis* son mayores a los de *Pinus radiata* (SINAVIMO, 2014; Ferrere *et al.*, 2015) la CE del suelo mostró una relación inversa, indicando que la mayor productividad no fue un factor determinante como impulsor de un proceso de salinización secundaria. En este sentido, sería importante determinar el consumo y la eficiencia en el uso del agua de ambas especies, no solo teniendo en cuenta el efecto sobre la dinámica de sales en el suelo, sino también sobre el posible impacto sobre los recursos hídricos locales.

CONCLUSIONES

El cambio de uso del suelo, las distintas especies forestales y el manejo silvícola generan cambios en la magnitud de las sales acumuladas en el suelo. Sin embargo, estas diferencias son reversibles y no de una magnitud tal como para generar consecuencias negativas en los cultivos agrícolas o forestales. Estos resultados contribuyen a comprender que la especie vegetal dominante y el manejo son factores clave para tener en cuenta, ya que impactan rápidamente en los flujos de sales del sistema. Así, una menor expresión de los procesos de acumulación de sales puede ir de la mano de una correcta selección de la especie y de un manejo adecuado de los turnos de corta, densidades de plantación, raleos y escamondos.

AGRADECIMIENTOS

Nosotros agradecemos al Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) por brindarnos los medios para las mediciones a campo y laboratorio. Agradecemos también a los propietarios de la Ea. San Lorenzo por permitir el acceso a los puntos de muestro. Este proyecto fue financiado por PICT 2013 1223 Prést. BID de FONCYT-MINCYT e INTA (PNFOR 1104073), Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

AERÓDROMO TANDIL. 2016. Datos del periodo 1973-2015, reportados por la estación meteorológica: 876450 (SAZT). Latitud: -37.23, longitud: -59.25, Altitud: 175.

BESTEIRO, S. 2013. Evaluación de la influencia hidrológica de forestaciones en la llanura pampeana. Tesis doctoral. Facultad de ciencias agrarias y forestales UNLP. La plata, Bs. As., Argentina.

BESTEIRO, S.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. 2012. Redistribución de las precipitaciones sobre plantaciones forestales en un predio del partido de La Plata, Buenos Aires. Rev. Fac. Agron. 111: 75-82.

BIN, H.; YONGLI, C.; WENRUI, R.; HONG, J. 2014. Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China. Catena 147-153, 118 pp.

BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, Agron. J., 54, 464-465.

DALLA SALDA, L.; SPALLETTI, L.; POIRÉ, D.; DE ARRIO, R.; ECHEVESTE, H; BENIALGO, A. 2006. Tandilia. INSUGEO. Serie Correlación Geológica, 21: 17-46.

DE LA SOTA, E.R. 1967. Composición, origen y vinculaciones de la flora pteridológica de las Sierras de Buenos Aires (Argentina). Bol. Soc. Argent. Bot. 11: 105-128.

ELLIOT, E.T.; JEIL, J.W.; KELLY, E.F.; CURTIS MONGER, H. 1999. Soil structural and other physical properties. En: ROBERTSON, G.P.; COLEMAN, D.C.; BLEDSOE, C.S.; SOLLINS, P. (ed.). Standard Soil Methods for Long Term Ecological Research. Oxford Univ. Press, Nueva York. 74-85 pp.

FAO. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

FASSOLA, H.; PACHAS, N.; LACORTE, S. 2005. Estimación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y niveles de sombra bajo dosel de *Pinus Taeda* en la provincia de Misiones y NE de Corrientes. INTA EEA Montecarlo.

FERRERE, P.; LUPI, A.M.; BOCA, T. 2015. Growth of *Pinus radiata* undergoing different thinning and pruning treatments in the Southeast of the province of Buenos Aires, Argentina. Bosque 36(3): 423-434. DOI: 10.4067/S0717-92002015000300009

FRANGI, J.L. 1975. Sinopsis de las comunidades vegetales y el medio en las Sierras de Tandil (provincia de Buenos Aires). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 16: 293-319.

GYENGE, J.E.; FERNÁNDEZ, M.E.; LICATA, J.; WEIGANDT, M.; BOND, B.; SCHLICHTER, T. 2011. Uso del agua y productividad de los bosques nativos e implantados en el NO de la Patagonia: aproximaciones desde la ecología y la ecofisiología. Ecología Austral (Número especial: Ecofisiología de especies leñosas) 21: 271-284.

HILLEL, D. 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. Integrating Science, Environment, and Economics. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank 1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, EUA.

INTA. 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Instituto de suelos - INTA Buenos Aires, 525p.

JOBBÁGY, E.G.; NOSETTO, M.; SANTONI, C.; BALDI, G. 2008. El desafío ec hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Ecología Austral 18:305-322. Doi:10.1029/2007GB003000

JOBBÁGY, E.G.; NOSETTO, M.; PARUELO, J.M.; PIÑEIRO, G. 2006. Las forestaciones rioplatenses y el agua. Ciencia Hoy, Vol. 16. N.º 95. 12-21.

MARCAR, N.; CRAWFORD, D.; LEPPERT, P.; JOVANOVIC, T.; FLOYD, R.; FARROW, R. 2002. Trees for saltland; a guide to selecting native species for Australia. CSIRO Press, Melbourne Victoria, Australia. 72 p.

MARTINEZ-MEIER, A.; FERNÁNDEZ, M.E.; DALLA-SALDA, G.; GYENGE, J.; LICATA, J.; ROZENBERG, P. 2015. Ecophysiological basis of wood formation in ponderosa pine: linking water

flux patterns with wood microdensity variables. *Forest Ecology and Management* 346: 31-40. DOI 10.1016/j.foreco.2015.02.021

NOSETTO, M.; JOBBÁGY, E.; TÓTH, T.; JACKSON R. 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biogeochemical Cycles*. 22 (2), art. N.º GB2015.

ROBERTS, J. 2001. Catchment and process studies in forest hydrology: implications for indicators of sustainable forest management. En: RAISON R.J.; BROWN, A.; FLINN, D. (ed.). *Criteria and indicators for sustainable forest management*. IUFRO 7, CABI Publishers. 259-310 pp.

SILVEIRA, L.; ALONSO, J.; MARTÍNEZ, L. 2006. Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en el Uruguay. *Agrociencia*. Vol. x N.º 2: 75-93.

STIRZAKER, R.; VERTESSY, R.; SARRE, A. 2002. *Trees, Water and Salt: An Australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms*, Canberra.

WEIL, R.R.; BRADY, N.C. 2017. *The Nature and Properties of Soils*. Fifteenth Edition, Pearson Education, Inc. United States of America. 1071 p.

ZHANG, L.; DOWLING, T.; HOCKING, M.; MORRIS, J.; ADAMS, G.; HICKEL, K.; BEST, A.; VERTESSY, R. 2003. Predicting the effects of large-scale Afforestation on annual flow regime and Water allocation: an example for the Goulburn-broken catchments. Technical report 03/5. Cooperative Research Center for Catchment Hydrology, Canberra, CSIRO Land and Water.

ZHANG, I.; DAWES, W.R.; WALKER, G.R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resource Research* 37: 701.

Validación del gen de resistencia a “escaldadura” Rrs2 en los cultivares de cebada cervecera con mayor difusión en Argentina

GONZÁLEZ, G.A.¹; MOREYRA, F.¹; CONTI, V.A.¹; VALLATI, A.¹; GIMÉNEZ, F.J.¹

RESUMEN

La “escaldadura” es una enfermedad importante en el cultivo de cebada. En la literatura se han descrito genes que confieren resistencia genética (Rrs) a esta enfermedad. En Argentina, más del 80% del área sembrada de cebada corresponde a las variedades Shakira, Andreia y Scarlett. La primera porta alelos de resistencia para el gen Rrs2, los cuales pueden ser identificados por técnicas moleculares. Sin embargo, no existen reportes de la respuesta fenotípica de estos cultivares en zonas de producción agrícola de cebada en Argentina. El objetivo de este trabajo fue validar el gen Rrs2, involucrado en la resistencia para “escaldadura” en las variedades de cebada más difundidas en Argentina y determinar si el marcador desarrollado sobre dicho gen puede ser aplicado en selección asistida en programas de mejoramiento. Para ello, se utilizaron los cultivares Scarlett, Andreia y Shakira y una población biparental RIL de 158 individuos derivada del cruzamiento de Andreia y Shakira. Los genotipos fueron caracterizados fenotípicamente a campo en las localidades de Bordenave, Balcarce y Coronel Suárez. Además, se caracterizaron molecularmente por la presencia (Rrs2+) o ausencia (Rrs2-) de alelos de resistencia. Los resultados muestran que los genotipos parentales Shakira y Andreia presentan respuestas altamente contrastantes en los tres ambientes de evaluación. Las líneas derivadas de este cruzamiento mostraron diversas respuestas frente al patógeno. Se observó que no existen diferencias significativas entre las líneas que portan el alelo de resistencia (Rrs2+) y la variedad Shakira. Tampoco se encontraron diferencias significativas al analizar la respuesta de las líneas que portan el alelo de susceptibilidad (Rrs2-) y la variedad Andreia. Sin embargo, ambos grupos de líneas difieren significativamente entre sí, de la misma manera que lo hacen las variedades usadas como parentales. Tanto la variedad Shakira como las líneas portadoras de Rrs2+ presentaron buena respuesta frente a la enfermedad. Esto indica que dicho alelo sería el responsable de la resistencia frente al patógeno para estos genotipos. En contraste, la variedad Andreia y las líneas Rrs2- mostraron alta presencia de síntomas de la enfermedad, lo cual confirma que estos genotipos carecen de genes de resistencia efectivos para dicha enfermedad. Además, el marcador molecular desarrollado sobre el gen Rrs2 mostró ser eficaz en la selección de líneas derivadas del cruzamiento entre ambos cultivares. Esto indica que dicho marcador podría ser utilizado en planes de mejoramiento que utilicen fondos genéticos derivados de la variedad Shakira para la selección de individuos que porten alelos de resistencia a la enfermedad. Por último, este trabajo representa la primera caracterización a nivel fenotípico y molecular de cultivares de cebada cervecera utilizados ampliamente en sistemas de producción agrícola en las principales zonas agroecológicas de Argentina.

Palabras clave: cebada cervecera, *Rhynchosporium secalis*, Rrs2, marcadores moleculares.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bordenave, Mejoramiento y calidad vegetal, Ruta Provincial 76 km 36,5 (8187) Bordenave, Buenos Aires. Correo electrónico: gonzalez.ga@inta.gob.ar

ABSTRACT

"Scald" is an important disease in barley cultivation. In the literature, genes responsible for resistance (*Rrs*) have been described, which are present in barley cultivars. In Argentina, more than 70% of the area planted with barley corresponds to the *Shakira* and *Andreia* varieties. *Shakira* carries resistance alleles for the *Rrs2* gene which can be identified by molecular techniques; however there are no reports of the response of these materials in agricultural production areas of barley in Argentina. The objective of this work was to validate the *Rrs2* gene as a carrier of resistance alleles for "scald" in the most widespread varieties of barley in Argentina and to determine if the molecular marker developed on said gene can be applied in assisted selection in breeding programs. For this purpose, we used a biparental population RIL of 158 individuals derived from *Andreia* and *Shakira*. The materials were phenotypically characterized to field in the localities of Bordenave, Balcarce and Coronel Suárez. In addition, they were characterized molecularly by the presence (*Rrs2*+) or absence (*Rrs2*-) of resistance alleles. The results show that the parents *Shakira* and *Andreia* present highly contrasting responses in the three evaluation environments. The lines showed different responses to the pathogen, it was observed that there are no significant differences between the lines carrying the resistance allele (*Rrs2*+) and the *Shakira* variety, not were significant differences found when analyzing the response of the lines carrying the allele susceptibility (*Rrs2*-) and the variety *Andreia*. However, both groups of lines differ significantly from each other, in the same way that the varieties used as parental do. Both, the *Shakira* variety and the *Rrs2* + lines showed good response to the disease, indicating that the allele would be responsible for the resistance to the pathogen for these materials. In contrast, *Andreia* and *Rrs2*- lines showed high presence of symptoms, indicating that these materials lack effective resistance genes for this disease. In addition, the molecular marker developed on the *Rrs2* gene was shown to be effective in selecting lines derived from the crossing of both materials, indicating that this marker could be used in breeding programs that use genetic backgrounds derived from the *Andreia* and *Shakira* varieties for the selection of individuals carrying alleles of resistance to the disease. Finally, this work represents the first phenotypic and molecular approximation of brewing barley materials widely used in agricultural production systems in the main agroecological zones of Argentina.

Keywords: Malting barley, *Rhynchosporium secalis*, *Rrs2*, Molecular markers.

INTRODUCCIÓN

La "escaldadura" es una enfermedad foliar de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y de otros miembros de la familia de las Poáceas, causada por el hongo *Rhynchosporium secalis* (Lehnackers y Knogge, 1990; Shipton, 1974; Zaffarano *et al.*, 2006). En ambientes y años húmedos y frescos la "escaldadura" representa un factor de alta importancia económica en dicho cultivo (Beer, 1991; Shipton, 1974), ya que no solo disminuye el potencial de rendimiento, sino que afecta significativamente el calibre del grano de cebada con la consecuente pérdida de calidad comercial del grano, que en casos severos queda excluido del estándar de comercialización como grano cervecero. Esto origina, además, una disminución del valor económico de este. En Argentina, esta enfermedad puede producir daños de hasta un 10-15%. Su presencia está más limitada al sur de la región pampeana y el avance de los síntomas se produce casi exclusivamente hasta el estado de encañazón. Sin embargo, en años fríos y en variedades susceptibles la "escaldadura" puede avanzar hasta la hoja bandera (Carmona *et al.*, 2011) y afectar una importante área de producción.

Los primeros estudios de herencia de la resistencia de cultivares de cebada frente a *R. secalis* fueron realizados hace 80 años por Mackie (1929). Desde entonces varios

genes de resistencia (genes *Rrs*) han sido identificados y mapeados. Existen cuatro loci mayores para resistencia, el complejo *Rrs1* sobre el cromosoma 3H que cuenta con, al menos, 11 alelos conocidos (Bjørnstad *et al.*, 2002), el locus *Rrs2* sobre el cromosoma 7HS (Schweizer *et al.*, 1995), el *Rrs13* sobre el cromosoma 6HS (Abbott *et al.*, 1995; Genger *et al.*, 2003b) y el locus *Rrs15* sobre el 2HS (Schweizer *et al.*, 2004). El mapeo fino del *Rrs2* mostró que dicho gen se encuentra dentro de un intervalo de 0,8 cM entre los marcadores 693M6_6 y P1D23R sobre el extremo distal del cromosoma 7HS de cebada. Estos estudios se realizaron utilizando una población F₂ de mapeo biparental conformada por las variedades Atlas (resistente) y Steffi (susceptible). Hanemann *et al.* (2009) realizaron estudios de secuenciación sobre el gen *Rrs2* en poblaciones de mapeo con las variedades Atlas y Steffi. En dichos estudios encontraron ocho SNPs (Single Nucleotide Polimorfism) asociados con el fenotipo de resistencia para "escaldadura", los cuales fueron convertidos en marcadores moleculares para el diagnóstico de las respuestas frente a *Rhynchosporium secalis*; algunos de estos marcadores están desarrollados para técnicas de pirosecuenciación y otros como marcadores CAPS (Cleaved Amplified Polymorphic Sequence). Aplicando las técnicas mencionadas dichos autores caracterizaron molecularmente 30 variedades de cebada entre

las que se encontraban Abyssinian (Rrs2-), Atlas68 (Rrs2-), Hudson (Rrs2-), Pioneer (Rrs2-), Triton (Rrs2-), Digger (Rrs2+), Escaldadura15 (Rrs2+), Forrest (Rrs2+), Ossiris (Rrs2+), Pewter (Rrs2+), entre otras. Si bien en este grupo de genotipos se correlacionó la presencia de los alelos de resistencia con una respuesta favorable, ninguna de estas variedades se encuentra difundida en la zona de producción agrícola de cebada de Argentina.

Durante la campaña 2015 en Argentina se sembraron 1.467.421 ha con cebada cervecera (SIIA, 2016) de las cuales el 39% fueron ocupadas por el cultivar Andreia, el 34% por el cultivar Shakira y el 10% por el cultivar Scarlett (Cattáneo, 2016). Sin embargo, hasta la campaña 2012 casi el 90% de la superficie sembrada con cebada correspondía al cultivar Scarlett, lo cual generaba un alto riesgo a nivel sanitario (Cattáneo, 2013). En los últimos años, la superficie sembrada con los cultivares Shakira y Andreia fue aumentando, en desmedro de la superficie ocupada por Scarlett (SIIA, 2016). Entre las razones que fundamentan su incremento vale mencionar que ambos cultivares poseen altos potenciales de rendimiento, alta estabilidad en relación con el tamaño del grano y un excelente desempeño en la industria maltera (Moreyra *et al.*, 2015). Las variedades Shakira y Andreia son de origen belga y fueron inscriptas en el Registro Nacional de Cultivares de Argentina en el año 2007 y 2011, respectivamente (INASE, 2016). La variedad Shakira proviene del cruzamiento de los cultivares Pewter (Rrs2+) x Prestige (INASE, 2016), mientras que la variedad Andreia proviene del cruzamiento de ((MarniexCetac1/42)xBarke)xLOCH.1992 (Cattaneo, 2017).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo fue validar el gen Rrs2 involucrado en la resistencia para la enfermedad "escaldadura", utilizando las variedades Shakira y Andreia ampliamente difundidas en Argentina; y determinar si el marcador desarrollado sobre

dicho gen puede ser aplicado en selección asistida en los programas de mejoramiento de cebada donde se utilicen dichos fondos genéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Este estudio se inició con la generación de una población de 158 líneas endocriadas recombinantes (RIL). Esta población deriva del cruzamiento de las variedades comerciales Andreia y Shakira, las cuales presentan respuestas contrastantes frente a la enfermedad "escaldadura". La variedad Andreia es susceptible a dicha enfermedad, mientras que Shakira es resistente. Además, Shakira posee el alelo de resistencia para el gen Rrs2, mientras que Andreia posee el alelo de susceptibilidad para dicho gen. Sin embargo, ambos materiales comparten ciertas características como nivel de rendimiento elevado y óptima calidad comercial e industrial.

El cruzamiento artificial entre Andreia y Shakira fue realizado durante la campaña 2011. Las líneas segregantes fueron estabilizadas genéticamente mediante el método de selección de semilla única (SSD). Se completaron dos ciclos de cultivo por año para lograr un alto nivel de endocria de las líneas en un período corto. Una vez estabilizadas las líneas fueron caracterizadas fenotípicamente según su nivel de resistencia a "escaldadura" y genotípicamente para el gen Rrs2.

Caracterización fenotípica del material vegetal

Las 158 líneas endocriadas y sus genotipos parentales Andreia y Shakira fueron evaluados bajo condiciones de campo durante la campaña 2014 en las localidades de Bordenave (S 37° 45' 39.78" O 63° 03' 39.70"), Coronel Suárez (S 37°



Figura 1. Escala de tres valores utilizada para la caracterización fenotípica de la población objetivo y sus parentales.

35° 45.13'' O 62° 05' 12.04'') y Balcarce (S 37° 45' 45.84'' O 58° 18' 6.45'') pertenecientes a la región pampeana sur de Argentina, donde la "escaldadura" es una enfermedad endémica. Se sembraron surcos de 1,5 m de largo espaciados a 30 cm entre sí donde se dispusieron 20 g de semilla en cada uno. Los parentales Andreia y Shakira fueron sembrados cada 50 surcos de líneas, es decir, que en cada ambiente se sembraron 3 surcos de cada parental. Las fechas de siembra para las localidades de Bordenave, Coronel Suárez y Balcarce fueron: 20/06/2014, 27/06/2014 y 17/06/2014 respectivamente. La infección con el patógeno *R. secalis* se realizó de forma natural sin la aplicación de inóculo artificial.

La caracterización de la respuesta frente a la enfermedad escaldadura para cada línea, incluidos los parentales, fue realizada en el estadio de encañazón del cultivo, mediante una exhaustiva observación de la reacción de los genotipos frente al patógeno. Dicha respuesta fue cuantificada mediante una escala del 1 al 3, donde 1 eran líneas que no presentaban síntomas de la enfermedad, 3 eran líneas que presentaban síntomas en la mayoría de las hojas, cubriendo un elevado porcentaje de estas y 2 eran casos intermedios donde las líneas presentaban síntomas, pero menos severos que en el caso anterior (figura 1). Esta escala se basa en una combinación entre la incidencia y la severidad de los síntomas generados por la enfermedad y es utilizada de rutina en los programas de mejoramiento de cebada cervecera en INTA.

Caracterización molecular del material vegetal

Se realizó la extracción de ADN total de las 158 líneas y de ambos genotipos parentales siguiendo el método de Dellaporta modificado (Dellaporta *et al.*, 1983). Para tal fin se sembraron 10 semillas de cada material en macetas de 2,5 L con tierra fértil. Estas fueron mantenidas en condiciones de invernáculo hasta su germinación. Posteriormente, se tomaron hojas de 5 plántulas para utilizar como material de partida para la extracción de ADN.

La caracterización molecular se realizó aplicando el marcador CAPS desarrollado por Hanemann *et al.* (2009). Se amplificó mediante PCR (Polymerase Chain Reaction) un fragmento del gen *Rrs2* de 428 pares de bases (pb) utilizando los siguientes oligonucleótidos: PRrs2 Forward (ACGAAC TCAAGGTGGTGGAC) y PRrs2 Reverse (TGTTGAGCTCCTGGCTTTCT). Las reacciones de amplificación se llevaron a cabo en un volumen final de 25 μ L, los cuales contenían 100 μ M de cada dNTPs (Inbio, Highway), 200 nM de cada oligonucleótido, 50 ng de ADN genómico, 1,5 mM de MgCl (Inbio, Highway), 1 unidad de Taq polimerasa (Inbio, Highway) y 1x de buffer (50 mM KCl, 20 mM Tris-HCl, pH 8,4). La amplificación enzimática fue realizada con un termociclador marca Biorad, modelo MyCycler y consistió de una desnaturalización inicial a 94 °C durante 5 minutos, seguida de 30 ciclos de: 94 °C durante 30 segundos, 56 °C durante 30 segundos y 72 °C durante 30 segundos. Posteriormente, se realizó una extensión final a 72 °C durante 5 minutos.

La secuencia del fragmento amplificado sobre el gen *Rrs2* consta de un polimorfismo de nucleótido simple

(SNPs) el cual discrimina el alelo que confiere resistencia a "escaldadura" (Hanemann *et al.*, 2009). Este cambio en la secuencia del fragmento amplificado forma parte de un sitio de corte para la enzima de restricción BcnI la cual reconoce el sitio de corte en el alelo que no confiere resistencia frente a la enfermedad. Es decir, los fragmentos de 480 pb, provenientes del alelo de susceptibilidad, tratados con la enzima BcnI, se dividen en dos fragmentos (128 bp y 352 bp); mientras que los fragmentos de 480 pb, provenientes del alelo de resistencia, no son reconocidos por dicha enzima (Hanemann *et al.*, 2009).

Las reacciones de restricción se llevaron a cabo en un volumen final de 20 μ L que contenían 15 μ L del producto de amplificación, 3 unidades de la endonucleasa BcnI (Fermentas, St. Leon-Rot, Germany) y 1x del buffer de reacción. Las muestras fueron incubadas durante 2 h a 37 °C. Los fragmentos amplificados y digeridos fueron separados mediante electroforesis en geles de agarosa (Conda, Pronadisa Agarose D1 Low EEO) 1%, TAE 1x, teñidos con el colorante SybrSafe (Invitrogen, Molecular Probes) y visualizados bajo luz ultravioleta. De esta manera se registró, para cada muestra, la presencia o ausencia de los alelos de resistencia (*Rrs2+*) o susceptibilidad (*Rrs2-*) para el gen *Rrs2* de cebada.

Análisis estadístico de los datos

Se realizó un test de Chi cuadrado (χ^2) al 5% de significación para corroborar que la segregación observada de los alelos del gen *Rrs2* en la población RIL no se desviaba significativamente de la segregación esperada para un gen mayor en este tipo de población (segregación = 1:1).

Para determinar el efecto de ambos alelos (*Rrs2+* y *Rrs2-*), la respuesta promedio de las líneas con el alelo de resistencia frente a "escaldadura" se comparó con la respuesta promedio de las líneas con el alelo de susceptibilidad, dentro de cada ambiente y entre ambientes. Para cada ambiente se promediaron las respuestas de los parentales en los tres surcos de evaluación. Se realizó un análisis de la varianza simple (ANAVA) cumpliendo con los supuestos de este tipo de análisis univariado y para comparar las medias de los tratamientos se utilizó el método de la mínima diferencia significativa (MDS), solo cuando la prueba F del análisis de varianza indicó diferencias significativas. En todas las pruebas se utilizó un nivel de significancia de 5%. Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS

El marcador CAPS sobre el gen *Rrs2* resultó polimórfico entre los parentales Shakira y Andreia (figura 2). Shakira presentó el alelo de resistencia del gen *Rrs2* mientras que Andreia presentó el alelo de susceptibilidad. Analizando la caracterización molecular de las 158 líneas pertenecientes a la población RIL, se observó que 85 líneas portaban el alelo de resistencia para el gen *Rrs2* (*Rrs2+*), mientras que

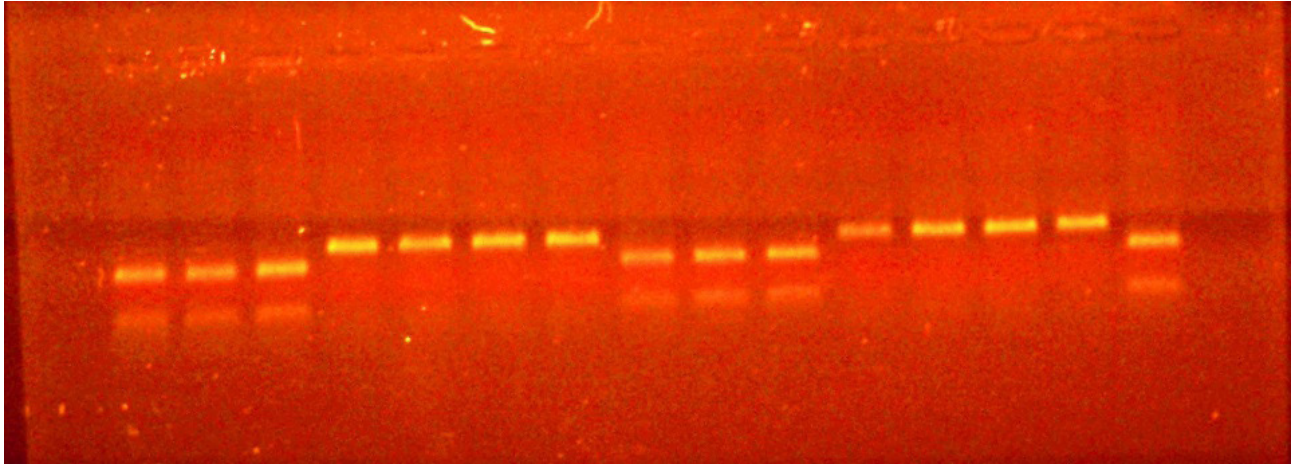


Figura 2. Perfil molecular del marcador CAPS sobre el gen Rrs2.

| | Rrs2+ | Rrs2- | Test $\chi^2_{1:1}$ gl. 1 |
|------------|-------|-------|---------------------------|
| Shakira | + | - | |
| Andreia | - | + | |
| 158 Líneas | 85 | 73 | $p > 0,3$ |

Tabla 1. Caracterización de los materiales según presencia del alelo de resistencia (Rrs2+) y susceptibilidad (Rrs2-) para el gen Rrs2.

| | Alelos | Ambiente | | | N.º Líneas |
|----------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | | Bv | Bc | Cs | |
| Pob. Ril | Rrs2 + | 1,17 ^a | 1,08 ^a | 1,26 ^a | 85 |
| Pob. Ril | Rrs2 - | 2,48 ^b | 2,26 ^b | 2,40 ^b | 73 |
| Shakira | Rrs2 + | 1,23 ^a | 1,00 ^a | 1,25 ^a | |
| Andreia | Rrs2 - | 3,00 ^b | 2,75 ^b | 2,75 ^b | |

Tabla 2. Caracterización promedio por ambiente (Bv: Bordenave, Bc: Balcarce, Cs: Coronel Suárez) de las líneas portando los alelos de resistencia y susceptibilidad para el gen Rrs2.

las restantes 73 líneas portaban el alelo de susceptibilidad para dicho gen (Rrs2 -) (tabla 1). La distribución alélica del gen Rrs2 en la población se ajustó a la correspondiente segregación esperada ($p > 0,3$).

En la caracterización fenotípica, los parentales Shakira y Andreia presentaron respuestas altamente contrastantes en los tres ambientes de evaluación. Las líneas mostraron diversas respuestas frente al patógeno, sin embargo, fue posible ubicar a cada línea dentro de las categorías 1, 2 o 3, según el nivel de síntomas de escaldadura que presentaban en cada uno de los tres ambientes. La tabla 2 muestra los resultados promedio obtenidos en la caracterización fenotípica tanto de los parentales como de las líneas que

presentaron el alelo Rrs2+ y Rrs2- para cada ambiente de evaluación.

Por un lado, al analizar la varianza de los valores promedio de respuesta para los tres ambientes, se determinó que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las líneas que portan el alelo de resistencia (Rrs2+) y la variedad Shakira. Por otro lado, tampoco se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) al analizar la respuesta de las líneas que portan el alelo de susceptibilidad (Rrs2-) y la variedad Andreia. Sin embargo, ambos grupos de líneas difieren entre sí, de la misma manera que lo hacen las variedades usadas como parentales (figura 3).

DISCUSIÓN

En publicaciones anteriores se ha comprobado que el gen Rrs2 confiere resistencia a la enfermedad “escaldadura” en el cultivo de cebada (Hanemann *et al.*, 2009; Bi-Fu, 2012; Walters *et al.*, 2012). Sin embargo, estos trabajos se han llevado a cabo utilizando materiales que no han sido difundidos en Argentina. De la misma manera, dichos trabajos han sido realizados en ambientes con condiciones agroecológicas diferentes a las que poseen las principales zonas de producción de Argentina. Estas cuestiones hacen necesaria la evaluación de materiales elite frente a dicha enfermedad.

En el presente trabajo se evaluaron las dos variedades más difundidas en Argentina según su comportamiento frente a “escaldadura”, las cuales resultaron ser ampliamente contrastantes en los tres ambientes explorados en este estudio. Utilizando como genotipos parentales a dichas variedades se creó una población RIL de 158 líneas puras las cuales fueron caracterizadas fenotípica y molecularmente. Por una parte, según el test de χ^2 los alelos del gen Rrs2, en dicha población, segregan con la frecuencia esperada para un gen simple (segregación 1:1). Tanto las líneas caracterizadas como Rrs2+ como la variedad

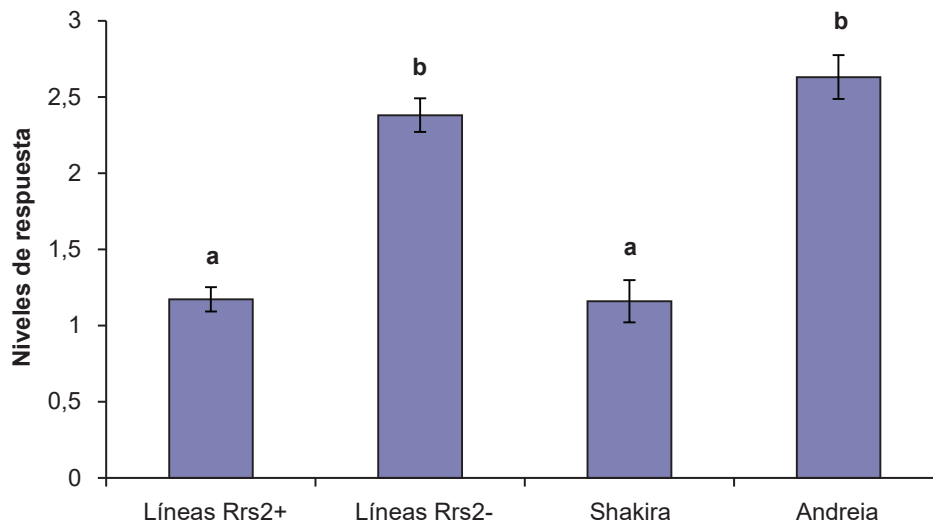


Figura 3. Niveles de respuesta promedio de los genotipos evaluados para los tres ambientes de caracterización fenotípica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Shakira (la cual presenta el alelo de resistencia del gen *Rrs2*) presentaron valores fenotípicos bajos (1,08–1,17) y además, similares entre sí en los tres ambientes de evaluación. Estos resultados indican que dicho alelo sería el responsable de la resistencia frente al patógeno *Rhynchosporium secalis*, para los genotipos estudiados. Por otra parte, los individuos caracterizados como *Rrs2*- y la variedad Andrea (la cual presenta el alelo de susceptibilidad) presentaron valores elevados dentro de la escala fenotípica (2,26–2,48), lo cual indica que estos genotipos carecen de genes de resistencia efectivos para dicha enfermedad.

Estos resultados indican que el gen *Rrs2* de cebada sería responsable de conferir resistencia frente a escaldadura en el cultivar Shakira, uno de los más difundidos en Argentina.

La principal aplicación de los marcadores moleculares en el mejoramiento vegetal está asociada directamente con la eficiencia de selección de genotipos con caracteres deseables. La identificación de marcadores asociados a caracteres de importancia agronómica es el primer paso en el desarrollo de la selección molecular, pero existen varios requisitos que hacen efectiva la real utilización de estos marcadores en planes de mejoramiento (Langridge *et al.*, 2001). Es importante destacar que el marcador debe ser capaz de detectar polimorfismos entre y dentro de las líneas o variedades utilizadas en dichos programas. En este sentido, el marcador CAPS desarrollado sobre el gen *Rrs2* (Hanemann *et al.*, 2009) fue polimórfico entre las variedades elite Shakira y Andrea; y mostró ser eficaz en la selección de líneas derivadas del cruzamiento entre ambos materiales. Estos resultados, indican que dicho marcador podría ser utilizado en planes de mejoramiento que utilicen fondos genéticos derivados de la variedad Shakira para la selección de individuos portando alelos de resistencia a la enfermedad “escaldadura”. Además, este tipo de marcadores es de fácil aplicación, co-

dominante y altamente objetivo con un costo relativamente bajo. Estas características lo convierten en una herramienta interesante para los programas de mejoramiento de cebada que cuenten con la asistencia de laboratorios de selección asistida por marcadores moleculares.

Por último, este trabajo representa la primera caracterización a nivel fenotípico y molecular de genotipos de cebada cervecera utilizados ampliamente en sistemas de producción agrícola en las principales zonas agroecológicas de Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBOTT, D.C.; LAGUDAH, E.S.; BROWN, A.H.D. 1995. Identification of RFLPs flanking a scald resistance gene on barley chromosome 6. *Journal Heredity*, 86:152-154.
- BEER, W.W. 1991. Leaf blotch of barley. *Zentralbl Microbiology*, 146:339-358.
- BI-FU, Y. 2012. Population-based resequencing analysis of wild and cultivated barley revealed weak domestication signal of selection and bottleneck in the *Rrs2* scald resistance gene region. *Genome*, 55(2): 93-104.
- BJØRNSTAD, A.; PATIL, V.; TEKAUZ, A.; MARØY, A.G.; SKINNES, H.; JENSEN, A.; MAGNUS, H.; MACKEY, J. 2002. Resistance to scald (*Rhynchosporium secalis*) in barley (*Hordeum vulgare*) studied by nearisogenic lines: I. markers and differential isolates. *Phytopathology*, 92:710-720.
- CARMONA, M.; BARRETO, D.; ROMERO, A.M. 2011. Enfermedades del cultivo, importancia, síntomas y manejo integrado. Capítulo 6. Cebada Cervecera, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 284 p.
- CATTANEO, M. 2013. El cultivo de cebada en Argentina. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca. (Disponible: <https://congresocebada.files.wordpress.com/2012/10/30-10-13-1-presenta-mario-cattc3a1neo.pdf> verificado: 07 de julio de 2017).

- CATTANEO, M. 2016. Evolución del cultivo de cebada en Argentina. VIII Congreso Nacional de Trigo. VI Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. II Reunión del Mercosur. Pergamino – Septiembre 2016. (Disponible: <http://www.congresodetrigo.com.ar/presentaciones/dia1auditorio/CATTANEO-CN.pdf> verificado: 07 de julio de 2017).
- DELLAPORTA, S.L.; WOOD, J.; HICKS, J.B. 1983. A plant DNA minipreparation: version 11. *Plant Molecular Biology Report*, 1:19-21.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBREDO, C.W. 2016. Infostat. Versió 2016. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- GENGER, R.K.; WILLIAMS, K.J.; RAMAN, H.; READ, B.J.; WALLWORK, H.; BURDON, J.J.; BROWN, A.H.D. 2003. Leaf scald resistance genes in *Hordeum vulgare* and *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*: parallels between cultivated and wild barley. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54:1335-1342.
- HANEMANN, A.; SCHWEIZE, G.F.; COSSU, R.; WICKER, T.; RÖDER, M.S. 2009. Fine mapping, physical mapping and development of diagnostic markers for the Rrs2 scald resistance gene in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 119: 1507-1522.
- KNOGGE, W.; VAN'T SLOT, K.A.E.; STEINER-LANGE, S. 2003. Recognition and response—the barley scald model. *Proceedings of the 11th Australian barley technical symposium*.
- LANGRIDGE, P.; LAGUDAH, E.S.; HOLTON, T.A.; APPELS, R.; SHARP, P.J.; CHALMERS, K.J. 2001. Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 52(12): 1043-1077.
- LEHNACKERS, H.; KNOGGE, W. 1990. Cytological studies on the infection of barley cultivars with known resistance genotypes by *Rhynchosporium secalis*. *Canadian Journal of Botany* 68:1953-1961.
- MOREYRA, F.; GONZÁLEZ, G.A.; CONTI, V.; GIMÉNEZ, F. 2015. Jornada del cultivo de cebada. Red Nacional de Cebada Cervecera. Campaña 2014. Unidad Integrada INTA Balcarce.
- SCHWEIZER, G.; BAUMER, M.; DANIEL, G.; RUGEL, H.; RÖDER, M. 1995. RFLP markers linked to scald (*Rhynchosporium secalis*) resistance gene Rh2in barley. *Theoretical and Applied Genetics* 90: 920-924.
- SCHWEIZER, G.; HERZ, M.; MIKOLAJEWSKI, S.; BRENNER, M.; HARTL, L.; BAUMER, M. 2004. Genetic mapping of a novel scald resistance gene Rrs15 Cl8288 in barley. *Proceedings of the 9th international barley genetics symposium, Brno, Czech Republic*, 258-265 pp.
- SHIPTON, W.A. 1974. Scald of barley. *Review of Plant Pathology* 53: 839-861.
- SIIA. 2016. Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agroindustria de la Nación. (Disponible: http://www.siaa.gov.ar/sst_pcias/estima/estima_1.php verificado: 07 de julio de 2017).
- WALTERS, D.R.; AVROVAIAN, A.J.; BINGHAM, F.J.; FOUNTAINE, B.J.; HAVIS, N.D.; HOAD, S.P.; MARK, G.H.; OXLEY, L.S.J.P.; RENWICK, A.; TOPP, C.F.E.; NEWTON, A.C. 2012. Control of foliar diseases in barley: towards an integrated approach. *European Journal of Plant Pathology* 133(1): 33-73.
- ZAFFARANO, P.L.; MCDONALD, B.A.; ZALA, M.; LINDE, C.C. 2006. Global hierarchical gene diversity analysis suggests the fertile crescent is not the center of origin of the barley scald pathogen *Rhynchosporium secalis*. *Phytopathology*. 96: 941-950.

Evaluación de un modelo de producción de pasturas mediante pruebas empíricas

NASCA, J.A.¹; BERONE, G.²; ARROQUY, J.I.³; FELDKAMP, C.⁴; COLOMBATTO, D.⁵

RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó un modelo de crecimiento de pasturas desarrollado por McCall y Bishop-Hurley. El objetivo fue evaluar si el modelo es capaz de simular las variaciones en producción primaria neta aérea en la estación húmeda utilizando pruebas empíricas. Se trabajó con una gramínea megatérmica, *Chloris gayana*. La evaluación empírica se realizó con datos de experimentos realizados en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (INTA), que incluyeron biomasa seca aérea acumulada durante la estación de crecimiento, y biomasa seca aérea producida entre dos pastoreos. Los estadísticos utilizados fueron raíz cuadrada del cuadrado medio del error, relación RMSE/Media observada, error medio y los coeficientes de la desigualdad de Theil. Los coeficientes de desigualdad de Theil para la producción primaria neta aérea acumulada ($U_m=0,35$, $U_s=0,1$, $U_c=0,64$) y por cortes ($U_m=0,08$, $U_s=0,08$, $U_c=0,84$) mostraron que el modelo no presentó errores sistemáticos. El patrón de crecimiento de la producción primaria neta aérea simulado fue 7% oct-nov, 64% dic-ene-feb, 29% mar-abr-may. El trabajo muestra el potencial del modelo de pasturas para simular la dinámica de la producción de *Chloris gayana* en ambientes del subtropico argentino, siendo capaz de captar variaciones en el ambiente. En este sentido puede ser útil para estudiar interacciones entre el manejo y la dinámica de las pasturas en climas de alta variabilidad temporal.

Palabras clave: modelo pasturas, *Chloris gayana*, pruebas empíricas.

ABSTRACT

For this work, a pasture growth model developed by McCall and Bishop-Hurley, was used. The objective was to evaluate the model, using empirical tests. A tropical pasture named *Chloris gayana*, was used. For the empirical evaluation a database from the Animal Research Institute of Semiarid Chaco (INTA), was used, including information of herbage accumulated during the growing season, and cutting trials based on the difference between pre- and post-grazing herbage. The statistics calculated were root mean square error, relative root mean square error, mean error and Theil coefficients. The Theil coefficients for accumulated herbage ($U_m = 0.35$, $U_s = 0.1$, $U_c = 0.64$) and cutting trials ($U_m = 0.08$, $U_s = 0.08$, $U_c = 0.84$), showed that the model did not present systematic errors. The growth pattern of simulated herbage was 7% Oct-Nov, 64% Dec-Jan-Feb, 29% Mar-Apr-May. The work shows the potential of the pasture model to simulate the forage production of *Chloris gayana* in subtropical environments, capturing variations in the environment. In this sense, it can be useful for studying interactions between management strategies and dynamics responses of pastures in highly variable climates.

Keywords: pasture model, *Chloris gayana*, empirical tests.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS, INTA Leales), Chañar Pozo s/n (T4113), Tucumán, Argentina. Correo electrónico: nasca.jose@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Ruta 226, km 73,5 (7620), Balcarce, Buenos Aires.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Cesáreo naredo, Ruta Nacional 33 km 221 (6435). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1033AAJ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

⁴Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.

⁵Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1033AAJ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Recibido 03 de mayo de 2018 // Aceptado 26 de diciembre de 2018 // Publicado online 20 de mayo de 2020

INTRODUCCIÓN

En sistemas ganaderos de base pastoril resulta de especial interés conocer la productividad primaria neta aérea, la PPNA (McNaughton *et al.*, 1989). La PPNA media permite inicialmente explorar la capacidad de carga animal de un sistema. Sin embargo, la PPNA varía en el tiempo, tanto estacional como interanualmente, por lo tanto resulta necesario cuantificar dichas variaciones para hacer un manejo sustentable (Díaz-Solís *et al.*, 2003). En términos generales, la precipitación y la temperatura controlan fuertemente la variación temporal (entre estaciones y entre años) y espacial de la PPNA (Lauenroth y Sala 1992; Paruelo *et al.*, 1999).

Las áreas ganaderas de las regiones del semiárido subtropical de Argentina tradicionalmente se sustentaron en el aprovechamiento de los pastizales naturales existentes y en la introducción de gramíneas megatérmicas (Kunst *et al.*, 2014); *Chloris gayana* Kunth es una de las más utilizadas. Estos ambientes se caracterizan por una estación húmeda o de crecimiento y una estación seca en la cual el crecimiento del estrato herbáceo es prácticamente nulo. La cantidad y calidad de forraje producido durante la estación húmeda son claves para la productividad anual de los sistemas ganaderos pastoriles de este tipo de ambientes. En el período estival las precipitaciones son variables y las temperaturas son altas; y en el invierno las heladas son frecuentes (Ricci, 2006). La elevada evapotranspiración mensual determina un déficit hídrico en todos los meses del año. La combinación de estas condiciones meteorológicas constituye un desafío para el crecimiento de las especies de interés forrajero (Boschma *et al.*, 2016).

Conocer tanto la frecuencia con la que se obtienen determinados valores de PPNA durante la estación húmeda así como el momento en el que la mayoría de los años “arranca” de manera sostenida la estación húmeda debiera permitir una mejora en la toma de decisiones con respecto al presupuesto forrajero así como a la programación de determinadas prácticas de manejo. Las estrategias de estudio más habituales para resolver este tipo de interrogantes son: 1) analizar datos de campo o de experimentos de larga duración en donde se estudian estos factores en unidades experimentales (parcelas) dispuestas en un diseño experimental estadístico y 2) contar con un modelo biofísico calibrado y evaluado para la especie que permita simular el crecimiento utilizando datos de series climáticas. Ambas estrategias no son mutuamente excluyentes y usualmente la disponibilidad de datos agronómicos generados en terreno (ej. ensayos de larga duración) es integrada en modelos y utilizada para evaluarlos.

Joven *et al.* (2006) señalan que los modelos de simulación con enfoque mecanicista basados en la eficiencia del uso de la radiación (ej. McCall y Bishop Hurley, 2003) permiten un buen entendimiento de la dinámica estacional de la PPNA. Estimar la variabilidad en el crecimiento de las pasturas en diferentes estaciones y entre años en condiciones de clima variable y en respuesta a diferentes decisiones de manejo son requisitos fundamentales en los modelos de simulación de sistemas productivos complejos (Li *et al.*, 2011).

Los vacíos de información en relación con la variabilidad de la tasa de crecimiento en respuesta a patrones estacionales variables (Boschma *et al.*, 2016) pueden ser explorados con modelos de simulación. Para ello, el modelo debe ser capaz de simular la dinámica temporal del crecimiento de las pasturas particularmente en el momento que se produce la transición entre ambas estaciones, es decir, la salida de la estación seca y el comienzo de la estación húmeda (Cullen *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se presentan los resultados de un modelo de crecimiento de *C. gayana*. Se trabajó con un modelo de crecimiento ya desarrollado para explicar la variación espacial (sitios) y temporal (años, estaciones) en el crecimiento aéreo de pasturas integradas por gramíneas templadas perennes, base *Lolium perenne* (McCall y Bishop-Hurley, 2003). La buena capacidad de predicción para *Lolium perenne*, tanto del modelo original (McCall y Bishop-Hurley, 2003) así como de dos versiones modificadas para gramíneas (Romera *et al.*, 2009) como para *Medicago sativa* (Berone *et al.*, 2017) y la simplicidad del funcionamiento hacen promisorio su uso en otras pasturas como *C. gayana*.

Los datos de entrada que requiere este tipo de modelo son mínimos y fácilmente disponibles. Asociados al canopeo requiere conocer solo la biomasa seca verde por unidad de superficie al iniciar la modelación (ej. al inicio de un rebrote o estación de crecimiento). Del clima requiere contar con datos diarios de la radiación global, la temperatura mínima y máxima y precipitaciones, con las que estima la evapotranspiración potencial. Finalmente, del suelo requiere conocer la capacidad de almacenaje de agua y el contenido de agua al momento de iniciar la modelación (ej. al inicio de un rebrote o estación de crecimiento). A su vez, por su simplicidad podría ser fácilmente incorporado por distintos usuarios, así como por modelos que simulan sistemas de producción.

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad del modelo para reproducir las variaciones en PPNA en la estación húmeda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el modelo desarrollado por McCall y Bishop-Hurley (2003), incorporando modificaciones basadas en Romera *et al.* (2009) y Thornley y France (2007). Es un modelo genérico conducido por variables climáticas que describe la dinámica de la producción primaria neta área (PPNA) bajo pastoreo (Ec. 1).

$$\frac{dG}{dt} = \alpha I * g_t * g_T^{\circ} * g_w * c(G) - \sigma \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde dG/dt: tasa de crecimiento en función del tiempo; α : eficiencia de uso de la radiación; I: radiación incidente; g_t : eficiencia fotosintética por fase fenológica; g_T° : efecto de la temperatura; g_w : factor de agua del suelo; $c(G)$: capacidad de interceptación de la canopia; σ : factor de senescencia.

El factor α determina el crecimiento base de la pastura. La radiación incidente (I) ($\text{Mj}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) es una variable de entrada del modelo tomada a partir de las estaciones meteorológicas. La eficiencia de uso de la radiación (α) depende del genotipo utilizado pudiendo variar entre 0,40 y 2,50 $\text{gMS}\cdot\text{Mj}^{-1}$ de radiación solar incidente (ej. 0,8-5,0 $\text{gMS}\cdot\text{Mj}^{-1}$ de radiación fotosintéticamente activa incidente) para especies C4 (Kiniry *et al.*, 1999). En el presente trabajo se utilizó un valor de 0,5 $\text{gMS}\cdot\text{Mj}^{-1}$, cercano al umbral inferior, debido a que los sitios en los cuales se obtuvieron los datos observados presentaban bajos niveles de fertilidad edáfica (McCall y Bishop-Hurley, 2003).

La tasa de crecimiento base se modifica por funciones relacionadas con la eficiencia fotosintética en diferentes fases fenológicas, el efecto de la temperatura del aire, el agua del suelo y la capacidad de intercepción de la canopia.

La eficiencia fotosintética varía de acuerdo a la fase fenológica (g_t). El factor g_t representa las diferencias estacionales en la eficiencia neta fotosintética, y está relacionada con la fase reproductiva y los cambios asociados en la fisiología de la planta (Parsons y Chapman, 2000). La evolución de las diferentes fases fenológicas se realizó en función del tiempo térmico, considerando una temperatura base de 12 °C (figura 1).

Ricci (2006) evaluó en el este tucumano durante el período 1995-2000 los cambios fenológicos en función del tiempo térmico (°C-d) en *C. gayana*, encontrando valores de 640 ± 49 °C-d hasta floración y 1026 ± 63 °C-d hasta formación de semilla madura.

Chloris gayana posee una temperatura base de 12 °C, florece alrededor de los 600 °C-d y completa su ciclo a los 1000 °C-d (Moser *et al.*, 2004; Martínez Calsina, 2009). En función de la fase fenológica se establece un factor de corrección que varía entre 0,6 y 1 para las fases vegetativas (v) y reproductivas respectivamente. El estado de semilla madura es tomado como umbral de finalización de un ciclo y comienzo de uno nuevo.

La temperatura ($g(T^\circ)$) también ejerce su efecto sobre la tasa de crecimiento de las pasturas. En las pasturas megatérmicas la tasa fotosintética es dependiente de la temperatura dentro de un rango que varía entre 8-40 °C (Ludlow, 1985). El efecto de la temperatura se incluyó en el modelo a través de la ecuación 2, propuesta por Thornley y France (2007).

$$g(T^\circ) = \left(\frac{T - T_{mn}}{T_r - T_{mn}}\right)^q * \left(\frac{(1+q) * T_{opt} - T_{mn}}{(1+q) * T_{opt} - T_{mn}} - T\right) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde, T_{mn} es la temperatura mínima donde $g(T^\circ)$ se hace 0, q es un parámetro de curvatura con valor de 2, T_{opt} es la temperatura óptima, T_r es la temperatura de referencia y T es la temperatura media diaria.

La temperatura óptima de crecimiento se ubica entre los 30-35 °C, y la temperatura base entre 8-15 °C dependiendo del genotipo considerado (Jones, 1985). La temperatura de referencia es igual a 20 °C para pasturas megatérmicas (Herrero *et al.*, 2000).

El balance de agua en el suelo fue simulado siguiendo el modelo propuesto por Cros *et al.* (2003). El factor g_W relaciona la disponibilidad de agua y la capacidad de retención de agua del suelo utilizado, pudiendo tomar valores entre 0 y 1.

El factor $c(G)$ representa la capacidad de intercepción de la canopia. La capacidad de rebrote de las pasturas es influenciada por el remanente de pastoreo.

La tasa de crecimiento estimada determina la acumulación de forraje verde, el cual eventualmente muere y cae al suelo. La tasa de senescencia fue estimada a partir de la ecuación 3, que relaciona la temperatura media diaria y la vida media foliar (VMF) (Romera *et al.*, 2009).

$$\sigma = \frac{TM}{VMF} * 0.3 \quad (\text{Ec. 3})$$

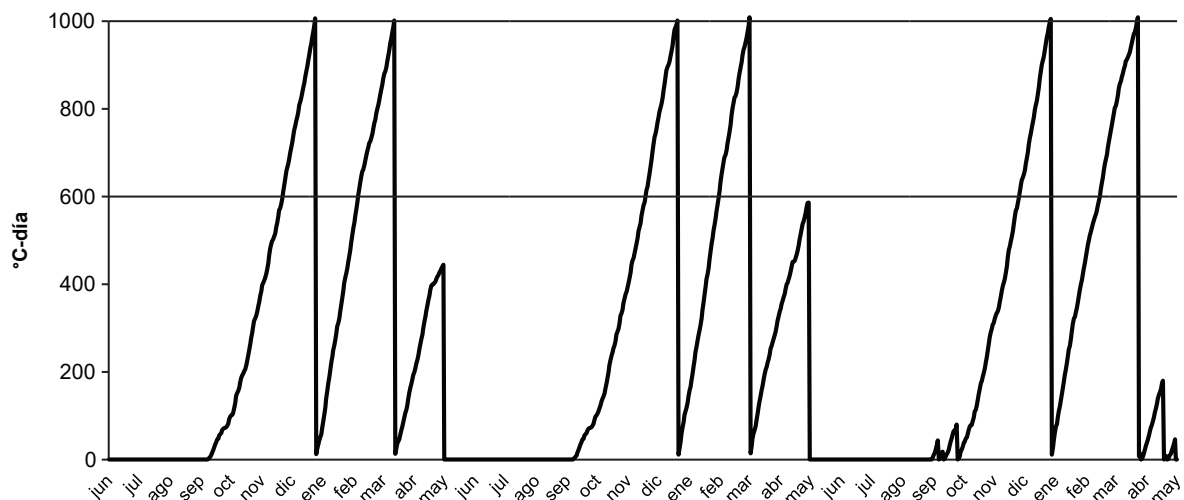


Figura 1. Suma térmica acumulada (temperatura base = 12 °C) para tres ciclos de crecimiento de una pastura de *Chloris gayana*. Línea llena inferior floración, línea llena superior fin de ciclo.

Donde, TM temperatura media diaria ($^{\circ}\text{C}$); VMF vida media foliar ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

La VMF es característica de cada especie/cultivar. Para *C. gayana* los valores de VMF reportados se encuentran en el rango de 320-370 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (Agnusdei *et al.*, 2009; Avila *et al.*, 2010), por lo que en el presente trabajo se utilizó una VMF de 350 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$.

Calibración del modelo

Ciertos componentes del modelo dependen de parámetros empíricos, que requieren una calibración específica para el genotipo y sitio de estudio (Romera *et al.*, 2009). Valores de los parámetros para gramíneas megatérmicas, y específicamente para *C. gayana* fueron tomados a través de una revisión bibliográfica (Herrero *et al.*, 2000; Moser *et al.*, 2004; Agnusdei *et al.*, 2009; Avila *et al.*, 2010; Martínez Calsina *et al.*, 2012). La gran diversidad de genotipos forrajeros existentes con características particulares hace necesario concentrar los procesos de calibración sobre aquel o aquellos genotipos sobre los cuales existe mayor información (Tanure *et al.*, 2013). La calibración se realizó alterando los valores de los parámetros de manera de obtener el mejor ajuste entre los valores simulados y las mediciones realizadas en sistemas reales de producción (Carlson *et al.*, 1993; Ahuja y Ma, 2002). La calibración se realizó comparando la materia seca acumulada en la estación de crecimiento y en cortes cada 28 días, utilizando la raíz cuadrada del cuadrado del error (RMSE). El conjunto de datos utilizados ($n = 50$) fue independiente del empleado para la evaluación del modelo; en todos los casos *C. gayana* fue la especie de referencia. Los parámetros del modelo calibrado se observan en la tabla 1.

| Parámetro | Valor | Rango de valores |
|-----------|-------|------------------|
| α | 0,5 | 0,45 – 0,89 |
| TB | 12 | 8 – 15 |
| Tr | 20 | |
| Topt | 35 | 30 – 35 |
| VMF | 350 | 320 – 370 |
| v | 0,6 | 0,6 – 0,8 |

Tabla 1. Parámetros calibrados, rango posible y valores utilizados.

El proceso de calibración incluyó la colaboración de un experto, quien controló la consistencia de las salidas del modelo (Cros *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2011).

Evaluación empírica del modelo

Para evaluar la capacidad del modelo para simular las variaciones en PPNA de la estación húmeda se utilizaron datos de experimentos realizados en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), con *C. ga-*

yana, durante diez años (2001-2010). El conjunto de datos incluyó biomasa aérea acumulada ($n = 60$) durante la estación de crecimiento (octubre a marzo), y biomasa aérea producida ($n = 90$) entre dos pastoreos (en el período comprendido entre octubre y mayo). En este último caso, la cantidad de forraje producido se determinó midiendo el forraje disponible antes y después de un pastoreo. El pastoreo fue rotativo con tiempos de ocupación de 4 a 7 días. Se contó con la información climática para el período correspondiente y las características del suelo. Las pasturas estaban sembradas en suelos de textura franco arcillosa, con 2,5% de materia orgánica, 8,4 ppm de fósforo, pH: 8 y 3 $\text{dm}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica.

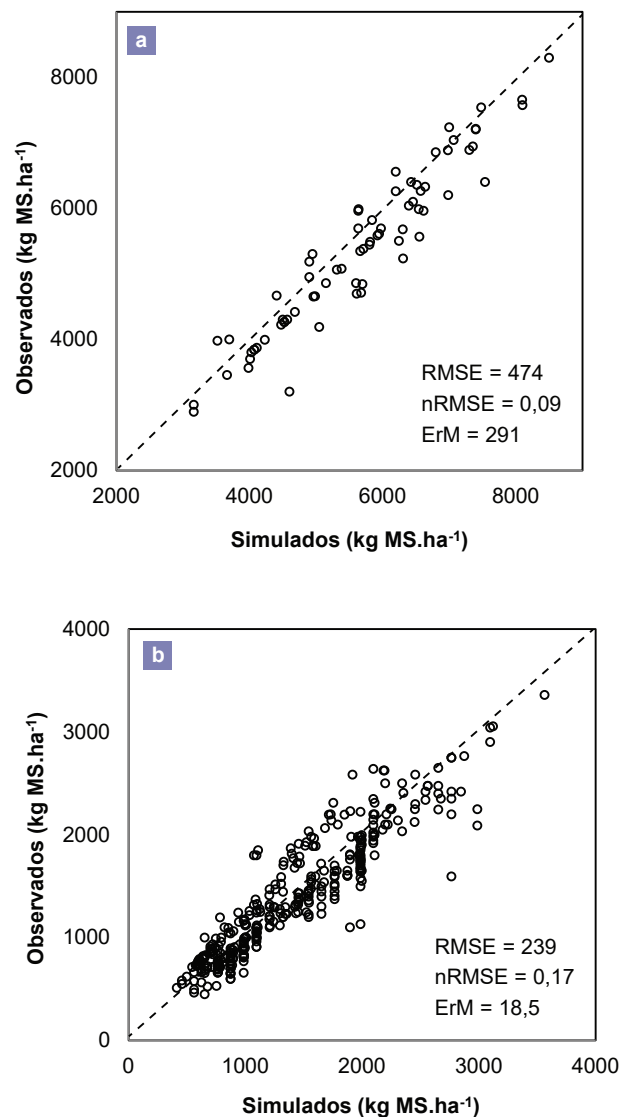


Figura 2. Producción primaria neta aérea ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$) acumulada durante la estación húmeda (a) y por cortes individuales durante la estación húmeda (b) para cortes realizados entre dos sesiones sucesivas de pastoreo. Evaluación de la precisión del modelo mediante el uso de estadísticos: raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE); RMSE relativa (nRMSE); error medio (ErM).

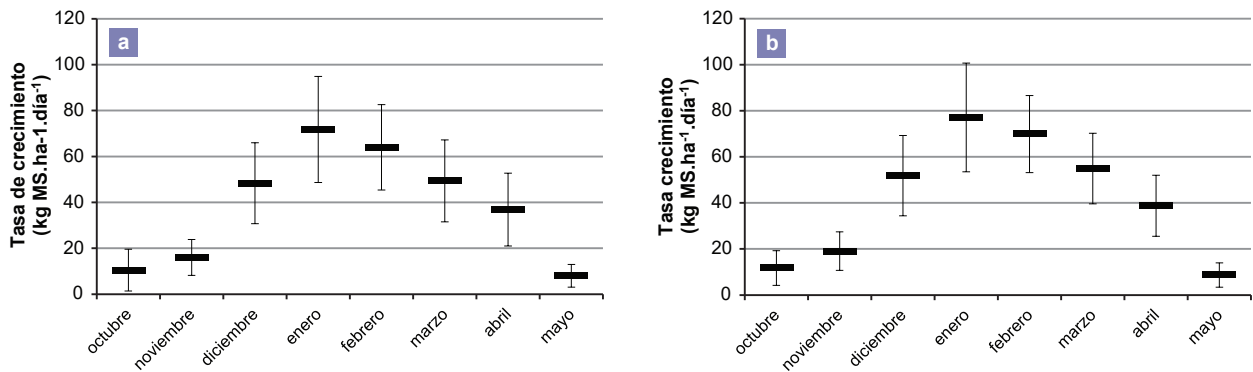


Figura 3. Variación de la tasa de crecimiento mensual ($\text{kg.MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$) observada (a) y simulada (b). Las barras representan el desvío estándar.

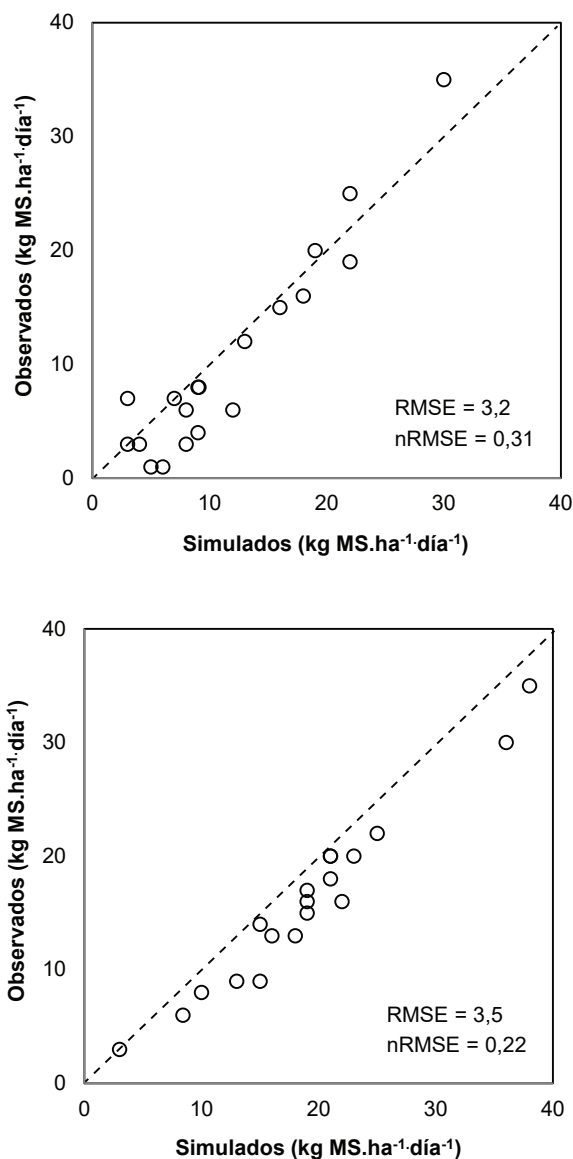


Figura 4. Tasa de crecimiento ($\text{kg.MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$) observada y simulada para los meses de octubre (a) y noviembre (b). Evaluación de la precisión del modelo mediante el uso de estadísticos: raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE); RMSE relativa (nRMSE).

La evaluación empírica se realizó usando los estadísticos propuestos por Yang *et al.* (2014): raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE), relación RMSE/Media observada (nRMSE) y error medio (ErM), como medida de la bondad de ajuste. También se utilizaron los coeficientes de la desigualdad de Theil, que proveen una medida de la aleatoriedad del error. Los coeficientes de la desigualdad de Theil distinguen entre distintas fuentes de error de predicción: una proporción asociada con la diferencia media entre los valores predichos y los observados (U_m), una proporción asociada con la diferencia entre la pendiente (β) del modelo de ajuste y la línea 1:1 ($U_s=1$), y una proporción asociada con la varianza no explicada (U_c) (Trnka *et al.*, 2006). Los coeficientes U_m y U_s revelan errores sistemáticos, y son potencialmente serios relacionados con errores en la estimación de los parámetros del modelo y la habilidad del modelo para replicar el grado de variabilidad de los datos (Stermán, 2000). La varianza no explicada (U_c) indica que las salidas del modelo y los datos observados no están perfectamente correlacionados, esto es, difieren punto por punto (Stermán, 2000). La distribución ideal de estos tres parámetros sería U_m y U_s igual a 0 y U_c igual a 1 (Theil *et al.*, 1970).

RESULTADOS

Evaluación empírica del modelo

En términos absolutos se encontró un muy buen ajuste en la PPNA acumulada durante la estación húmeda (figura 2a), lo que demuestra que el modelo fue capaz de simular adecuadamente las variaciones en PPNA de dicha estación. Si bien el ajuste fue menor para las simulaciones de las cosechas individuales (figura 2b) es posible decir que los parámetros fueron satisfactorios.

Los coeficientes de desigualdad de Theil para la PPNA acumulada fueron $U_m=0,35$, $U_s=0,1$, $U_c=0,64$, mientras que para la PPNA por cortes fueron $U_m=0,08$, $U_s=0,08$, $U_c=0,84$. En ambos casos, el modelo no presentó errores sistemáticos, lo cual es indicado por la alta proporción del error asociada a la varianza no explicada (U_c) (Stermán, 2000).

El valor positivo de ErM (figura 2) señala que el modelo tiende a sobreestimar la PPNA, marcando algunas diferencias entre valores observados y simulados.

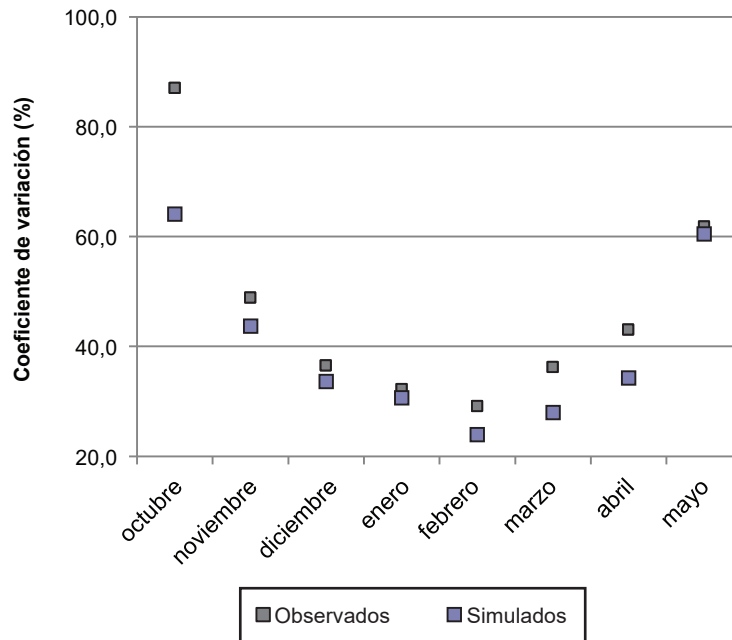


Figura 5. Coeficiente de variación interanual de la tasa de crecimiento mensual para valores observados y simulados.

Además del conocimiento de la PPNA, es importante considerar la variabilidad de las tasas de crecimiento de las pasturas (figura 3) durante su ciclo de crecimiento bajo condiciones de pastoreo.

A pesar de su importancia, la distribución o ritmo de producción de la PPNA durante la estación de crecimiento, no ha sido abordado regionalmente y por ello son pocos los registros específicos para la zona de estudio (Ricci, 2006, Ricci y Toranzos, 2004).

En los sistemas pastoriles, la PPNA primaveral (ej. octubre, noviembre) es importante para la toma de decisiones de manejo (Durante, 2006), ya que condiciona la estrategia de utilización de reservas forrajeras, y en algunos casos, puede utilizarse para definir la carga animal. En la figura 4 se muestran los valores observados y simulados para las tasas de crecimiento de los meses de octubre y noviembre, que son críticos por representar la transición entre la salida de la estación seca y el comienzo de la estación húmeda.

Considerando que la tasa de crecimiento de los meses de agosto y septiembre son cercanas a cero (Ricci, 2006), los valores registrados para octubre y noviembre muestran la sensibilidad del modelo para captar adecuadamente el inicio del rebrote primaveral.

La distribución estacional de la PPNA y su variabilidad fue similar en datos observados y simulados. El patrón de crecimiento de la PPNA simulado (7% oct-nov, 64% dic-ene-feb, 29% mar-abr-may) fue similar al reportado por Ricci (2006) para *Chloris gayana* en el IIACS durante los períodos 2001-2005 (10% oct-nov, 70% dic-ene-feb, 20% mar-abr-may). La distribución de la producción muestra una concentración

en el verano; existe una gran variabilidad de la PPNA de un mismo genotipo en un mismo lugar debido fundamentalmente a las variaciones del ambiente (ej. precipitaciones entre años, edad de las pasturas, manejo).

En la figura 5 se observa la variabilidad interanual por mes de la tasa de crecimiento para datos observados y simulados.

La mayor variabilidad interanual de las tasas de crecimiento en valores observados y simulados se registró en los meses de octubre, noviembre y mayo. El inicio del rebrote primaveral (octubre-noviembre) es crítico y determinante en la planificación forrajera (Durante, 2006) y podría considerarse que el modelo capta bien los valores medios de las tasas de crecimiento y su variabilidad interanual.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados a partir de la evaluación empírica del modelo muestran un buen comportamiento de este. La mayor precisión en la PPNA acumulada en relación con cortes parciales está principalmente relacionada con simplificaciones en el modelo de los procesos funcionales de las plantas, que se hacen más evidentes en plazos temporales cortos (Cullen *et al.*, 2008). Sin embargo, la utilización de datos observados de parcelas bajo pastoreo agrega confiabilidad a la evaluación de los modelos de pasturas que integran todo el sistema productivo (Orr *et al.*, 1988).

Contar con descripciones para la región de estudio de la variabilidad en la PPNA, ya sea entre años e inclusive para diferentes momentos entre años, permite caracterizaciones en la respuesta de la capacidad de carga ante años climáticos contrastantes (Irisarri *et al.*, 2013). El patrón observado

en la dinámica estacional del coeficiente de variación de la tasa de crecimiento presentó similitudes con el observado en pastizales de La Pampa deprimida por Irisarri *et al.* (2013), aunque los valores para *C. gayana* fueron superiores. Los valores mensuales medios del coeficiente de variación de la PPNA fueron 47% y 40% para datos observados y simulados respectivamente, mientras que en La Pampa deprimida Oosterheld *et al.* (1998) reportaron valores de 25%.

Variaciones estacionales de la PPNA han sido poco estudiadas (Irisarri *et al.*, 2011), sin embargo son determinantes en la planificación forrajera y la elección de la carga animal en los sistemas. La menor variación en las tasas de crecimiento, en datos observados y simulados, se observa en el período que se extiende desde diciembre a abril (figura 5). En concordancia, Irisarri *et al.* (2011) encontraron en praderas y estepas patagónicas de gramíneas y arbustivas la menor variabilidad durante el verano.

El trabajo muestra el potencial del modelo de pasturas para simular la dinámica de la producción de *Chloris gayana* en ambientes del subtrópico argentino, siendo capaz de captar variaciones en tanto en la PPNA aérea acumulada durante la estación húmeda como el “arranque” de dicha estación de crecimiento. Estos aspectos, bien representados por el modelo, son altamente relevantes para la planificación de balances forrajeros. En este sentido, este modelo puede ser útil para estudiar interacciones entre el manejo y la dinámica de las pasturas en climas de alta variabilidad temporal.

BIBLIOGRAFÍA

- AGNUSDEI, M.G.; NENNING, N.R.; DI MARCO, O.N.; AELLO, M.S. 2009. Variaciones de calidad nutritiva durante el crecimiento vegetativo de gramíneas megatérmicas de diferente porte y longitud foliar (*Chloris gayana* y *Digitaria decumbens*). Revista Argentina de Producción Animal 29, (1) 13-26.
- AHUJA, L.R.; MA, L. 2002. Parameterization of agricultural models: Current approaches and future needs. En: AHUJA, L.R.; MA, L.; HOWELL, T.A. (Eds.). Agricultural System Models in Field Research and Technology Transfer. 273-316.
- AVILA, R.E.; DI MARCO, O.; AGNUSDEI, M.; MAYORAL, C. 2010. Digestibilidad de la fibra y materia seca de dos gramíneas megatérmicas (*Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris*) de diferente porte. Relación con la edad y largo foliar. Revista Argentina de Producción Animal 30, 1-13.
- BERONE, G.D.; DINUCCI, E.; FERNANDEZ, H.; GASTALDI, L.; MATTERA, J.; SPADA, M. 2017. Calibración y validación de un modelo de crecimiento para alfalfa (*Medicago sativa* L.). Revista de investigaciones agropecuarias, 43(3), 256-265.
- BOSCHMA, S.P.; MURPHY, S.R.; HARDEN, S. 2016. Growth rate and nutritive value of sown tropical perennial grasses in a variable summer-dominant rainfall environment, Australia. Grass and Forage Science, 72, 234-247.
- CARLSON, D.H.; THUROW, T.L.; JONES, C.A. 1993. Biophysical simulation models as a foundation of decision support systems, 37-68. En: STUTH, J.W.; LYONS, B.G. (eds.). Decision support systems for the management of grazing lands: Emerging issues. UNESCO Man and the Biosphere, Vol 11, Parthenon Publishing, Carnforth, Reino Unido.
- CROS, M.-J.; DURU, M.; GARCIA, F.; MARTIN-CLOUAIRE, R. 2003. A biophysical dairy farm model to evaluate rotational grazing management strategies. Agronomie 23, 105-122.
- CULLEN, B.R.; ECKARD, R.J.; CALLOW, M.N.; JOHNSON, I.R.; CHAPMAN, D.F.; RAWNSLEY, R.P.; GARCIA, S.C.; WHITE, T.; SNOW, V.O. 2008. Simulating pasture growth rates in Australia and New Zealand grazing systems. Australian Journal of Agricultural Research, vol. 59. 761-768 pp.
- DÍAZ-SOLÍS, H.; KOTHMANN, M.M.; HAMILTON, W.T.; GRANT, W.E. 2003. A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semi-arid grazinglands. Agricultural Systems. 76, 655-680.
- DURANTE, M. 2006. Modelos explicativos y predictivos de la productividad, disponibilidad y calidad de forraje basados remotos. Tesis Doctoral Universidad de Buenos Aires. 91 p.
- HERRERO, M.; FAWCETT, R.H.; SILVEIRA, V.; BUSQUE, J.; BERNUE, A.; DENT, J.B. 2000. Modelling the growth and utilization of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterization. Agricultural Systems 65, 73-97.
- IRISARRI, J.G.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J.M.; TEXEIRA, M. 2011. Patterns and controls of above-ground net primary production in meadows of Patagonia. A remote sensing approach. Journal of Vegetation Science 1-13.
- IRISARRI, J.G.N.; GUNDEL, P.E.; CLAVIJO, M.P.; DURANTE, M.; SOSA, P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. Revista Argentina de Producción Animal Vol 33 (1): 11-20.
- JONES, C.A. 1985. C4 grasses and cereals: growth, development and stress response. 1st Ed. Wiley & Sons (Ed.). Nueva York. EUA. 417 p.
- JOUVEN, M.; CARRÉRE, P.; BAUMONT, R. 2006. Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures. 1. Model description. Grass and Forage Science, 61, 112-124.
- KINIRY, J.R.; TISCHLER, C.R.; VAN ESBROECK, G.A. 1999. Radiation use efficiency and leaf CO₂ exchange for diverse C4 grasses. Biomass and Bioenergy 17 95-112.
- KUNST, C.; LEDESMA, R.; CASTAÑARES, M.; CORNACCHIONE, M.; VAN MEER, H.; GODOY, J. 2014. Yield and growth features of *Panicum maximum* (Jacq.) var *Trichoglume* cv *Petrie* (Green Panic) under woody cover, Chaco region, Argentina. Agroforest System 88:157-171.
- LAUENROTH, W.K.; SALA, O. 1992. Long-Term forage production of North American shortgrass steppe. Ecological Applications 2:397-403.
- LUDLOW, M.M. 1985. Photosynthesis and dry matter production in C3 and C4 pasture plants, with special emphasis on tropical C3 legumes and C4 grasses. Australian Journal of Plant Physiology 12, 557-572.
- LI, Y.; HUANG, M.; HUA, J.; ZHANG, Z.; NI, L.; LI, P.; ZHU, L. 2015. Field observations of soil water content and nitrogen distribution on two hillslopes of different shape. Journal of Hydrology, 525, 694-705.
- MARTIN, G.; MARTIN-CLOUAIRE, R.; RELIER J.-P.; DURU, M. 2011. A simulation framework for the design of grassland-based beef-cattle farms. Environmental Modelling and Software 26, 371-385.
- MARTÍNEZ CALSINA, L. 2009. Compensación tamaño densidad de macollos en pasturas de *Chloris gayana* (Kunth) cv *Finecut* sometidas a diferentes regímenes de defoliación. Tesis Magister Scientie. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP, 41 p.
- MARTÍNEZ CALSINA, L.; AGNUSDEI, M.G.; ASSUERO, S.G.; PEREZ, H. 2012. Size/density compensation in *Chloris gayana* Kunth cv. *Fine Cut* subjected to different defoliation regimes. Grass and Forage Science 67(2), 255-262.

- MCCALL, D.G.; BISHOP-HURLEY, G.J. 2003. A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agricultural Systems*, 76, 1183-1205.
- MCNAUGHTON, S.J.; OESTERHELD, M.; FRANK, D.A.; WILLIAMS, K.J. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341:142-4.
- MOSER, L.; BURSON, B.; SOLLENBERGER, L. 2004. Warm-Season Grasses. En: MOSER, L.; BURSON, B.; SOLLENBERGER, L. (ed.). *American Society of Agronomy Monograph Series*. 1171 p.
- OESTERHELD, M.; DI BELLA, C.M.; KERDILES, H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological Applications* 8: 207-212.
- ORR, R.J.; PARSONS, A.J.; TREACHER, T.T.; PENNING, P.D. 1988. Seasonal patterns of grass production under cutting or continuous stocking managements. *Grass Forage Sci.* 43: 199-207.
- PARSONS, A.J.; CHAPMAN, D.F. 2000. The principles of pasture growth and utilisation. 31-89. En: HOPKINS, A. (Ed.). *Grass its production and utilisation*. Third Edition. British Grassland Society. Blackwell Scientific Publications.
- PARUELO, J.M.; LAUENROTH, W.K.; BURKE, I.C.; SALA, O.E. 1999. Grassland precipitation-Use Efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems* 2:64-68.
- RICCI, H.R. 2006. Producción primaria de cuatro gramíneas tropicales perennes cultivadas en la Llanura Deprimida de Tucumán. Tesis de Maestría. UNT, Argentina.
- RICCI, H.R.; TORANZOS, M.R. 2004. Índice de calidad de cuatro gramíneas tropicales en cuatro estados fenológicos. Congreso AAPA, 3 p.
- ROMERA, A.J.; MCCALL, D.G.; LEE, J.M.; AGNUSDEI, M.G. 2009. Improving the McCall herbage growth model. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 52, 477-494.
- STERMAN, J.D. 2000. *System Dynamics: Thinking Systems and Modeling for a Complex World*. Irwin/McGraw-Hill, Boston. 982p.
- TANURE, S.; NABINGER, C.; BECKER, J.L. 2013. Bioeconomic model of decision support system for farm management. Part I: Systemic conceptual modeling. *Agricultural Systems* 115, 104-116.
- THEIL, H.; CRAMER, J.S.; MOERMAN, H.; RUSSCHEN, A., 1970. *Economic Forecast and Policy*, 2nd ed. North-Holland Publishing Company. Amsterdam, Países Bajos.
- THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. 2007. *Mathematical Models in Agriculture. Quantitative Methods for the plant, animal and ecological sciences*. 2nd Edition, CABI, 887 p.
- TRNKA, M.; EITZINGER, J.; GRUSZCZYNSKI, G.; BUCHGRABER, K.; RESCH, R.; SCHAUMBERGER, A. 2006. A simple statistical model for predicting herbage production from permanent grassland. *Grass and Forage Science*, 61, 253-271.
- YANG, J.M.; YANG, J.Y.; LIU, S.; HOOGENBOOM, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems* 127, 81-89.

A MODIS based tool to assess inundation patterns: an example for the Paraná Delta River

DURANTE, M.¹; DI BELLA, C.M.^{2,3,4}

ABSTRACT

Wetlands are one of the most productive yet altered ecosystems due to human activities across the world. They rely largely on their water flow to provide several ecosystem functions. Then, to develop a land use plan that allows a productive use maintaining the ecological integrity it is critical to understand the flooding patterns. In that sense, the capability of remote sensors to estimate water cover for large areas at detailed spatial and temporal scales can help to develop managerial decision tools. However, the temporal and spatial variation of water components may alter its spectral properties. We studied the capability of different MODIS derived spectral indices to estimate water cover or water presence-absence. The study region was the Paraná Delta River, which is a 2 Mha wetland area. Between all the models evaluated, one based on the spectral index NDWI1 ($(\text{Red} - \text{SWIR}) / (\text{Red} + \text{SWIR})$) was the most accurate. A NDWI1 = -0.2 threshold allowed to separate those pixels with less than those with more than 60% of water cover with an accuracy of 91%. By this model, we described the flooding patterns of different landscape units of the region during the last 12 years and classified the region according to the impact of ordinary and extraordinary flooding events. We consider this information can help to improve the knowledge about the hydrodynamics, monitor the impact of some activities and develop a more sustainable regional planning.

Keywords: water surface detection, spatial and temporal dynamics, unsupervised classification, water cover changes, normalized difference water index (NDWI).

RESUMEN

Los humedales están entre los ecosistemas más productivos y, a su vez, están fuertemente alterados por el ser humano. Los múltiples servicios que proveen dependen en gran medida del flujo de agua. Por ello, para desarrollar un plan de uso de la tierra que permita un uso productivo manteniendo la integridad ecológica es fundamental comprender los patrones de inundación. En ese sentido, la capacidad de los sensores remotos de estimar la cobertura de agua en áreas grandes a escalas espaciales y temporales detalladas contribuirían a desarrollar herramientas que favorezcan la toma de decisiones. Sin embargo, la variación temporal y espacial de los componentes del agua puede alterar sus propiedades espectrales. Se estudió la capacidad de diferentes índices espectrales derivados del sensor MODIS para estimar la cobertura de agua o la presencia/ausencia de agua. La región de estudio fue el Delta del Río Paraná, un humedal de 2 millones de hectáreas.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concepción del Uruguay, Ruta Provincial 39 Km 143,5 (CD 3260), Entre Ríos, Argentina. Correo electrónico: durante.martin@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA), Instituto de Clima y Agua, Nicolás Repetto y De los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

⁴Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía, Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información.

Entre todos los modelos evaluados, uno basado en el índice espectral NDWI1 ((Rojo - SWIR) / (Rojo + SWIR)) fue el más preciso. Un valor umbral de NDWI1 = -0,2 permitió separar píxeles con menos de 60% de cobertura de agua de aquellos con más del 60% con una precisión del 91%. Mediante este modelo se describieron los patrones de inundación de diferentes unidades de paisaje de la región durante los últimos 12 años y se clasificó la región de acuerdo al impacto de los eventos de inundación ordinarios y extraordinarios. Consideramos que esta información puede ayudar a mejorar el conocimiento sobre la hidrodinámica, monitorear el impacto de algunas actividades y desarrollar una planificación regional más sostenible.

Palabras clave: *detección de agua superficial, dinámica espacial y temporal, clasificación no supervisada, cambios en la cobertura de agua, índice de diferencia normalizada del agua (NDWI).*

INTRODUCTION

Wetlands are saturated with water, either permanently or seasonally and present structural and functional properties different from other ecosystems. They regulate water and biogeochemical cycles and provide several ecological services like water purification, flood control and biodiversity preservation, among others (Bucher, 1999; Bedford *et al.*, 2001; Keddy, 2010). Wetlands are the more altered ecosystem on Earth due to human activities (Costanza *et al.*, 1997; Mitsch and Gosselink, 2000; Dudgeon *et al.* 2006). In many cases, the productive use of wetlands is based on its transformation to terrestrial ecosystems (e.g. embankments), which alters drastically their hydrological functioning and thus its capacity to provide ecological services (Bunn and Arthington, 2002; Mitsch, 2014).

The Delta of the Paraná River surrounds the most populated area of Argentina. More than fifteen million people benefit from its ecological services such as water supply and recreation, then, environmental conflicts product of its management are clearly visible by society. Extensive farming is the most traditional productive activity. However, in the last two decades, livestock has intensified and new activities appeared such as forestry, agriculture or urbanization, among others. These new activities are often accompanied by infrastructure projects that alter the hydrodynamics of the system (Donadille *et al.*, 2010). Even though wetlands are resilient systems (Quintana *et al.*, 2008), the new activities already caused environmental problems (as the great fires of 2008; Sione *et al.*, 2008). It is necessary to define levels of human intervention that preserve the ecological integrity of the systems for which it is necessary to have information about its hydrodynamic process.

Similar to other wetlands of the world, structure and functioning of the Paraná Delta varies widely in space and time (Bunn and Arthington, 2002). Alternating periods of high and low water and occurrence of extraordinary flooding events are part of the natural dynamics that help to maintain their ecological integrity (Bó and Malvárez, 1999). In turn, the interaction between hydrological and geomorphological processes defines a wide variety of environments with its own functional characteristics (Malvárez, 1999). Currently, there are regional flooding forecasting systems (provided by the Water National

Institute) and static maps of landscape and vegetation units (Malvárez, 1999; Salvia *et al.*, 2007, Morandeira *et al.*, 2011). However, to deal with such diverse ecosystems, a tool that provides timely information on which converge detailed spatial and temporal resolutions is needed. In that sense, there are studies of vegetation and inundation dynamics based in NDVI time series (Salvia, 2010; Borro *et al.*, 2014).

Remote sensors allow carrying out studies of large areas at detailed spatial and temporal scales. There are some products specifically developed to register wetlands flooding. Some of these products are the Small Water Bodies monitoring product (Bartholomé, 2008) and the NASA Earth System Data Record of inundated wetlands (NASA JPL wetland, 2013), among others. However, none of these systems meet simultaneously the three desired attributes required for this kind of ecosystems: fine temporal and spatial scales and near real time availability. Papers describing the regional hydrodynamics agree that the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor, on board on AQUA/TERRA platforms, is the most suitable for this kind of studies (Brakenridge and Anderson, 2006; Sakamoto *et al.*, 2007; Islam *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2014; Pekel *et al.*, 2014). Some models based on different spectral indices derived from MODIS have been proposed (Sakamoto *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2014; Pekel *et al.*; 2014). These indices rely on the absorbance of water at the near infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR) bands of the electromagnetic spectrum (Brakenridge and Anderson, 2006). As some components of water that vary spatially and temporally (e.g. phytoplankton, or dissolved organic matter) affect spectral properties (Arst, 2003; Pekel *et al.*, 2014) it is necessary to assess which indices are best suited for the study region, where water and sediment pulses can influence the turbidity and spectral properties of water (Minotti and Borro, 2011).

The objective of this work was to develop a water cover estimation model based on MODIS information to describe the inundation patterns of the Paraná Delta. First, we evaluated the accuracy of different vegetation indices to estimate water cover under different water scenarios. Then, the best model was used to describe the inundation patterns for a period of 12 years every 16 days. This provides a tool towards a more sustainable production in the Paraná Delta Region and a base reference for other similar areas of the world.

MATERIALS AND METHODS

2.1 Study area

The Paraná Delta covers an area of around 17500 km² (Malvárez, 1997; figure 1). It is the terminal portion of the Paraná River Basin, which is the second largest in South America (2.6 Mkm²). The hydrology of the Paraná Delta is mainly influenced by the hydrological regime of the Paraná River, which depends on precipitations that are higher during summer months. The hydrology of the Paraná Delta is also influenced by the hydrological regimes of the Uruguay and Gualeguay rivers and by astronomical or meteorological tides of the Río de la Plata River, which affect different sectors (Mujica, 1979, Quintana and Bó, 2011). Local rainfall is less important, and affects only those sectors not influenced by flooding from rivers (Quintana and Bó, 2011).

At regional scale, different landscape units are associated to topography and hydrological regime (Malvárez, 1997; figure 1). Landscape units share a common heterogeneity pattern with uplands at the perimeter of the islands, medium lands and frequently flooded lowlands, although their proportion varies between units. The unit A is dominated by non-vegetated lagoons surrounded by semi-permanently flooded and meander plains. The unit B is dominated by NO-SE rivers surrounded by uplands, and lagoons su-

rounded by marshes. The unit C is dominated by parallel sand ridges separated by depressions into three units: ridges with grasslands (C1), ridges with forests (C2), and ridges with forests and streams that drain to the Paraná River (C3). The unit D is dominated by a very flat semi-permanently flooded plain with lagoons and streams. The unit E presents uplands due to meanders, whose turns enclose permanent lagoons. The unit F is an extensive and low drained flood-plain formed during the Holocene marine ingestion. The unit G is formed by ancient deltas of the Nogoyá, Clé and Gualeguay rivers. The H unit is formed by the Ibicuy Island that was included in the region after sea regression. The lower delta unit (which includes the Paraná and Uruguay River units) is the only strictly deltaic region, with a bidirectional hydrological regime. A great proportion of this unit was drained for forestation.

2.2 Water cover estimation

As ground truth we used 30 m spatial resolution water presence-absence maps developed by Sepulcri *et al.* (2012) from eight LANDSAT images from different water scenarios defined from the annual average flow of the Paraná River: low water: 10/01/2009, 02/05/2009, normal: 23/02/2003, 25/05/2003, 04/03/2005, 05/04/2005 and high water: 29/05/2007, 12/01/2010. These maps were calculated by photointerpretation following a non-supervised "isodata" classification (maximum 30 classes, Ball and Hall 1965) based on three normalized vegetation indices derived from LANDSAT images: NDVI, NDSI and NDWI, based on the 4 (750-900 nm) and 3 (630-690 nm), 5 (1550-1750 nm) and 4, and 2 (525-605 nm) and 7 (2090-2350 nm) LANDSAT bands, respectively. To assess accuracy of LANDSAT based maps we compared them with ten 3 x 3 km² high resolution images from close dates (less than 10 days) and where water height remained constant. Images were extracted from Google Earth Pro and classified into water presence-absence by photointerpretation. Considering Google Earth images as ground truth, mean (\pm standard deviation) underestimation and overestimation errors of LANDSAT based maps were 5.2% (± 4.5) and 2% (± 1.5) respectively. For image processing we used the GRASS software (<http://grass.osgeo.org/>).

To merge the ground truth (LANDSAT water presence-absence maps) and MODIS images we overlapped the 250 m MODIS grid with the water presence-absence maps and calculated the proportion of LANDSAT pixels classified as water inside each MODIS pixel. To avoid confounding temporal and spatial variation we selected only those pixels that were within 6 water cover ranges (0-10, 10-30, 30-50, 50-70, 70-90, 90-100%) for the 8 dates. They covered 24% of the area (21% corresponded to the range 0-10, 2.5% to the range 90-100 and 0.5% corresponded to the 4 intermediate ranges). We evaluated as response variables either water cover inside MODIS pixels (sub-pixel resolution) or water presence-absence (pixel resolution). To define water presence-absence we evaluated different pixel water proportion thresholds.

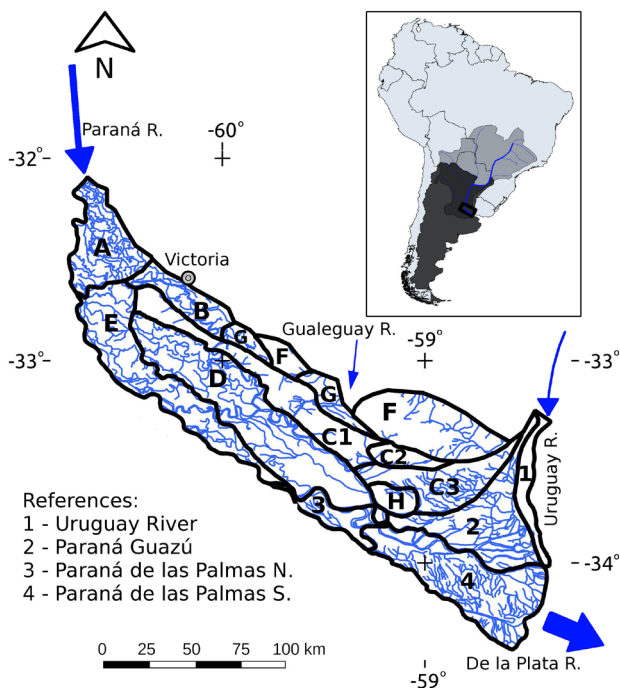


Figure 1. Map of the Paraná Delta River Region, with the landscape units defined by Malvárez (1999, indicated with letters and numbers). Blue arrows indicate the main rivers that affect the hydro-patterns of the Paraná Delta (their size is proportional to the flow of the rivers). The city of Victoria is also marked. Top-right map: location of the study region (rectangle) within Argentina (dark gray) and the rest of South America (light gray). The Paraná River is marked with a blue line and its watershed is shadowed.

As water cover or presence estimators we evaluated several water related spectral indices previously used to assess water, and the color components expressed in the HSV space (Hue, Saturation and Value) derived from MODIS bands (table 1). According to the HSV model, H and S represent the chromaticity, while V represents the brightness. H is the perceived color and is expressed in degrees, where 0° or 360° represent the red, 120° the green, and 240° the blue colors. In turn, S express how far from the grey is a color at a given V (Pekel *et al.*, 2014). These indices are mainly based on the liquid water absorption features in the infrared range (around 970, 1200, 1450 and 1950 nm, Curran 1989, Asner 1998). We also evaluated an index based on temperature (i.e. the diurnal land surface temperature difference, based on the MODIS 11A2 product, Wan *et al.*, 2002), but due to it lower spatial resolution (1 km), and not better performance, we decided not to show the results.

To calculate water cover or presence estimators, we obtained the MODIS pixel values for the required bands and for all the studied area from the MODIS 16 days composite that included the eight LANDSAT images defined above. The 250 m spatial resolution bands (Red and NIR) were obtained from the MOD13Q1 16 days composite, while the

500 m spatial resolution bands (Blue, NIR, NIR2 and SWIR) were obtained from the MOD09A1 8 days composite and were resampled to 250 m with the nearest neighbor method. All the MODIS pixels for the eight dates presented “Good Data” according to the “pixel reliability” layer, which contains ranked values describing overall pixel quality.

To evaluate the best water cover or presence estimator we developed regression and tree models with the R software (R Core Team 2013). For water cover estimation (sub-pixel resolution), regression models included simple or multiple estimators and linear or non-linear relationships. As there can be a saturation response between water cover and the spectral indices used as estimators (Tucker, 1977) linear models included thresholds of the estimators. The optimal number of predictors for multiple regression models was assessed by the Bayesian Information Criterion (BIC. Schartz, 1978) using the “regsubsets” function of the leaps “R” package (Lumley 2017). The BIC penalizes models by the number of parameters to reduce over-fitting. Non-linear logistic models were performed with the “glm” function of the MASS “R” package (Venables and Ripley, 2002). Tree models were performed with the “tree” function of the Party “R” package (Hothorn *et al.*, 2006). They included all the

| Spectral indices | Calculated as | Source |
|--|--|-------------------------------|
| Normalized Difference Vegetation Index | $NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$ | Tucker, 1979 |
| Enhanced Vegetation Index | $EVI = 2.5 \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 Red - 7.5 Blue + 1)}$ | Huete <i>et al.</i> , 2002 |
| Normalized Difference Water Index 1 | $NDWI 1 = \frac{(Red - SWIR)}{(Red + SWIR)}$ | Sakamoto <i>et al.</i> , 2007 |
| Land Surface Water Index | $LSWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$ | Sakamoto <i>et al.</i> , 2007 |
| Normalized Difference Water Index 2 | $NDWI 2 = \frac{(NIR - NIR2)}{(NIR + NIR2)}$ | Gao <i>et al.</i> , 1996 |
| Value | $V = \max(MIR, NIR, Red)$ | |
| Saturation | $S = \frac{(V - \min(MIR, NIR, Red))}{V}$ | |
| Hue | $H = \begin{cases} 0 & \text{if } V = \min(MIR, NIR, Red) \\ \left(60 \frac{(NIR - Red)}{(V - \min(MIR, NIR, Red))} + 360 \right) \bmod 360 & \text{if } V = MIR \\ 60 \frac{(Red - MIR)}{(V - \min(MIR, NIR, Red))} + 120 & \text{if } V = NIR \\ 60 \frac{(MIR - NIR)}{(V - \min(MIR, NIR, Red))} + 240 & \text{if } V = Red \end{cases}$ | Pekel <i>et al.</i> , 2014 |

Table 1. Spectral indices and HSV models utilized for the water cover estimation models. NIR is the surface reflectance value in the near infrared (841-876 nm, MODIS Band2), Red (620-670 nm, Band 1), Blue (459-479 nm, Band 3), NIR2 (1230-1250 nm, Band 5), and SWIR is the short-wave infrared (1628-1652 nm, Band 6), and MIR is the medium infrared (2105–2155 nm, Band 7).

estimators with 2, 4 and 8 final nodes. We did not include a higher number of final nodes because they lead to over-fitting errors. For water presence-absence estimation (pixel resolution), we used tree models. To evaluate accuracy of both water cover and water presence-absence models we used a re-sampling method. First, we built the above mentioned models based on 50 pixels randomly selected from each of four water cover ranges (0-25, 25-50, 50-75 and 75-100%) and date (N = 1600 pixels). Second, we tested those models with 1600 pixels randomly selected into the whole image. We used the coefficient of determination R^2 to evaluate model fit, and root mean square error (RMSE) and Kappa index to evaluate model accuracy. We recorded the values of the evaluators for each resampling (N = 1000) and finally, we calculated mean and standard deviation values to compare and select the best model.

2.3 Inundation patterns assessment

After choosing the best model, we characterized the inundation patterns of the study area. The study period extended from January 2001 to December 2012 and integrated 276 16-days MODIS images. We only included data for pixels with "Good Data" according to the pixel reliability band. Besides, 16 images with a high proportion (>30%) of low quality pixels were completely excluded; 3 images for 2012 and between 0 and 2 for the rest of the years. During the study period there were two extraordinary flooding events that exceeded evacuation levels on the riparian cities. The 2007 event extended from March to September (12 MODIS scenes), while the 2010 event extended from July 2009 to September 2010 (25 MODIS scenes).

With the remaining 260 "good quality" MODIS scenes, we generated water presence-absence maps to characterize

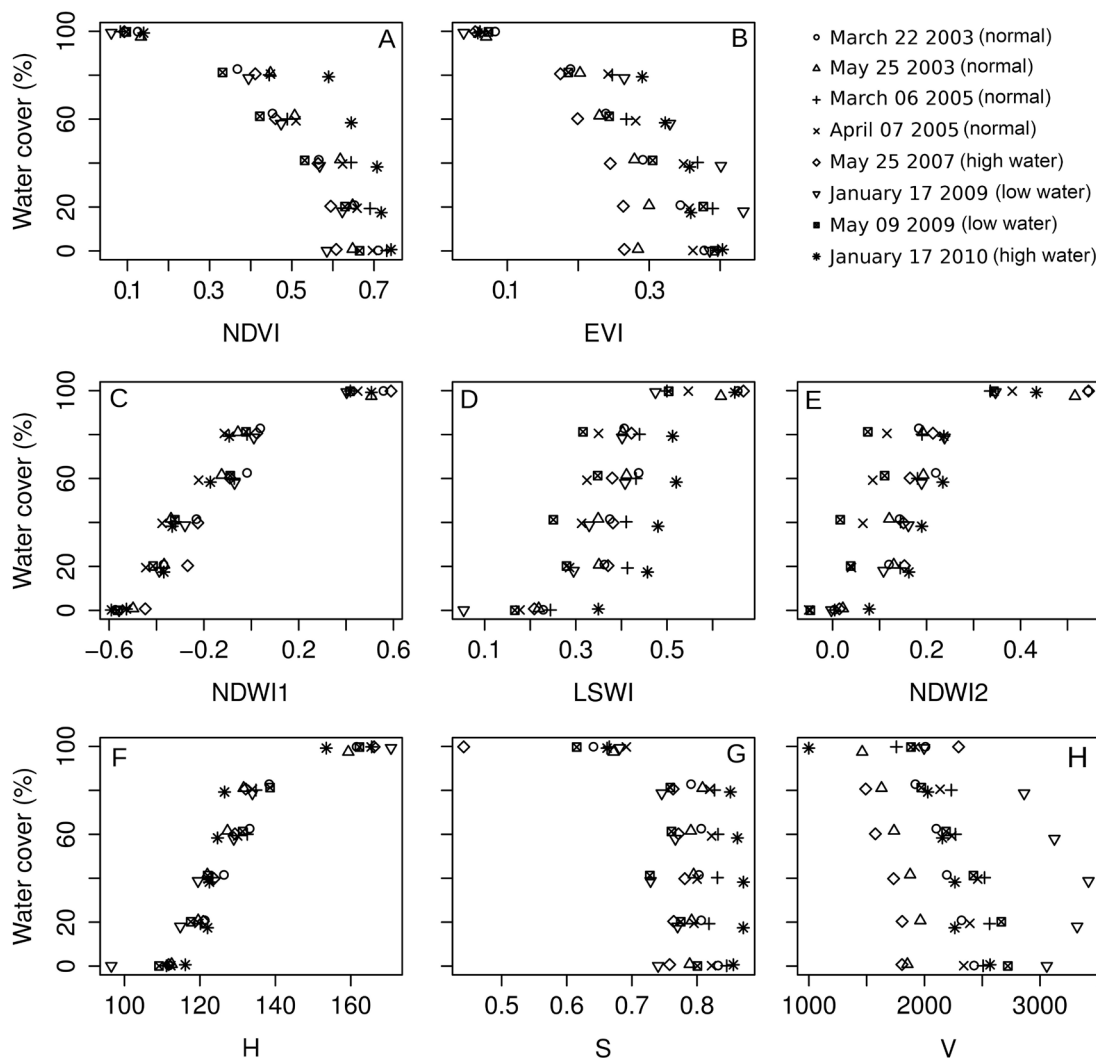


Figure 2. Relationship between water cover inside MODIS pixels derived from LANDSAT images and MODIS spectral indices. Each point represents the average value of all the pixels inside each water cover range (0-10, 11-30, 31-50, 51-70, 71-90, 91-100%) and date. Legend in the top left indicates MODIS composite dates containing LANDSAT images; each date is represented by a different symbol.

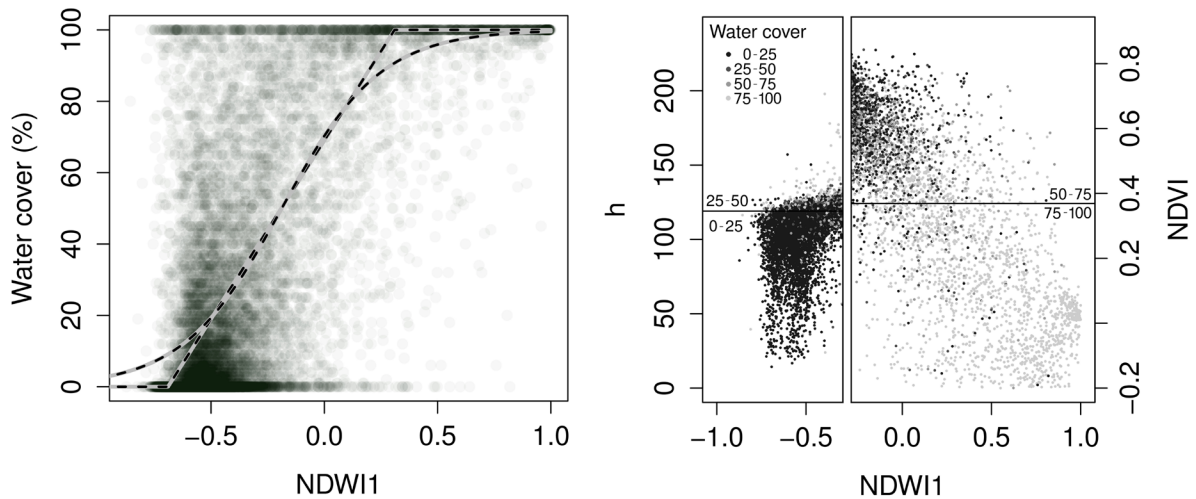


Figure 3. A) Relationship between water cover inside MODIS pixels and NDWI1 for 20000 randomly selected pixels. Darker colors indicate a higher density of pixels. Dashed lines represent the best fit lines for linear ($\text{Water Cover} = 66 \times \text{NDWI1} + 57$) and sigmoid ($\text{Water Cover} = [\exp(0.86 + 4.6 \times \text{NDWI1})] / [1 + \exp(0.86 + 4.6 \times \text{NDWI1})]$) models. B) Relationship between H (left) and NDVI (right) with NDWI1 for 20000 randomly selected MODIS pixels. Color intensity indicates water cover inside pixels. Partition of the x axis and horizontal lines indicate the threshold values of the tree model separating water cover levels (first node: $\text{NDWI1} = -0.29$, second node: $H = 119$ and third node: $\text{NDVI} = 0.37$).

the inundation patterns by two ways. The first way consisted on overlapping water presence-absence maps with the landscape units' map (Malvárez, 1999; figure 1). Then, we described average water cover and intra- and inter-annual variation for each landscape unit. The second way consisted on developing a classification based on the water presence-absence maps and relating water cover with river height. The classification was done in three steps. First step, we obtained the two extreme classes which included those pixels never classified as water and those classified as water most of the dates ($> 80\%$ of the MODIS scenes). Second step, we obtained three classes that included pixels classified as water only during the extraordinary flooding events: only during 2007, only during 2010 or in both events. Third step, we developed an unsupervised classification based on water presence for the remaining area. We performed a principal component analysis based on water presence of the 223 MODIS scenes that did not include extraordinary flooding events to reduce data dimensionality (GRASS `i.pca` command). Then, with the firsts three axis, that explained 43% of the variation, we obtained five classes by an "isodata" clustering algorithm (GRASS `i.cluster` and `i.maxlik` commands). Once obtained the classification, we evaluated the relationship between water height of the Paraná river at the location of Victoria (figure 1) and the percentage of pixels classified as water for a 7×7 moving window as a first approach to relate water cover with a variable related to hydrodynamics process.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Water cover estimation based in MODIS

Water cover into MODIS pixels was associated to spectral indices (figure 2). As described by Guershman *et al.*

(2011), NDVI and EVI presented a non-linear negative relationship with water cover inside pixels (figures 2 A-B). It was observed a high variability between dates, especially at low water cover values, which could be associated to the sensibility of both indices to changes in the vegetation cover and status (Baret and Guyot, 1991; Gamon *et al.*, 1995; Van Leeuwen and Huete, 1996; Huete *et al.*, 2002), which have a higher weight when water cover is low. This pattern shows the limitations of both indices for the objective of this work (to estimate water cover), but also warns about their limitation to estimate aspects of vegetation (e.g. fraction of incoming radiation absorbed by the vegetation, primary productivity) on systems of highly variable water cover. In these systems, water level and the amount of water above and below water highly affect the spectral signal (Beget *et al.*, 2013) and other spectral indices can be more accurate (i.e. the Visible Atmospheric Resistant Index, Gosh *et al.*, 2016).

From the three indices previously used to detect water (figure 2 C-E), the NDWI1 was the most closely related with water and showed an asymptotic relationship. The NDWI1 was less variable between dates than the NDVI and the EVI, probably associated to the higher sensitivity to water cover (Beget *et al.*, 2013) and lower sensitivity to vegetation status of the shortwave infrared compared to the near infrared (Curran, 1989; Asner, 1998).

Between the three components that define the color (figure 2 F-H), the H index (associated to the perceived color) was the closely related to water cover. As NDWI1, the relationship between water cover and H was asymptotic. However, the range in which H remained sensitive to water cover was more limited, which reduced the capacity of H to

discriminate intermediate water cover levels. At maximum water cover, H was around 160° which means higher relative values of near infrared and red bands compared to medium infrared and coincides with the higher water absorption in the medium infrared (Beget *et al.*, 2013). The V associated to brightness captured better the difference between dates than between water cover ranges. This could be due to factors that affect the complete scene like sun and observation angles, or atmospheric effects rather than land cover type (e.g. Pekel *et al.*, 2014).

The capacity to predict water cover of the linear with thresholds, non-linear, and tree models was similar to that found in previous works (Huang *et al.*, 2014) although higher errors were observed at intermediate water cover levels (figure 3, table 2). Predictive accuracy was not improved by increasing the complexity of models. Including other indices in the regression models based on NDWI1, or more than four final nodes in tree models did not improve model accuracy significantly ($p > 0.5$). The coefficient of determination (R^2) and the prediction error (RMSE) between observed and predicted values was not different ($p > 0.01$) between models (table 2). However, the Kappa coefficient was slightly higher ($p=0.09$) for the sigmoid than for the tree model, but was not different from the linear with thresholds model. This difference was due to the higher number of pixels in the extreme water cover ranges where sigmoid and linear with thresholds models were more accurate.

Water presence or absence estimation models, even though resigned sub-pixel resolution, improved the predictive accuracy compared to water cover estimation models. Due to the higher simplicity and accuracy of the water presence-absence estimation models we considered that they were more adequate to assess regional inundation patterns (see section 3.2). The red and SWIR bands, combined in the NDWI1, capture most of the information of water. The predictive accuracy of models based in a NDWI1 threshold was not significantly improved by models including a higher number of estimators and was similar to that obtained in other studies using more complex decision rules (Sakamoto *et al.*, 2007; Ordoyne *et al.*, 2008; Guershman *et al.*, 2011; Pekel *et al.*, 2014).

Water cover threshold to classify a MODIS pixel as water or non-water affected predictive accuracy and bias. Un-

| | Linear | Sigmoid | Tree |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| R^2 | 0.62 (0.04) | 0.63 (0.04) | 0.60 (0.04) |
| RMSE | 22.2 (1.30) | 22.3 (0.97) | 22.4 (0.91) |
| k | 0.45 (0.05) | 0.47 (0.03) | 0.44 (0.04) |

Table 2. Water cover classification accuracy for the three kind of models: linear with lower an upper threshold, sigmoid and tree with four final nodes. Accuracy was assessed by the coefficient of determination (R^2), the prediction error expressed by the root mean square error (RMSE) and the Kappa coefficient (k). To calculate k, water inside MODIS pixels was aggregated into four ranges (0-0.25, 0.25-0.50, 0.50-0.75 and 0.75-1.0). Values represent the mean (and standard deviation) for 1000 re-samples.

derestimation and overestimation errors decreased as the threshold increased, but the overestimation was higher at low threshold values and decreased more steeply than the underestimation error (figure 4). The Kappa index increased monotonically until threshold values around 60% (which coincides with a NDWI1 of -0.2), where underestimation and overestimation errors were equilibrated. An optimal threshold of water cover between 50% and 80% was also found in other wetland region (Ticehurst *et al.*, 2015). Besides being equilibrated in underestimation and overestimation errors, a 60% of the water cover is enough to affect the possible land management decisions. In forest with 40% of tree cover, a 60% of water cover would mean that the understory is completely covered with water.

3.2 Inundation patterns of the Paraná Delta River

The estimation of water presence-absence based on NDWI1 every 16 days for 12 years showed differences between landscape units (Malvárez, 1999) on mean water cover and on its temporal variation (figure 5). We aggregated landscape units into three groups according to inundation patterns: 1) those with high within year water cover variation (standard deviation $> 2.5\%$, units A, B, F and G, figure 5 A), 2) those with high within year water cover variation mainly in years with extraordinary flooding (water cover during flooding more than 5 times higher than during normal years, units D, E, H and Paraná de las Palmas N., figure 5 B), and 3) those having low water cover variation within and among years Delta (Paraná de las Palmas S., Paraná Guazú and Uruguay River, figure 5 C). Units of the first group were located at the north-east portion. From these, the unit B where temporal lagoons are more frequent (Malvárez, 1999; Borro *et al.*, 2011) was the only one that decreased water cover during the 2008 drought. Units of the second group were located at the south-east. The high

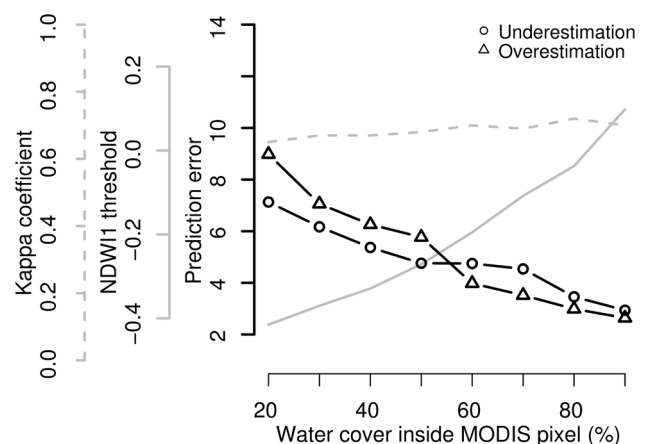


Figure 4. Changes in prediction error (black lines), NDWI1 threshold (gray line) and Kappa coefficient (dotted gray line) for water presence or absence estimation models based on NDWI1 according to the water cover inside a pixel MODIS used to define the pixel as water.

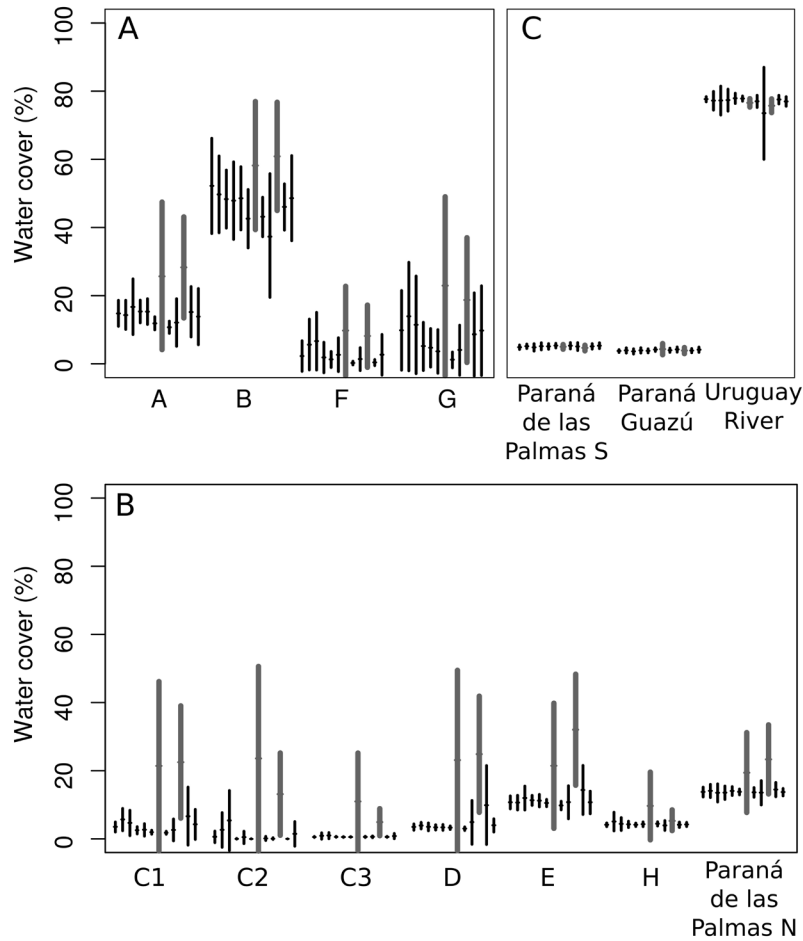


Figure 5. Mean +/- intra-annual standard deviation for water cover for each year (2001-2012) and vegetation unit (Malvárez, 1999). Years with extreme flooding events (2007 and 2010) are marked in thick gray line. Vegetation units are divided into three plots according to its location: A) north-east (units A, B, F and G), B) south-east (units C, D, E, H and Paraná de las Palmas N.) and C) lower Delta (Paraná de las Palmas S, Paraná Guazú and Río Uruguay).

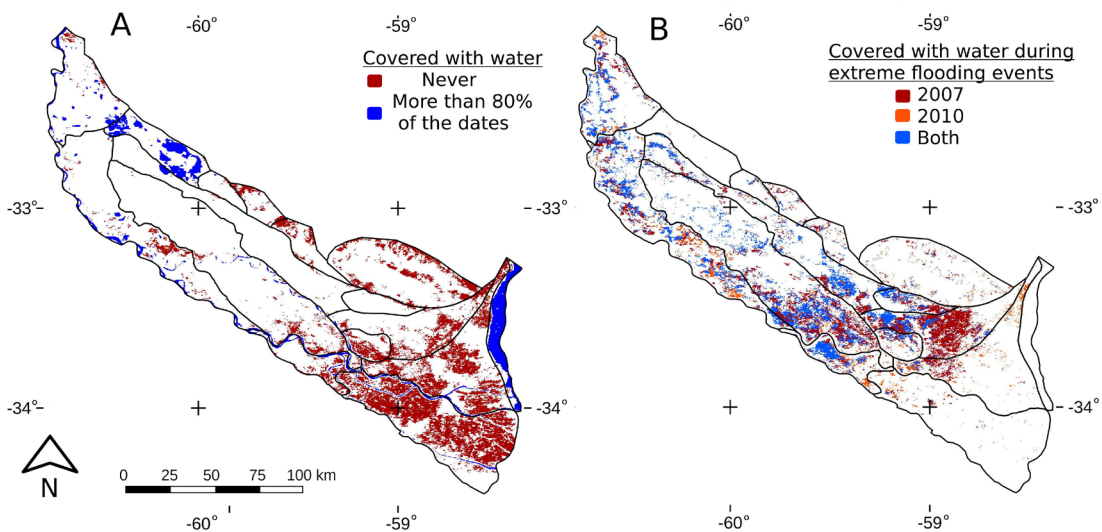


Figure 6. Maps showing the two extreme classes (A) and the three classes representing areas covered with water only during extreme flooding events obtained (B). The area never covered with water and more than 80% of the dates was 4695, 1632 km², while the area covered with water only during 2007, 2010 and during both years was 1486, 480 and 1406 km², respectively.

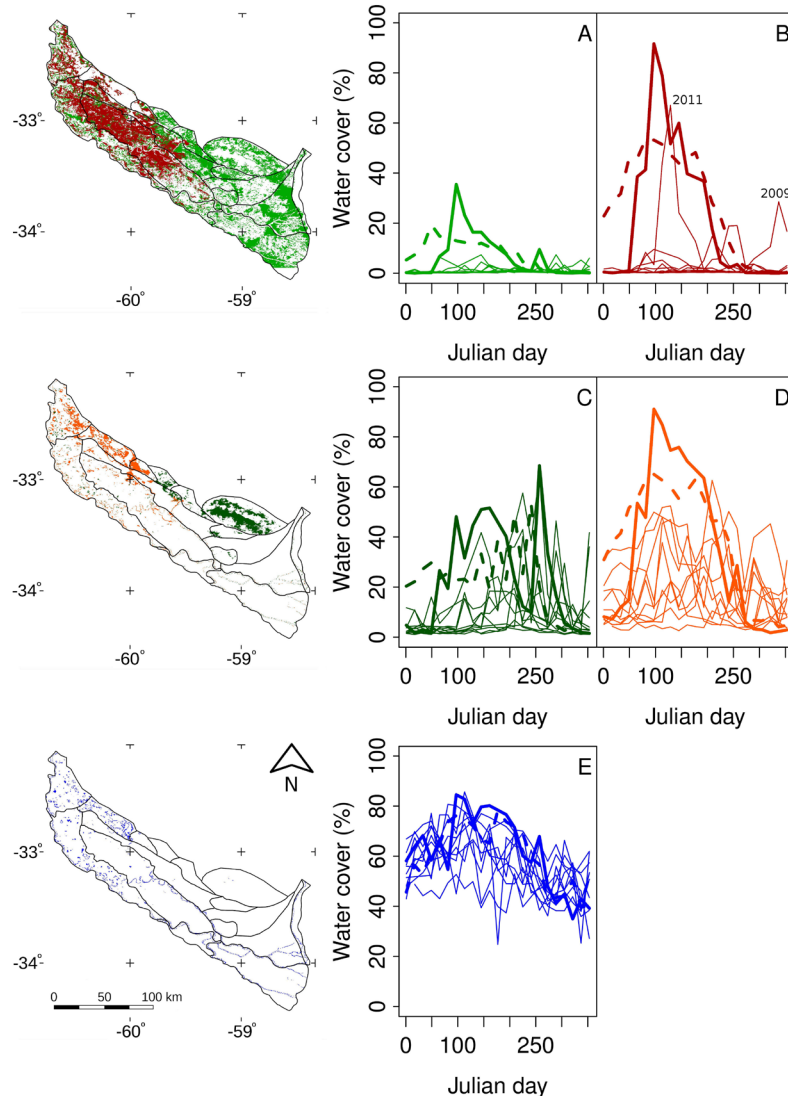


Figure 7. Left) Maps showing the five classes that varied its water cover not only during extraordinary flooding events obtained in the classification based on water cover maps. Right) Water cover along the year for each of the twelve years (2001-2012) and class (A, B, C, D and E). Years with extreme flooding events are marked with tick lines (2007 full and 2010 dashed). The area covered by the classes A, B, C, D and E was 6352, 3996, 1067, 1061 and 696 km² respectively.

variation during flooding years is particularly evident in the C3 unit, which is the only that drains to the Uruguay River. Units of the third group were located at the Lower Delta. They are influenced by the Paraná and Río de La Plata Rivers. Extraordinary flooding events were not evident on these units. Instead, a flooding event of the Uruguay River that occurred during the 2009 is evident in the *Uruguay River* unit. The proportion of different vegetation units, which are distributed and highly fragmented across the region (Salvia *et al.*, 2007) could explain this inundation patterns.

The land cover classification based on water presence or absence maps showed the strong variability of the study area (figures 6 and 7). Extreme classes (figure 6 A) covered only 27% of the area; 21% was never covered by

water while 6% was covered by water more than 80% of the dates. The 3 classes that only included water during the extraordinary flooding events covered 14% of the area (figure 6 B). In contrast, most of the area (58%) was covered by pixels that presented water not only during extraordinary flooding events, which were aggregated on five classes (figure 7). Classes that presented water a few dates moreover extraordinary flooding events (classes A and B) covered the larger area. The Class A covered mainly the Lower Delta and the right margin of the Paraná River, while the Class B covered the central zone of the Medium Delta. The Class B showed higher sensitivity to flooding events than the Class A, expressed by an earlier incidence of the 2010 flooding (that begins at the end of 2009), and a larger water cover during 2011. Classes C, D and E presented a larger mean

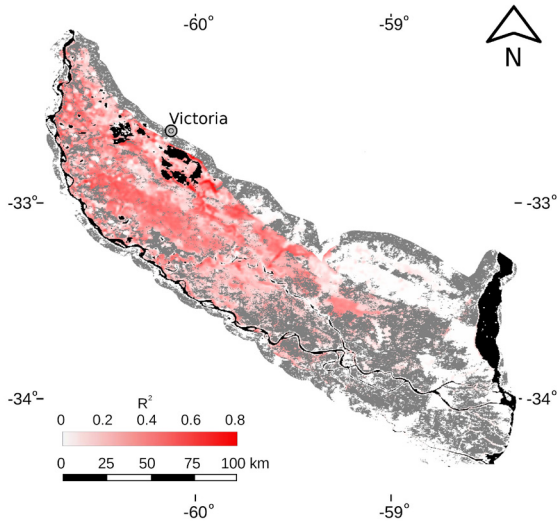


Figure 8. Relationship between time series of water height of the Paraná river at the location of Victoria and the percentage of pixels classified as water for a 7x7 pixels moving window. Red saturation indicates the coefficient of determination (R^2) of linear models between water height and water cover of each 7x7 pixels window. Areas never covered by water and more than 80% of the dates are marked in gray and black respectively.

water cover. Classes C and D were located at the north of the Lower and Medium Paraná, respectively, while the Class E was spread across all the region, associated to water courses. On class C, there were several peaks similar to the extraordinary flooding events, but there were also periods where water cover was near to zero. In contrast, on Class D, although both extraordinary flooding events were more notorious, water cover was less frequently near to zero. Class E presented the higher mean water cover. Always at least 30% of the pixels were covered by water and extraordinary flooding events were not notorious.

Some studies showed an association between time series of water area and water level in lakes (Zhu *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2015) and marshlands (Ordoyne *et al.*, 2008). Similarly, we found a correlation between water level of the Paraná River at Victoria and water cover (figure 8). Particularly for the classes D, B and A from this work (figure 7), water level at Victoria explained, in average, 52%, 47%, and 30% of the variations in water cover respectively. This analysis allowed to identify those areas more linked to the Paraná River level fluctuations.

CONCLUSIONS

A tool that provides frequent and spatially explicit water cover estimations was developed and used. Many water related spectral indices were evaluated. Even though none of them accurately estimated water cover inside pixel MODIS (sub-pixel resolution), water presence or absence (pixel resolution) was accurately estimated by a model based on a MODIS NDWI1 threshold, which accurately separated

pixels with less and more than 60% of water cover. More complex models did not improve accuracy.

By using the model, it was possible to map water cover in the region every 16 days for 12 years at 5 ha spatial resolution. Mean water cover and its temporal variation of previously defined landscape units (Malvárez, 1999) was assessed. Besides, a new classification based on the frequency and incidence of flooding events was developed and related to water level. These results demonstrated the utility of MODIS time series to characterize the hydrological patterns of the Paraná Delta. Further, the availability of new high-spatial and -temporal resolution radar and optical sensors (i.e. the Sentinel mission) can help to describe dynamics at a finer grain scale.

Spatially explicit water cover estimation can complement existing static information and in situ and monitoring stations. For example, the relationship of water cover with water level at different locations could improve flooding alert systems. Also, the combination of water cover and forage productivity estimations could allow having an idea of the temporal variation in the regional carrying capacity due to changes in the usable area. Besides, as this information can be delivered at almost real time, it could help for decision making during extraordinary flooding events.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Gabriela Sepulcri and Eduardo Flamenco for providing Landsat images and the project INTA "Contribución al fortalecimiento del desarrollo del Delta Entrerriano". Four anonymous reviewers provided valuable suggestions for the improvement of the manuscript.

REFERENCES

- ARST, H. 2003. Optical properties and remote sensing of multicomponential water bodies. Springer Science (Book), Series: Springer Praxis Books, Subseries: Marine Science and Coastal Management, XII.
- ASNER, G.P. 1998. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64, 234-253.
- BALL, G.H.; HALL, D.J. 1965. *Isodata: a method of data analysis and pattern classification*, Stanford Research Institute, Menlo Park, United States. Office of Naval Research. Information Sciences Branch.
- BARET, F.; GUYOT, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, 161-73.
- BARTHOLOMÉ, E. 2008. Monitoring the environment in Africa: The VGT4Africa and the AMESD projects. *Proceedings of the 2nd International Workshop on "Crop and Rangeland Monitoring in East Africa"*, Nairobi 27-29 March 2007. 303-319 pp.
- BEDFORD, B.L.; LEOPOLD, D.J.; GIBBS, J.P. 2001. Wetland ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*. 5, 781-804.
- BEGET, M.E.; BETTACHINI, V.A.; DI BELLA, C.M.; BARET, F. 2013. SAILHFlood: A radiative transfer model for flooded vegetation. *Ecological Modelling*, 257, 25-35.

- BÓ, R.F.; MALVÁREZ, A.I. 1999. Las inundaciones y la biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre. In: MALVÁREZ, A.I. (Ed.). Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay.
- BORRO, M.; PUIG, A.; MINOTTI, P.; KANDUS, P. 2011. Lagunas someras de la porción media del Delta del Paraná. In: KANDUS, P.; MINOTTI, P.; BORRO, M. (Eds.). Contribuciones al conocimiento de los humedales del Delta del Río Paraná. UNSAM Edita, Buenos Aires. 12-14 pp.
- BORRO, M.M.; MORANDEIRA, N.S.; KANDUS, P.; SALVIA, M.M. MINOTTI, P.G.; PERNA, P. 2014. Mapping shallow lakes in a large South American floodplain: a frequency approach on multi-temporal Landsat TM/ETM data. *Journal of Hydrology* 512: 39-52.
- BRAKENRIDGE, G.R.; ANDERSON, E. 2006. MODIS-based flood detection, mapping, and measurement: the potential for operational hydrological applications. In: MARSALEK, J. (Eds.). *Transboundary Floods: Reducing the Risks Through Flood Management*, Springer-Verlag, Netherlands, 16 p.
- BUCHER, E.H. 1999. Amenazas. In: CANEVARI, P.; BLANCO, M.A.; BUCHER, E.H. (Eds.). *Los beneficios de los humedales de la Argentina. Amenazas y propuestas de soluciones*. Wetlands Internacional. Buenos Aires, Argentina, 45-52 pp.
- BUNN, S.E.; ARTHINGTON, A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492-507.
- CHEN, L.; JIN, Z.; MICHISHITA, R.; CAI, J.; YUE, T.; CHEN, B.; XU, B. 2014. Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics*, 24, 17-26.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- CURRAN, P.J. 1989. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 30, 271-278.
- DONADILLE, G.; POSTMA, J.; PROL, L.; VIZIA, C. 2010. Producciones, endicamientos y medios de vida en el Delta del Paraná. In: BLANCO, D.; MÉNDEZ, F. (Eds.). *Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: Situación, efectos ambientales y marco jurídico*. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales. Bs. As. Argentina, 65-81 pp.
- DUDGEON, D.; ARTHINGTON, A.H.; GESSNER, M.O.; KAWABATA, Z.I.; KNOWLER, D.J.; LÉVÉQUE, C.; SULLIVAN, C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81, 163-182.
- GAO, B. 1996. NDWI A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water From Space. *Remote Sensing of Environment*, 266, 257-266.
- GAMON, J.A.; FIELD, C.B.; GOULDEN, M.L. 1995. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecological Applications*, 5, 28-41.
- GHOSH, S.; MISHRA, D.R.; GITELSON, A.A. 2016. Long-term monitoring of biophysical characteristics of tidal wetlands in the northern Gulf of Mexico: a methodological approach using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 173, 39-58.
- GUERSHMAN, J.P.; WARREN, G.; BYRNE, G.; LYMBURNER, L.; MUELLER, N.; VAN DIJK, A. 2011. MODIS-based standing water detection for flood and large reservoir mapping: algorithm development and applications for the Australian continent. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship Report, Canberra.
- HOTHORN, T.; HORNIK, K.; ZEILEIS, A. 2006. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(3), 651-674.
- HU, Y.; H, J.; DU, Y.; HAN, P.; WANG, J.; HUANG, W. 2015. Monitoring wetland vegetation pattern response to water-level change resulting from the Three Gorges Project in the two largest freshwater lakes of China, *Ecological Engineering*, 74, 274-285.
- HUANG, C.; PENG, Y.; LANG, M.; YEO, I.-Y.; MCCARTY, G. 2014. Wetland inundation mapping and change monitoring using Landsat and airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 141, 231-242.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.
- ISLAM, A.K.; BALA, S.K.; HAQUE, A. 2009. Flood inundation map of Bangladesh using MODIS surface reflectance data. *Proceedings of the 2nd International Conference on Water & Flood Management*, Dhaka, Bangladesh.
- KEDDY, P.A. 2010. *Wetland ecology, principles and conservation*. Cambridge University Press, New York.
- LUMLEY, T. based on Fortran code by Alan Miller. 2017. leaps: Regression Subset Selection. R package version 3.0. <https://CRAN.R-project.org/package=leaps>.
- MALVÁREZ, A.I. 1997. Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones de paisaje. PhD Thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- MALVÁREZ, A.I. 1999. El Delta del Río Paraná como mosaico de humedales. In: MALVÁREZ, A.I. (Ed.). Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Técnica para América Latina y el Caribe, MAB/UNESCO, Montevideo. 32-50 pp.
- MINOTTI, P.; BORRO, M. 2011. Pulsos de inundación y seca. In: KANDUS, P.; MINOTTI, P.; BORRO, M. (Eds.). *Contribuciones al conocimiento de los humedales del Delta del Río Paraná*, UNSAM Edita, Buenos Aires. 8-9 pp.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.C. 2000. *Wetlands*. Third edition. John Wiley & Sons. New York, New York, USA.
- MITSCH, W.J. 2014. When will ecologists learn engineering and engineers learn ecology? *Ecological Engineering*, 65, 9-14.
- MORANDEIRA, M.; GRAMUGLIA, P.; SALVIA, M.; MADANES, M.; VICARI, R.; ACEÑOLAZA, P.; STRADA, M.; MONTENEGRO, C.; KANDUS, P. 2011. Vegetación. In: KANDUS, P.; MINOTTI, P.; BORRO, M. (Eds.). *Contribuciones al conocimiento de los humedales del Delta del Río Paraná*. UNSAM Edita, Buenos Aires. 16-19 pp.
- MUJICA, F. 1979. Estudio ecológico y socioeconómico del Delta Entrerriano. Parte I. Ecología. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Paraná.
- NASA JPL WETLAND WEB-SITE. 2013. Global monitoring of wetland extend and dynamics. (Available at: <http://wetlands.jpl.nasa.gov/science/index.html> verified: 5th August 2015).
- ORDOYNE, C.; FRIEDL, M.A. 2008. Using MODIS data to characterize seasonal inundation patterns in the Florida Everglades. *Remote Sensing of Environment*, 112, 4107-4119.
- PEKEL, J-F.; VANCUTSEM, C.; BASTIN, L.; CLERICI, M.; VANBOGAERT, E.; BARTHOLOMÉ, E.; DEFOURNY, P. 2014. A near real-time water surface detection method based on HSV transfor-

mation of MODIS multi-spectral time series data. *Remote Sensing of Environment*, 140, 704-716.

QUINTANA, R.D.; BÓ, R.F. 2011. ¿Por qué el Delta del Paraná es una región única en la Argentina? In: QUINTANA, R.V.; VILLAR, E.; ASTRADA, P.; SACCONI, Y.; MALZOF, S. (Eds.). *El Patrimonio natural y cultural del Bajo Delta Insular. Bases para su conservación y uso sustentable. Convención Internacional sobre los Humedales 114 (Ramsar, Irán, 1971)/Aprendelta*. Buenos Aires, 316 p.

QUINTANA, R.D.; BO, R.F.; ASTRADA, E.; REEVES, C. 2014. Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná. *Wetlands International*. 180 p.

R CORE TEAM. 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (Available at: <http://www.R-project.org/> verified: December 2017).

SAKAMOTO, T.; VAN NGUYEN, N.; KOTERA, A.; OHNO, H.; ISHITSUKA, N.; YOKOZAWA, M. 2007. Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. *Remote Sensing of Environment*, 109, 295-313.

SALVIA, M.M.; KARSZENBAUM, H.; KANDUS, P.; GRINGS, F.M. 2007. Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal. *Teledetección, hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Lugar: Mar del Plata; Año: 2007; 199-206 pp.

Salvia, M.M. 2010. Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: Análisis de series de tiempo y eventos extremos. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

SEPULCRI, M.G.; PIZARRO, M.J.; FLAMENCO, E.; HERREIRA, M.; BORUS, J.; GIORDANO, L. 2012. Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná. *RIA*, 62, 4-11.

SIONE, W.; ACEÑOLAZA, P.; ZAMBONI, L.P.; SERAFINI, C.; DEL VALLE, H.F.; GALLARDO LANCHO, J.F. 2008. Estimación indirecta de emisiones de CO₂ a partir de información satelital en áreas quemadas de ambientes insulares del delta del río Paraná (ARGENTINA). XII Simposio de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota (SELPER). La Habana. Cuba.

TICEHURST, C.; DUTTA, D.; KARIM, F.; PETHERAM, C.; GUERSCHMAN, J.P. 2015. Improving the accuracy of daily MODIS OWL flood inundation mapping using hydrodynamic modeling. *Natural Hazards*, 78, 803-820.

TUCKER, C.J. 1977. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied optics*, 5, 1151-1156.

TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8, 127-150.

VANDERHOOF, M.K.; ALEXANDER, L.C.; TODD, J.M. 2015. Temporal and spatial patterns of wetland extent influence variability of surface water connectivity in the Prairie Pothole Region, United States. *Landscape Ecology*, 31, 805-824.

VAN LEEUWEN, W.J.D.; HUETE, A.R. 1996. Effects of standing litter on the biophysical interpretation of plant canopies with spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 55, 123-134.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York.

WAN, Z.M.; ZHANG, Y.L.; ZHANG, Q.C.; LI, Z.L. 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83, 163-180.

ZHU, W.; JIA, S.; LV, A. 2014. Monitoring the Fluctuation of Lake Qinghai Using Multi-Source Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 6, 10457-10482.

Análisis productivo y económico de sistemas silvo-apícola pastoriles en el norte de la provincia de Buenos Aires

FERRERE, P.¹; Signorelli, A.²; CABRINI, S.M.³

RESUMEN

La incorporación de alternativas productivas que generan valor a las poblaciones locales y protegen los recursos naturales es un tema de creciente interés. La homogeneización de la superficie cultivada, la aparición de eventos climáticos extremos y la necesidad de un uso más eficiente de los recursos han generado la revisión de los sistemas productivos tradicionales en búsqueda de alternativas económicamente rentables pero que aseguren el uso sustentable de los recursos naturales. Este estudio tiene como objetivo hacer una evaluación de una propuesta de diversificación productiva para productores de la región pampeana continental a través de la incorporación de la actividad forestal junto con la producción de forraje y de miel. Se estiman indicadores de productividad de madera, forraje y miel a través de mediciones a campo, recopilación de información bibliográfica y consultas con referentes de la zona. Se calculan costos y beneficios asociados a la producción y venta de madera, forraje y miel, y los aportes del estado a través de los pagos previstos en la ley nacional 25080 y la eximición del impuesto inmobiliario y otros beneficios de la ley provincial 12662. Los resultados obtenidos indican un valor actualizado neto positivo y que varía entre 3898 USD.ha⁻¹ a 2615 USD.ha⁻¹ de acuerdo al sistema seleccionado, con o sin subsidio y muestran que estos sistemas representan una opción válida para complementar las actividades agroganaderas de la región.

Palabras clave: álamo, Buenos Aires, valor actualizado neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR).

ABSTRACT

The addition of value-generating productive alternatives that safeguard natural resources for local communities is a topic of growing interest. The cultivated area standardization, together with the occurrence of extreme climatic events and the need for a more efficient use of resources, has given rise to the reconsideration of the traditional production systems looking for profitable yet sustainable alternatives for the use of natural resources. The objective of this study is to perform an assessment of a productive diversification proposal for producers in the continental Pampa area, through the integration of forestry activity together with pasture and honey production. Wood, forage and honey productivity indicators are estimated through field measurements, bibliographic research and the input of knowledgeable locals. The costs and benefits associated with the production and sale of wood, forage and honey, and the State contributions are calculated according to the payments set forth in National Law 25080, and the property tax exemption and other benefits set forth in

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Agencia de Extensión Rural (AER) 9 de Julio. Mitre 857, (6500) 9 de Julio. Correo electrónico: ferrere.paula@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Agencia de Extensión Rural (AER) Vedia, (6030) Vedia. Correo electrónico: signorelli.alejandro@inta.gov.ar

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Ruta 32, km 4,5 (2700) Pergamino. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires Correo electrónico: cabrini.silvina@inta.gov.ar

Recibido 13 de agosto de 2018 // Aceptado 22 de marzo de 2019 // Publicado online 17 de junio de 2020

Provincial Law 12662. The results obtained show a current positive net present value that range from 3898 u\$. ha⁻¹ to 2615 u\$.ha⁻¹ depending on the target system and regardless of grant allocations. Therefore, they confirm that these systems represent a valid option to supplement the agro-livestock activities in the region.

Keywords: poplar, Buenos Aires, net present value, internal rate of return.

INTRODUCCIÓN

El norte de la provincia de Buenos Aires es una de las zonas más productivas del país donde se ha dado una rápida expansión de los cultivos anuales, desplazando sistemas mixtos agrícola-ganaderos, con un importante avance de la soja sobre los demás cultivos (Fernandez, 2015). En Pergamino, partido de referencia en la zona, un 65% de la tierra de aptitud agrícola es destinada al cultivo de soja de primera (Datos Abiertos Agroindustria¹). La homogeneización de la superficie cultivada, la aparición de eventos climáticos extremos y la necesidad de un uso más eficiente de los recursos ha generado la revisión de los sistemas productivos tradicionales en búsqueda de alternativas económicamente rentables, pero que aseguren el uso sustentable de los recursos naturales (Tittonel, 2014; Ma y Swinton, 2011; Zhang *et al.*, 2007; Rossing *et al.*, 2007). Esto implica una redefinición de los sistemas de producción agropecuarios en busca de un equilibrio entre altos niveles de producción y la protección de los servicios ecosistémicos.

Una alternativa productiva son los sistemas silvopastoriles que encuentran ampliamente difundidos en el Delta del Paraná, con la producción de álamo con materiales de alta calidad genética e implementación de cuidados culturales e intervenciones silvícolas (Casaubón *et al.*, 2016 y 2012), que surgieron en la región a partir de la incorporación de ganado bovino desplazado por la intensificación del cultivo de soja en el continente (Casaubon y González, 2008).

En la zona continental de la región pampeana, el cultivo de salicáceas cuenta en la actualidad con 5.000 hectáreas de plantaciones en macizo, predominantemente de álamos (Achinelli *et al.*, 2006). En muchos de estos casos, los sistemas productivos se asocian a una ganadería bovina de cría cuando el rodal presenta un crecimiento adecuado para permitir el pastoreo (Cornaglia *et al.*, 2011). Las forestaciones con una baja densidad de plantación mantienen en forma continua un sotobosque herbáceo que con manejo adecuado puede mejorar sustancialmente la eficiencia de los sistemas ganaderos actualmente establecidos, complementándolos en vez de desplazarlos (Carámbula y Piñeiro, 2006). En forma complementaria, Jobbagy *et al.* (2006) afirman que las forestaciones con especies deciduas podrían complementar a los sistemas ganaderos existentes, minimizando los impactos ambientales asociados sobre el ciclo del agua y los nutrientes.

Los sistemas silvo-apícola-pastoril (SAP) se proponen como otra alternativa que permitiría diversificar la producción, combinando la producción de madera, miel y forraje en un mismo ambiente (Ferrere *et al.*, 2014). Estos sistemas consisten en la producción de árboles, generalmente especies de rápido crecimiento, junto con la producción de cultivos o forrajes, en un mismo lote y al mismo tiempo. La presencia de más de un estrato de vegetación, presupone conocer y manejar múltiples interacciones ecológicas, que son complejas y dinámicas. Estas dependerán de las especies involucradas, de los arreglos espaciales y temporales y de las condiciones medioambientales que lo rodean (Mead, 2009). El estudio de las interacciones entre los distintos componentes del sistema y sus efectos conducirá a nuevos modelos productivos, donde la obtención de alimentos estará permanentemente presente acompañando la producción forestal (Fassola *et al.*, 2009). Estos sistemas están asociados a la provisión de otros servicios ecosistémicos como la captura de carbono en el suelo, la protección de la biodiversidad, el control de erosión de cuencas y la reducción de los riesgos de contaminación con nutrientes (Kandus *et al.*, 2010). El pago por los servicios ecosistémicos es motivo de análisis puesto que está asociado a una externalidad del sistema que en la mayoría de los casos, los productores no contemplan (Pagiola *et al.*, 2007; Rode *et al.*, 2015) en la región pampeana. Este tipo de producción es especialmente valiosa en la cercanía de poblados, cascos, o escuelas rurales donde una mínima o nula aplicación de agroquímicos, la protección contra la deriva y la conformación del paisaje rural representan un mayor beneficio (Signorelli *et al.*, 2015).

La ganadería es una actividad tradicional que mantiene importancia en la zona aunque ha sido desplazada a campos de menor calidad, sin embargo algunos productores, principalmente lácteos, realizan praderas sobre alfalfa en campos agrícolas.

Por una parte, en relación con la componente apícola, los cambios en el uso de la tierra y el aumento en el uso de fitosanitarios han incluido negativamente sobre el sector apícola tanto en Buenos Aires como en el resto de la región pampeana. Por un lado debido a una muy baja presencia de especies melíferas y por el otro la deriva de agroquímicos se asocia con la mortandad de las colonias por envenenamiento (Salizzi, 2014). Un sistema silvo-apícola-pastoril aportaría no solo un espacio físico libre de agroquímicos, sino también una mayor oferta floral sostenida en el tiempo.

¹<https://www.agroindustria.gov.ar/datosabiertos/>

Por otra parte, aun cuando existe una ley nacional de promoción de inversiones para bosques cultivados (Ley 25080), que contempla apoyo económico no reintegrable para la preparación del terreno, plantación y mantenimiento, esta actividad ha tenido una expansión muy limitada en la zona continental de la provincia de Buenos Aires. Esto se debería principalmente a la carencia de un mercado formal, la falta de una industria procesadora, a la escasa información sobre rendimientos, costos e ingresos y la visión a corto plazo del agro argentino que motiva a que los productores opten por las actividades tradicionales de la región (Ferrere *et al.*, 2014).

Este estudio tiene como objetivo hacer una evaluación de una propuesta de diversificación productiva para productores de la región pampeana continental, a través de la incorporación de la actividad forestal junto con la producción de forraje y de miel. Se estiman indicadores de productividad de madera, forraje y miel mediante una combinación de datos relevados a campo por el grupo de trabajo, datos de fuentes bibliográficas y consultas con informantes calificados. Se calculan costos y beneficios privados asociados a la producción y venta de madera, forraje y miel, y los aportes del estado a través de las leyes vigentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sistema

La alternativa productiva para evaluar se propone como la incorporación de una superficie con monte forestal, producción de forraje y colmenas dentro de establecimientos agrícolaganaderos del norte de la provincia de Buenos Aires. El componente forestal incluye una plantación de álamo para obtención de madera de calidad a partir de una plantación de estacas a un espaciamiento inicial de 4*4 m, en fajas de cuatro filas de árboles y con callejones de 10 m, lo que arroja una densidad final de 625 pl.ha⁻¹ si se consideran solo las fajas, pero que extrapolado a hectárea son 340 pl.ha⁻¹. Esta densidad se considera apropiada para la

producción de madera de calidad, similar a la densidad comúnmente empleada en el Delta (Casaubon, 2016) y permite contar con una oferta forrajera desde el momento de plantación hasta los 7 años.

El planteo forrajero contempla una pastura consociada (alfalfa, pasto ovillo, cebadilla y trébol blanco) con el objetivo de realizar un aprovechamiento a partir de la conformación de rollos. Dado que se trata de una propuesta de especial interés para áreas periurbanas, el planteo no considera aplicaciones de fitosanitarios convencionales. Se incluye laboreo y siembra convencional de pasturas, control de malezas alrededor de los árboles mediante carpidas en los primeros años, y de hormigas con barreras mecánicas, adicionalmente, se proponen insumos biológicos para control de insectos en la pastura.

En cuanto a la actividad apícola se asume que se realiza en sociedad con un apicultor, quien es dueño de las colmenas y entrega parte de la producción de miel al dueño del monte.

Cálculo de indicadores productivos

Para el cálculo de los indicadores productivos del sistema productivo se utilizó una combinación de datos relevados a campo por el grupo de trabajo, datos de fuentes bibliográficas y consultas con informantes calificados.

Producción de madera

La productividad de la plantación forestal es un punto crítico en la evaluación del sistema, dado que es el componente más importante dentro del resultado económico. Los datos utilizados en este estudio fueron recolectados en mediciones a campo en Morse (Junín, Bs. As.), en los años 2013 y 2015, dentro de rodales de álamos pertenecientes al establecimiento forestal "San José". En esta zona el clima es templado húmedo, con una temperatura promedio anual de 15,9 °C y precipitaciones promedio anuales de

| Edad | N.º parcelas | Densidad (plantas.ha ⁻¹) | Área basal (m ² .ha ⁻¹) | Volumen (m ³ .ha ⁻¹) |
|------|--------------|--------------------------------------|--|---|
| 5 | 3 | 628(±64) | 7,79(±3,37) | 43,96(±24,94) |
| 6 | 6 | 642(±31) | 14,91(±5,48) | 102,1(±46,27) |
| 7 | 12 | 571(±77) | 13,98(±5,37) | 113,26(±53,00) |
| 8 | 9 | 502(±151) | 16,39(±4,66) | 130,03(±45,47) |
| 9 | 8 | 472(±123) | 21,57(±4,35) | 200,16(±46,5) |
| 10 | 6 | 339(±53) | 20,09(±3,86) | 191,82(±37,6) |
| 11 | 5 | 317(±45) | 24,54(±5,85) | 232,03(±44,94) |
| 15 | 8 | 447(±104) | 35,18(±5,49) | 394,43(±58,67) |
| 16 | 5 | 360(±56) | 34,53(±5,04) | 383,68(±17,30) |
| 17 | 10 | 372(±39) | 32,74(±3,46) | 388,22(±43,68) |

Tabla 1. Caracterización de los rodales muestreados, partido de Junín, Buenos Aires. Valores medios por rodal (entre paréntesis el desvío estándar).

1014 mm (Conti, 1980), siendo el suelo un Hapludol, franco arenoso. Las plantaciones seleccionadas constituyen una cronosecuencia que abarcaría una rotación forestal, con rodales desde los 5 hasta los 16 años. Se asume que estos rodales representan el estado de desarrollo característico de esta a esas edades (tabla 1).

Se midieron 72 parcelas de entre 324 y 625 m² elegidas al azar. En las parcelas medidas en el año 2013 (54), se midió el diámetro a 1,3 m de altura (dap) de todos los individuos y cinco alturas (h): las correspondientes a los tres árboles más gruesos, al más fino y al promedio. En las parcelas medidas en el año 2015, solo se midió el dap de todos los individuos. Con los mencionados pares dap-altura y la edad de cada rodal (n=210) se ajustó un modelo de crecimiento para la estimación de todas las alturas de la parcela (n=165, empleándose los restantes para su validación), de la siguiente forma utilizada por Peng *et al.* (2001):

$$[1] \quad h = a * (1 + b * e^{-c*dap})^{-1}$$

La evaluación de la bondad de ajuste del modelo se basó en la obtención del desvío estándar de los residuales (\sqrt{CME}). Además, se tuvo en cuenta el error estándar de las estimaciones de los parámetros (EE) y la significancia de estos. Se calcularon el sesgo y la media de los valores absolutos de los errores.

La construcción del modelo de altura fue necesaria para estimar el volumen total con corteza (vtcc), mediante la ecuación de Fernández Tsieder *et al.* (2011). La sumatoria del volumen de todos los árboles de la parcela fue calculada por hectárea, de modo de contar, para cada parcela, con un dato de volumen y edad para la estimación del crecimiento. El modelo empleado adquirió la forma:

$$[2] \quad V = a * e^{-b * e^{-c * Edad}} \quad (\text{Clutter } et al., 1983)$$

Donde V: es el volumen total por hectárea (m³.ha⁻¹), Edad: es la edad del rodal, a b y c los parámetros del modelo.

Producción de forraje

Para estimar la productividad de una pastura bajo dosel se consideró, en primer lugar, una productividad de 10,5 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ para una pastura consociada, base alfalfa, a cielo abierto en la zona núcleo agrícola es (Bacigalup, 2007). Se estima un potencial productivo a cielo abierto un 30% menos, por tratarse de un recurso forrajero en el que no se utilizan fitosanitarios. Luego, se utilizaron mediciones de disponibilidad lumínica bajo una plantación de *Populus deltoides*, realizadas por el equipo de trabajo con un sensor Licor (tabla 2), y estimaciones de la incidencia del sombreado sobre el crecimiento de las pasturas (Varella *et al.*, 2001). A partir de los datos reportados por estos autores se utilizó un parámetro del 0,6% de pérdida en la productividad de la pastura por cada 1% de reducción en la disponibilidad lumínica.

Producción de miel

Se asume que se realiza en sociedad con un apicultor, quien es dueño de las colmenas y entrega parte de la pro-

| Fecha y estación del año | bajo dosel | callejón | edad |
|--------------------------|------------|----------|------|
| 04/04/18 otoño | 7,4 | 54,5 | 6 |
| 15/6/18 invierno | 41,9 | 63,1 | 6 |

Tabla 2. Disponibilidad lumínica en relación con cielo abierto bajo dosel de álamo y callejón en una plantación de *Populus deltoides*.

ducción de miel (12 kg.ha⁻¹.año⁻¹) al dueño del monte, que es una práctica común en los establecimientos de la zona (Gatti, 2018. com pers.).

Cálculo de resultados económicos

Se utilizan precios en dólares en promedio en un período de 5 años (2013-2017) para insumos y productos. No se incluye el costo de oportunidad de la tierra en el análisis. Para evaluar el resultado económico de los sistemas de producción se utilizó el criterio del valor actualizado neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) (Calcaterra, 1994). El valor actualizado neto (VAN) se define como la suma de los valores actuales de los flujos de caja a los que da lugar un proyecto de inversión descontados a un tipo de interés constante. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer período de operación y le resta la inversión total expresada en el momento cero. Se consideró un período de 16 años para el proyecto de inversión. La tasa de descuento utilizada es del 8%. Este valor representa una tasa de interés real, que refleja el costo de oportunidad del capital en inversiones de similar riesgo. Se calcula además la tasa interna de retorno (TIR), que es la tasa real que proporciona un proyecto de inversión y es aquella que al ser utilizada como tasa de descuento en el cálculo del VAN dará como resultado cero. Se consideran los aportes contemplados por la ley nacional de inversiones para bosques cultivados 25.080 (reintegros del 80% de costos de implantación y 70% de podas y raleos) y ley provincial 12.662 (entrega de estacas y eximición del impuesto inmobiliario).

RESULTADOS

Estimación de la producción de madera

El modelo ajustado para la estimación de la altura total del álamo en la zona de trabajo (ecuación 1) tuvo un comportamiento promisorio, con un sesgo de 0,52 m y la media de los valores absolutos de los residuos de 2,30 m (tabla 3).

El modelo resultante para la estimación del volumen (ecuación 2) se observa en la tabla 4. Aunque no se localizaron plantaciones entre 12 y 14 años, los resultados son consistentes en el comportamiento de la curva. El modelo presenta un buen ajuste (= 32), siendo el sesgo de 6,7m³ y el error absoluto de 37 m³.

El valor estimado del rendimiento al turno (16 años) es de 374,4 m³.ha⁻¹ (figura 1).

| Parámetro | Estimador | Error estándar | p-valor |
|-----------|-----------|----------------|-----------|
| a | 37,19 | 1,38 | <0,0001** |
| b | -8,73 | 1,38 | <0,0001** |
| c | 0,12 | 0,01 | <0,0001** |

Tabla 3. Valores estimados mediante regresión no lineal y sus estadísticos.

| Parámetro | Estimador | Error estándar | p-valor |
|-----------|-----------|----------------|-----------|
| a | 595,27 | 109,9 | <0,0001** |
| b | 5,11 | 0,1 | <0,0001** |
| c | 0,15 | 0,04 | <0,0001** |

Tabla 4. Parámetros para la estimación del volumen total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) mediante regresión no lineal y sus estadísticos.

Estimación de la producción de forraje

La figura 2 muestra los valores de productividad forrajera estimados bajo dosel, en los callejones y a nivel parcela, a lo largo del proyecto. Luego de 8 años, se considera que el sombreado de los árboles no permite continuar con la producción de forraje.

Cálculo de ingresos y costos de producción

La tabla 5 muestra un resumen de los costos e ingresos del componente forestal. Se considera que el 15% se destina para debobinado, el 70% para aserrado y el 15% para triturado. Los destinos de la madera son Tigre (debobinado

y aserrado) y San Pedro (triturado), provincia de Buenos Aires, en donde se encuentran las principales industrias consumidoras de la región.

Se observó que el 91% de los egresos corresponden al aprovechamiento y flete, y se realizan en el momento de la tala rasa, mientras que los costos asociados a la plantación representan una mínima composición del gasto del sistema forestal y contrastan la de los cultivos que predominan en la región pampeana. En el caso maíz y soja, los gastos de labores e insumos representan un 50% del gasto total, mientras que otro 50% gastos de cosecha y comercialización de los productos (Cabrini *et al.*, 2018).

Cuando la ley está vigente, los costos de implantación y manejo son absorbidos por el subsidio forestal, 746 USD. ha^{-1} .

En cuanto al componente forrajera (tabla 6), se optó una simplificación del sistema –los rollos y su venta– aunque la propuesta apunta a la producción de carne en el predio, que podría ser después del 3.º año, momento en que las plantas tienen un tamaño adecuado para permitir el ingreso de ganado sin daño. El sistema se podría implementar en un campo agrícola-ganadero y se asume que es un productor que podría contar con las herramientas y la mano de obra para realizar las tareas de mantenimiento. La disminución de la producción después del 4.º año, considera el impacto del sombreado en el crecimiento de la pastura.

No se consideran costos por la producción de miel, solo un ingreso adicional de 27,48 USD. $\text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ asumiendo que el apicultor otorga 2 kilos de miel por colmena y por año como retribución al dueño del campo.

Valor actual neto y tasa de retorno de la inversión

El VAN calculado es de 3113,69 USD. ha^{-1} para el sistema SAP, y de 2887,01 USD. ha^{-1} para el sistema silvopastoril y de 2615,02 USD. ha^{-1} para la plantación forestal. Estos valores no consideran el subsidio que pueden recibir productores

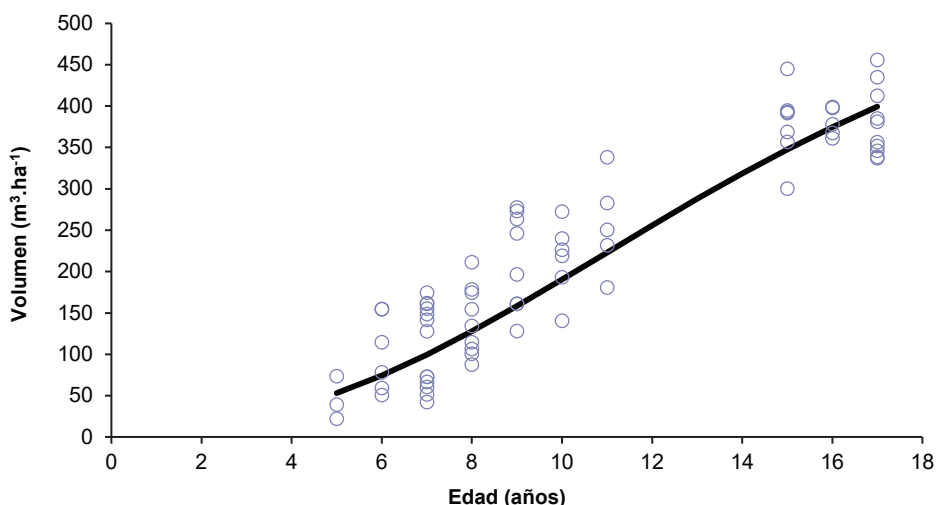


Figura 1. Relación entre la edad del rodal y el volumen de madera de álamo, partido de Junín, Buenos Aires.

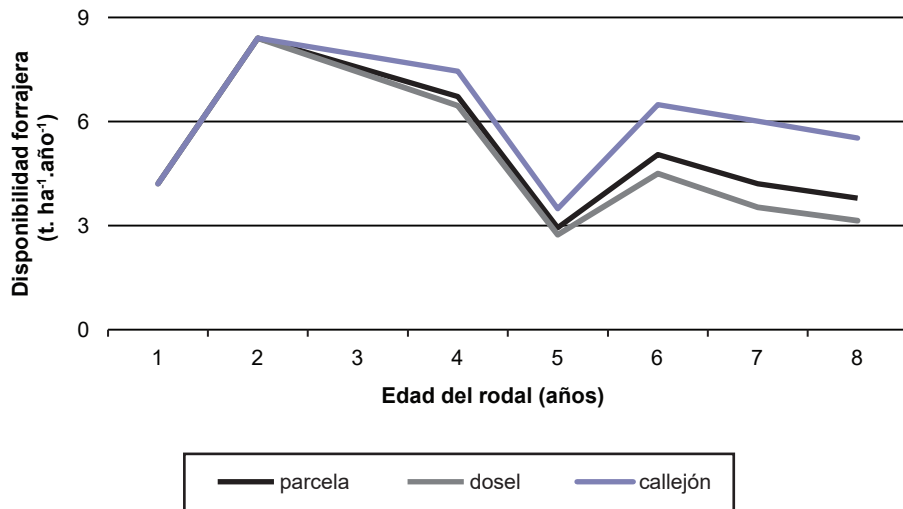


Figura 2. Disponibilidad forrajera (t. ha⁻¹.año⁻¹) estimada bajo una plantación de *Populus deltoides* desde el momento de su establecimiento hasta el año 8.

| Egresos | | USD.ha ⁻¹ |
|---------|------------------------------------|----------------------|
| año 0 | Preparación del terreno | 82 |
| año 1 | Plantación forestal | 355 |
| año 2 | Reposición de plantas | 29 |
| año 1 | Mantenimiento (Control de malezas) | 168 |
| año 2 | Mantenimiento (Control de malezas) | 112 |
| año 4 | Poda | 28 |
| año 8 | Poda y raleo | 126 |
| año 16 | Servicio de aprovechamiento | 2840 |
| año 16 | Flete | 3253 |

| Ingresos | | USD.ha ⁻¹ |
|--------------|-----------------------------|----------------------|
| año 16 | Madera para debobinado | 2699 |
| año 16 | Madera de aserrado (tabla) | 11516 |
| año 16 | Madera triturada (celulosa) | 2055 |
| Total | | 16270 |

Tabla 5. Detalle de los egresos e ingresos del componente forestal.

res de menos de 300 ha en el marco de la ley 25080. Para el análisis del SAP se considera también un ingreso anual de 26 USD.ha⁻¹, proveniente de la venta de miel, aunque dicho valor muestra que la apicultura solo representa un aporte menor al resultado económico del sistema, coincidentemente con un ciclo de escasa valoración de dicho producto, mientras que el resultado de la producción de forraje es más importante. En cambio, si consideramos los aportes no reintegrables, los valores del VAN son de 3898,08 USD.ha⁻¹, 3671,40 USD.ha⁻¹ y 3339,33 USD.ha⁻¹, para los sistemas SAP, silvopastoril y forestal, respectivamente. Estos valores representan información útil para los productores y

| | Egresos (USD.ha ⁻¹) | | Ingresos | |
|-------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------|
| | Implantación pastura | Mantenimiento y confección de rollos | Venta de rollos | |
| año 0 | 201,24 | 114,17 | 177,4 | (3,3 rollos) |
| año 1 | | 216,75 | 405,48 | (8 rollos) |
| año 2 | | 216,75 | 405,48 | (8 rollos) |
| año 3 | | 193,96 | 354,8 | (7 rollos) |
| año 4 | 282,97 | 79,98 | 101,37 | (2 rollos) |
| año 5 | | 125,57 | 202,74 | (4 rollos) |
| año 6 | | 125,57 | 202,74 | (4 rollos) |
| año 7 | | 114,17 | 177,4 | (3,5 rollos) |

Tabla 6. Detalle de los egresos e ingresos del componente forrajera.

asesores de zona de estudio, ya que no se han publicado recientemente valores de tasas de retorno de este tipo de inversiones en la zona. Existen estudios en otras regiones que analizan económicamente los sistemas forestales y sistemas basados en la utilización de bosque nativos en otras regiones del país, como es el caso de Martínez Ortiz *et al.* (2006) quienes refieren que la inclusión de un certificado de manejo forestal mejora los índices de rentabilidad en la provincia de Formosa y muestran valores de TIR del 82% cuando se incluye el costo de la tierra. Estas alternativas productivas planteadas en el presente estudio resultan superiores en rentabilidad a lo referido por Mariot y Renolfi (1994) para diferentes planteos con *Populus sp.* bajo riego con alfalfa en Santiago del Estero, aunque estos autores definen un planteo sin mencionar el empleo de incentivos a la forestación y emplean un turno de corta de 10 años. Cabe destacar que ninguna de las alternativas propuestas en el mencionado trabajo contempla el costo de oportunidad de la tierra.

Es interesante transformar los valores en una anualidad equivalente, para comparar los resultados obtenidos con indicadores económicos para cultivos anuales. En el caso del sistema completo las anualidades equivalentes son de 351,48 USD.ha⁻¹ y 440,39 USD.ha⁻¹, sin y con subsidio, respectivamente. Siendo los márgenes brutos de referencias de la soja 1.^a para el mismo período de 401 y 467 USD.ha⁻¹ para bajo y alto rendimiento, respectivamente (Revista Márgenes Agropecuarios). El resultado económico del SAP, considerando los subsidios, es similar o levemente inferior al del cultivo agrícola. Lo que sugiere que el sistema silvo-apícola pastoril es una interesante alternativa de diversificación productiva, y una propuesta atractiva para zonas con restricciones para el uso de agroquímicos, ya que estos pueden ser reemplazados por tareas manuales con un costo similar en este tipo de sistemas. Además de estos factores no puede dejar de considerarse el aspecto financiero para la subsistencia de los sistemas productivos.

La figura 3 muestra los valores de la TIR para los tres sistemas propuestos, sin considerar y considerando el subsidio forestal nacional y provincial. Los valores de la TIR son de 26, 24 y 21%, para el sistema SAP, silvopastoril y forestal, respectivamente, cuando no se consideran los ingresos por subsidios. Cuando se incorporan estos aportes, la tasa de retorno aumenta a 55, 48 y 36% para los tres sistemas en estudio. Los altos valores para la TIR en comparación con el costo de oportunidad que se consideran generalmente para evaluar inversiones en producción agropecuaria (8 al 12%), confirman que se trata de una inversión atractiva en la región pampeana argentina.

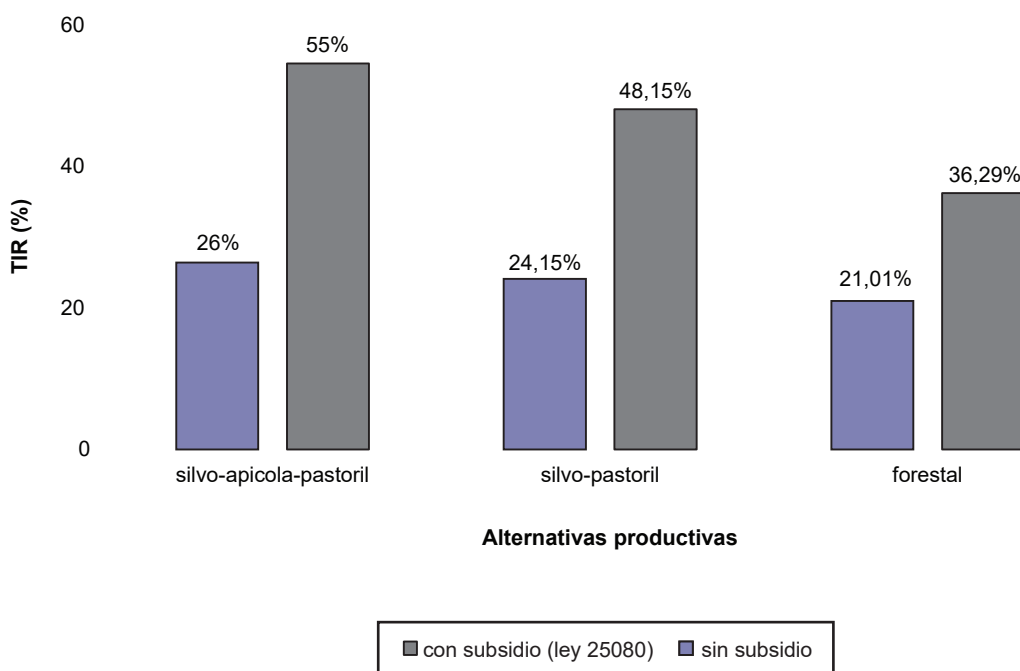


Figura 3. Tasa Interna de Retorno para las alternativas productivas propuestas.

CONCLUSIONES

El análisis económico-financiero arroja resultados favorables para la consideración de la inclusión de la actividad forestal formando parte de un silvo-apícola pastoril como inversión en la zona norte de la provincia de Buenos Aires.

Los costos de aprovechamiento resultan elevados representando la corta y el flete, el 63% de los costos del proyecto, con lo cual la industrialización en la zona de producción sería consideración importante para mejorar la rentabilidad del sistema.

La complementación de la actividad forestal a las agroganaderas tradicionales es un objetivo deseable en un marco de sustentabilidad orientado a la producción de madera de alto valor en la región pampeana. La profundización de la investigación debería contemplar el estudio de indicadores ambientales en los costos de producción del sistema.

AGRADECIMIENTOS

A Sr. Daniel Sama y a la familia Urionaguena por la información brindada y la colaboración en las tareas de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACHINELLI, F. 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda, Actas Jornadas de Salicáceas, CABA. 21-36 pp.
- CABRINI, S.M.; LLOVET, J.A.; PAOLLILI, M.C.; FILLAT, F.A. BITAR, M.V. 2018. Márgenes brutos de las principales actividades agrícolas Campaña 2017/2018. INTA Pergamino. (Disponible:

<https://inta.gov.ar/documentos/indicadores-economicos-e-informes-tecnicos-verificado>: febrero de 2019).

CALCATERRA, C. 1994. Manual de evaluación de proyectos de inversión. Programa de Intercambio Rural. INTA Pergamino.

CARÁMBULA, M.; PIÑEIRO, D. 2006. La forestación en Uruguay: cambio demográfico y empleo en tres localidades. *Agrociencia X* (2): 63-73.

CASAUBON, E.; ANANO, A.; TASSANO VIAÑA, J. 2012. Manual de buenas prácticas silvopastoriles para producir madera de álamo y carne bovina. Ediciones INTA. 123 p.

CASAUBON, E.A.; CORNAGLIA, P.S.; PERI, P.L.; GATTI, M.L.; CLAVIJO, M.P.; BORODOWSKI, E.D.; CUETO, G.R. 2016. *Silvopastoral Systems in the Delta Region of Argentina. Silvopastoral Systems in Southern South America* Springer. 41-62 pp.

CASAUBON, E.; GONZALEZ, A. 2008. Silvopastoral systems with poplar in the lower delta of the Paraná River, Argentina. 23.º Sesión de la Comisión Internacional del Álamo. Beijing.

CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. 333 p.

CONTI, 1980. Cartas de suelo de la República Argentina. Hoja 3560- 7 y 8 L.N Alem y Junín. INTA Centro de investigación en Recursos Naturales, reconocimiento de suelos.7-12 pp.

CORNAGLIA, P.; CLAVIJO, M.; RODRÍGUEZ, D.; SIGNORELLI, A.; BORODOWSKI, E.; 2011. Management practices that maximize the herbaceous productivity in temperate sylvopastoral systems. ix Internacional Rangeland Congress, Rosario, Argentina, 2 al 8 de abril.

FASSOLA, H.E.; LACORTE, S.M.; PACHAS, A.N.; GOLDFARB, C.; ESQUIVEL, J.; COLCOMBET, L.; CRECHI, E.H.; KELLER, A.; BARTH, S.R. 2009. Los sistemas silvopastoriles en la región subtropical del NE argentino. XIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina.

FERNANDEZ, D.A. 2015. Evolución de la estructura socioeconómica de la región pampeana argentina. El proceso de concentración de la producción en el período 1988-2008. *Cuadernos de Economía*, 34(64): 143-171. (Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/45943/62830> verificado: 17 de julio de 18).

FERNANDEZ TSIEDER, E.; FASSOLA, H.E.; GARCÍA CORTEZ, M. 2011. Ecuación de volumen total para *Populus deltoides* de plantaciones del Bajo Delta del Paraná. *Revista RIA* 37, V2, 172-179 pp.

FERRERE, P.; MILLANES, A.; GURINI, L.; LOPEZ, C.; PALACIO, A. 2014 Estudio de un sistema silvo-apícola-pastoril como alternativa de diversificación productiva en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. Proyecto BIRF 7520. Componente 2, Plantaciones forestales sustentables. Informe final. 29 p.

JOBBÁGY, E.G.; VASALLO, M.; FARLEY, K.A.; PIÑEIRO, G.; GARBULSKY, M.F.; NOSETTO, M.D.; PARUELO, J.M. 2006. Forestación en pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia*, 10(2), 109-124.

KANDUS, P.; MORANDEIRA, N.; SCHIVO, F. 2010. Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales del Delta del Paraná. Fundación Humedales/Wetlands Internacional, Buenos Aires, Argentina, 32 p.

LUPI, A.M.; ANGELINI, M.; FERRERE, P. 2013. Tierras elegibles para cultivos forestales según el protocolo de Kyoto en dos partidos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista RIA* 39 (2), 138-148.

MA, S.; SWINTON, S.M. 2011. Valuation of ecosystem services from rural landscapes using agricultural land prices. *Ecological Economics* 70: 1649-1659.

MARIOT, V.; RENOLFI, M. 1994. Análisis de rentabilidad de cuatro alternativas de manejo en forestaciones con álamo en Santiago del Estero. *Revista Quebracho*, (2) 28-38.

MARTÍNEZ ORTIZ, U.; TOMASINI, D.; ADÁMOLI, J.; LONGO, L. 2006. Evaluación económico ambiental de un modelo de aprovechamiento sustentable de los bosques de Formosa, Argentina. *Rev. Fac. Agron.* 106 (1): 97-108.

MEAD, D. 2009. Biophysical interactions in silvopastoral systems: a New Zealand perspectives. *Actas 1.º Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, Posadas, Misiones. 3-11 pp.

PAGIOLA, S.; RAMÍREZ, E.; GOBBI, J.; DE HAAN, C.; IBRAHIM, M.; MURGUEITIO, E.; RUÍZ, J.P. 2007. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. *Ecological Economics*, 64(2), 374-385.

PENG, C.; ZHANG, L.; LIU, J. 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario Boreal Forests. *N. J. Appl. For.* 18: 87-94.

RODE, J.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; KRAUSE, T. 2015. Motivation crowding by economic incentives in conservation policy: A review of the empirical evidence. *Ecological Economics*: 117, 270-282.

ROSSING, W.A.H.; ZANDER, P.; JOSIEN, E.; GROOT, J.C.J.; MEYER, B.C.; KNIERIM, A. 2007. Integrative modelling approaches for analysis of impact of multifunctional agriculture: a review for France, Germany and The Netherlands. *Agriculture, ecosystems & environment*, 120(1), 41-57.

SALIZZI, E. 2014. Reestructuración económica y transformaciones en el agro pampeano: la expansión del cultivo de la soja y sus efectos sobre la apicultura bonaerense en los inicios del siglo XXI. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 16(1): 13-46.

SIGNORELLI, A.; BORODOWSKI, E.; GAUTE, M. 2010. Situación forestal en el Delta del Paraná, Actualidad y perspectivas. Simposio Científico Académico Delta del Paraná: Historia, Presente y Futuro, San Fernando, Buenos Aires.

SIGNORELLI, A.; FERRERE, P.; CABRINI, S.; SORONDO, M. 2015. Análisis económico financiero de un sistema agroforestal apícola en el centro norte de la Provincia de Buenos Aires. 8.º congreso internacional de sistemas agroforestales y III Congreso Nacional de Sistemas silvopastoriles, en la localidad de Iguazú, Misiones.

TITTONELL, P. 2014. Ecological intensification of agriculture — sustainable by nature, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8: 53-61.

VARELLA, A.C.; PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L. 2001. Dry matter production and nutritive value of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under different light regimes. En: J.A. GOMIDE, J.A. (ed.). *Proc. XIX Int. Grassland Congr. FEALQ, Piracicaba*. 660-661 pp.

ZHANG, W.; RICKETTS, T.H.; KREMEN, C.; CARNEY, K.; SWINTON, S.M. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics* 64, 253-260.

Balance entre la producción de una huerta agroecológica y la demanda nutricional de una familia tipo en el Área Metropolitana de Buenos Aires

PESCIO, F.J.¹

RESUMEN

Entre los principales problemas sociales globales se encuentra el acceso a alimentos saludables. En Argentina, la problemática alimentaria se manifiesta principalmente como subconsumo de vitaminas y minerales y una alta tasa de obesidad, especialmente en sectores populares. Entre las alternativas de acceso a una alimentación saludable, se ha propuesto la Agricultura Urbana, específicamente las huertas familiares traspatio de base agroecológica. Este trabajo buscó indagar, a partir de un caso específico, sobre el aporte nutricional efectivo de una huerta traspatio agroecológica, especialmente en vitaminas y minerales, el grado de autoabastecimiento logrado para satisfacer las demandas alimentarias de una familia tipo y la superficie cultivada que sería necesaria para cubrir dicha demanda. Para ello se trabajó con la producción de una huerta de 152 m² ubicada en La Matanza (Buenos Aires) y sostenida por trabajo familiar. Se recabaron los datos de un año y se estimó el aporte anual en distintos minerales y vitaminas para cada especie cultivada. La productividad anual obtenida fue de 7,42 kg/m². La oferta de vitaminas A, B9, K y C sería excedentaria para una familia tipo. El aporte de fósforo y hierro fue cercano al autoabastecimiento. Hubo déficits considerables en vitaminas E y K, mientras que el aporte más bajo fue de sodio, con 18% de las demandas diarias. Las superficies mínimas necesarias para cubrir las demandas familiares fueron muy variables, con 15,9 m² para vitamina K y 870,8 m² para los requisitos de sodio. Se determinó que las huertas traspatio pueden ser una fuente de provisión interesante en contextos urbanos, especialmente para ciertas vitaminas y minerales. Sería conveniente ampliar este tipo de trabajos a estudios transversales con representatividad estadística a nivel regional.

Palabras clave: agricultura urbana, nutrición, soberanía alimentaria, seguridad alimentaria, desiertos verdes, agroecología.

ABSTRACT

Among the main social questions at global level, is access to healthy foods. In Argentina, the food problem is manifested mainly as under-consumption of vitamins and minerals and a high rate of obesity, especially in popular sectors. Among the alternatives, Urban Agriculture has been proposed, specifically backyard family gardens with an agroecological base. This work sought to investigate, based on a specific case, about the effective nutritional contribution of a backyard orchard with agroecological management, especially in vitamins and Minerals, the degree of self-sufficiency achieved to satisfy the food demands of a typical family and the cultivated surface area that would be necessary to fulfill that requirements. We worked with the production of

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), A. Gob. Udaondo 1695 (1714) Ituzaingó, Buenos Aires. Correo electrónico: pescio.francisco@inta.gob.ar
Universidad Nacional de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.

an orchard of 152 m² located in La Matanza (Buenos Aires) and sustained by family work. Data were collected for one year and the annual contribution in different minerals and vitamins was estimated for each crop. The annual productivity obtained was 7.42 kg / m². The supply of vitamins A, B9, K and C would be surplus for a typical family. The contribution of Phosphorus and Iron was close to self-sufficiency. There were important deficits in vitamins E and Potassium, while the lowest contribution was Sodium, with 18% of the daily demands. The minimum surfaces necessary to fulfill family requirements was highly variable, from 16,9 m² for Vitamin K to 870,8 m² for Sodium requirements. It was determined that backyard gardens can be an interesting source of provision in urban contexts, especially for certain vitamins and minerals. It would be convenient to extend this type of work to cross-sectional studies with statistical representation at a regional level.

Keywords: urban farming, agroecology, food sovereignty, food security, food and nutrition, green deserts

INTRODUCCIÓN

Hace varias décadas comenzaron a utilizarse los conceptos de Seguridad Alimentaria y Soberanía Alimentaria, enmarcados en el análisis del acceso social a una alimentación suficiente, saludable y culturalmente aceptable (Carbollo, 2011). La provisión de los alimentos puede darse por su adquisición vía mercado o bien a través de la autoproducción de estos (Warren *et al.*, 2015). Un fenómeno particular descrito en varios países industrializados es el de los “desiertos alimentarios”, haciendo referencia a aquellas áreas urbanas donde el acceso a alimentos frescos y saludables (no industriales) se encuentra muy restringido, ya sea por su oferta o por imposibilidad para acceder a dichas áreas. Este rasgo se manifiesta de manera diferencial en los estratos de población de menores ingresos (Sadler *et al.*, 2015).

Una de las alternativas que se suele proponer como forma de contrarrestar el desarrollo de este fenómeno es a través del desarrollo de la Agricultura Urbana (AU). Por una parte, la AU consiste en la realización de actividades agropecuarias al interior y en las periferias de las ciudades, que incluyen el cultivo de vegetales y cría de animales (Mougeot, 2000). A nivel global, la AU se presenta como una alternativa concreta para mejorar la seguridad alimentaria en las ciudades (Mougeot, 2006) y morigerar el fenómeno de los desiertos verdes (Lovell, 2010), aunque recibió una atención limitada por parte de planificadores y analistas de desarrollo (Viljoen y Howe, 2012; Tornaghi, 2014).

Por otra parte, la AU puede llevar adelante diferentes servicios ecosistémicos, que además de incluir la producción de alimentos frescos abarca la regulación térmica, mitigación de polución, entre otras (Lovell, Op.Cit.). De acuerdo a Prové *et al.* (2016), el atractivo de la AU yace en su capacidad de respuesta a un amplio espectro de problemas urbanos vinculados generalmente con el objetivo de lograr ciudades sustentables.

Una de las tipologías más difundidas de AU son las huertas familiares traspatio. Se denomina así a la producción de especies hortícolas, realizada en ámbitos de vinculación directa con el lugar de residencia y con fuerte impronta de trabajo familiar (Parés, 2009). Estas huertas tienen como

objetivo principal el abastecimiento de hortalizas frescas de estación a las unidades domésticas que la llevan adelante, pudiendo ser una estrategia importante para la obtención de alimentos frescos a nivel familiar, dado que permiten acceder a hortalizas frescas y proteínas de origen animal (en el caso de combinarse con la cría de animales de granja).

Para el caso argentino, uno de los mayores problemas alimentarios es la excesiva ingesta de alimentos hipercalóricos, ricos en grasas, azúcares y sal (Aguirre, 2004), que se traduce en un incremento de la tasa de obesidad (Galante *et al.*, 2016). En ese mismo sentido, Aguirre (2004; 2005) indica que esta situación es particularmente crítica en la población de menores ingresos; la cual evolucionó en las últimas décadas hacia un perfil alimentario con muy bajo consumo de hortalizas frescas. Esto se tradujo en carencias crónicas de vitaminas y minerales (Barbero, 2012). Justamente es en ese punto, el aporte de vitaminas y minerales, donde la Agricultura Urbana puede representar un rol importante para avanzar en mejoras en la alimentación de la población argentina, especialmente en los sectores sociales de menores ingresos.

En Argentina, una de las referencias más importantes en el desarrollo de la AU ha sido el Programa ProHuerta. Este Programa, financiado por el Ministerio de Desarrollo Social y ejecutado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, está dirigido a población en situación de riesgo social con problemas de acceso a alimentos saludables (INTA, 2009). El Programa, enmarcado en la Seguridad y Soberanía Alimentaria, promueve dicho acceso a través de la entrega de insumos estratégicos y la capacitación para la autoproducción de hortalizas, utilizando técnicas agroecológicas. Estas técnicas se orientan a generar productos agropecuarios sin el uso de fitosanitarios o fertilizantes de síntesis química (Díaz, 2008).

Sin embargo, entre las observaciones a la AU, es que no existen suficientes antecedentes que den cuenta de la capacidad efectiva de estos sistemas en satisfacer las necesidades nutricionales de las personas involucradas. Warren *et al.* (Op. Cit.) realizan una revisión indagando sobre asociaciones entre la AU y su contribución a la mejora en el acceso alimentario de los individuos y su aporte a

la seguridad alimentaria. Los resultados a escala familiar mostraron resultados positivos en el acceso a alimentos frescos fueron positivos, mientras que, a niveles jerárquicos superiores, los resultados fueron erráticos. En ese sentido, Grewal y Grewal (2012) estimaron la productividad de diferentes sistemas agropecuarios para ciudades estadounidenses, con un promedio anual en huertas traspatio de 6,75 Kg/m². Para Argentina, es posible mencionar trabajos como el de Vorraber *et al.* (2014) o el de Leveratto y Pescio (2010). El primero presenta una productividad de 5 a 8,6 kg/m² en cultivo de envases; Mientras que el segundo describe una productividad de 5,41 kg/m² en un caso de huerta traspatio familiar de la zona norte del Área Metropolitana de Buenos Aires. En todos los antecedentes, se trata de casos puntuales y para años específicos. No hay registros publicados en Argentina que den cuenta de estudios transversales sobre el rendimiento de este tipo de sistemas productivos o que den cuenta del aporte a la demanda alimentaria de sus usuarios.

El objetivo principal de este trabajo fue, a partir de los datos de un caso real, estimar el nivel de autoabastecimiento alimentario que podría lograr una familia tipo a partir de la producción de una huerta agroecológica traspatio, especialmente en vitaminas y minerales. Como objetivo secundario, estimar la superficie mínima necesaria para lograr cubrir los requerimientos nutricionales de una familia por tipo de nutriente.

Es importante marcar que si bien los resultados no serán extrapolables a toda una región (ya que no se trata de un estudio transversal), constituye el primer antecedente que estima el balance nutricional en el aporte de una huerta y la demanda de una familia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como fuente primaria de datos de producción se utilizaron los registros productivos de una huerta ubicada en la periferia del Gran Buenos Aires. Los registros productivos fueron tomados en el año 2012 para una huerta basada en trabajo familiar ubicada en San Justo (Buenos Aires). De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (2018) la temperatura media anual histórica es de 17,9 °C y la precipitación anual media (1980-2010) fue de 1236,3 mm. La región presenta un clima templado. Los suelos de toda la región son muy heterogéneos, en tanto fueron profundamente modificados por el proceso de urbanización.

Esta huerta es una parcela que forma parte del Parque Huerta del Hospital Italiano, el cual está coordinado por el Programa ProHuerta de la Estación Experimental Área Metropolitana de Buenos Aires (EEA AMBA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Si bien el Parque Huerta está ubicado en un predio perteneciente a una institución, la superficie es cedida a vecinos de las cercanías quienes realizan huertas de autoconsumo con trabajo propio familiar.

La producción se realizó bajo manejo agroecológico, de acuerdo a las técnicas descriptas por Diaz (2008). En caso

de haber déficits temporales, se utilizó riego complementario. La superficie total de la parcela –incluyendo área no cultivada– fue de 152 m². No se contó con información de superficie asignada a cada especie. Se tomaron los datos de ese año en particular en tanto estos presentaban registros completos.

De acuerdo a la metodología descrita por Varano (2016), se registró la cosecha diaria de cada cultivo. El rendimiento se obtuvo por pesaje al momento de cosecha, en balanza electrónica comercial. Los productos, previo al pesaje, fueron acondicionados libres de tierra, agua y desperdicios. Los aportes nutricionales por especie fueron obtenidos a partir de multiplicar el rendimiento por su composición según tipo de nutriente. Para la composición nutricional de cada especie se utilizó la Base de Datos de Composición Alimentaria del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (2018). Los minerales analizados fueron sodio, potasio, calcio, fósforo y hierro. En el caso de las vitaminas, se analizaron las vitaminas A, complejo B (B₁, B₂ y B₃), B₉ (folatos), C, E y K.

Para estimar los requisitos nutricionales, se determinó la composición familiar más representativa para el Gran Buenos Aires, de acuerdo a la Encuesta Nacional de Hogares. Esta determina que la familia está compuesta por cuatro integrantes: dos adultos de género masculino (35 años) y femenino (31 años), con una hija de 8 años y un hijo de 5 años (INDEC, 2006). A partir de esta composición familiar tipo, se estimaron las demandas nutricionales utilizando como referencia las Ingestas Diarias de Referencia propuestas por Otten *et al.* (2006). Las demandas se estimaron para cada integrante y se ajustaron mensualmente.

Los aportes se contrastaron con las demandas alimentarias del grupo familiar y a partir del cociente entre Demanda y Oferta de nutrientes se estimó el grado de autosuficiencia logrado (Grewal y Grewal, Op.Cit.). Posteriormente se calculó la superficie de huerta requerida para satisfacer completamente la demanda para cada tipo de nutriente, tomando *ceteris paribus* la productividad media y el aporte porcentual de cada especie sobre el total cosechado.

RESULTADOS

El rendimiento total anual fue de 1129,3 kg, sobre una superficie total de 152 m², lo que equivale a una productividad anual de 7,42 kg/m². La figura 1 indica la evolución mensual de dicha producción. Se observa que la mayor proporción de cosecha se concentró en la temporada primavera-verano.

La tabla 1 muestra el aporte físico de las especies según tipo de aprovechamiento culinario (Diaz, 2008). Este es un criterio de agrupación que permite organizar las especies por similitudes de uso culinario. Se observa que los cultivos de fruto y los de hoja, representaron alrededor del 75% del total de producción. Sensiblemente inferior fue el rendimiento de los cultivos de raíz (donde se incluye a la zanahoria, papas y batatas) y legumbres. No se cultivaron cereales y oleaginosas.

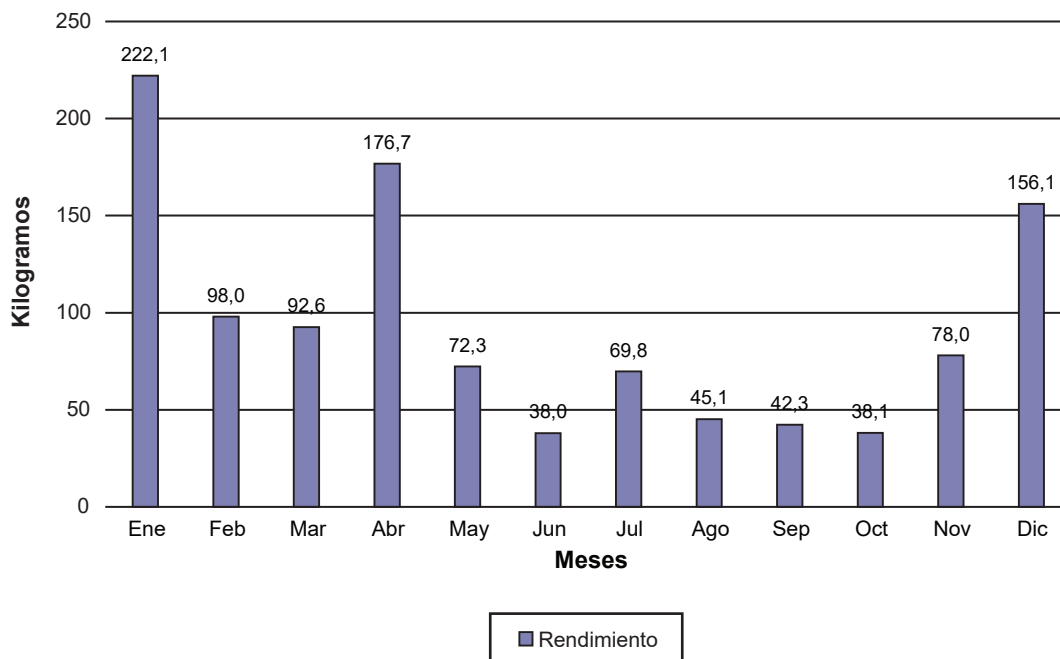


Figura 1. Rendimiento (kg). Evolución mensual. Huerta Agroecológica.

Fuente: Elaborado para la presente edición.

| Tipo de cultivo | Rendimiento (kg) | Aporte porcentual (%) |
|-----------------|------------------|-----------------------|
| Fruto | 430 | 38% |
| Hoja | 414 | 37% |
| Raíz | 213,5 | 19% |
| Legumbre | 71,6 | 6% |
| Total | 1129 | 100% |

Tabla 1. Rendimiento y aporte porcentual por tipo de cultivo. Huerta de referencia (Parque Huerta Hospital Italiano San Justo).

Fuente: Elaborado para la presente edición.

| Tipo de nutriente | Grado de autoabastecimiento (%) | Superficie requerida para autoabastecimiento (m ²) |
|-------------------|---------------------------------|--|
| Sodio | 18% | 870,8 |
| Calcio | 27% | 568,1 |
| Potasio | 56% | 274,6 |
| Fósforo | 63% | 242 |
| Hierro | 81% | 188,7 |

Tabla 2. Minerales. Grado de abastecimiento alimentario logrado y superficie requerida para autoabastecimiento.

Fuente: Elaborado para la presente edición.

En la tabla 2 se presenta el grado de autoabastecimiento logrado por tipo de mineral y la superficie mínima necesaria para satisfacer las necesidades familiares. Se observó gran variabilidad en el balance por tipo de nutriente, lo cual deriva en grandes diferencias de superficies necesarias. Con lo cual, la superficie mínima estaría determinada por el nutriente en cuestión y no por una superficie única que garantice dicho balance.

El nutriente con menor aporte fue el sodio, con un 18% de los requerimientos familiares. En el caso del potasio y del calcio, el abastecimiento cubriría el 56 y 27% de la demanda, respectivamente. En el caso del fósforo, la producción predial logró cubrir el 63% de las demandas familiares.

El hierro fue proporcionalmente el mineral con mayor aporte, donde la producción de la huerta cubriría casi el total de los requerimientos (81,5%).

En el caso de las vitaminas, el comportamiento fue heterogéneo (tabla 3). Los aportes de vitaminas A, C, K y folatos fueron superiores a los requerimientos familiares. En el caso de la vitamina K, el aporte fue notoriamente superior a la demanda, donde una superficie cultivada de 16,9 m² sería suficiente para garantizar el requisito del grupo familiar. Para las vitaminas A y C, la producción fue excedentaria, duplicando las necesidades nutricionales. La vitamina B9,

o ácido fólico, cubrió con un ligero excedente los requisitos. Entre las vitaminas deficitarias, se podría cubrir alrededor de la mitad de la demanda de vitaminas del complejo B; mientras que la demanda de vitamina E solo se completaría en un 20% con aporte exclusivamente predial.

| Tipo de nutriente | Grado de autoabastecimiento (%) | Superficie requerida para autoabastecimiento (m ²) |
|-------------------|---------------------------------|--|
| Retinol (A) | 290% | 52,5 |
| Tiamina (B1) | 62% | 245,1 |
| Rivoflavina (B2) | 60% | 253,1 |
| Niacina (B3) | 41% | 370,1 |
| Vitamina C | 337% | 45,2 |
| Vitamina E | 20% | 781,5 |
| Folato (B9) | 113% | 134,8 |
| Vitamina K | 901% | 16,9 |

Tabla 3. Vitaminas. Grado de abastecimiento alimentario logrado y superficie requerida para autoabastecimiento.

Fuente: Elaborado para la presente edición.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La huerta en estudio generó una productividad anual superior a la descrita en antecedentes internacionales, que oscilaron entre los 1 a 6,34 kg/m² (Rabin *et al.*, 2012; CoDyre *et al.*, 2015; Gittleman *et al.*, 2012); aunque muy similares a los registros regionales (Vorraber *et al.*, 2014; Leveratto y Pescio, 2010). La productividad media es una variable fuertemente contextual, en tanto va a depender de las condiciones climáticas (temperaturas medias, disponibilidad de agua, momentos anuales adversos), tipo de sustratos utilizados y manejo. De esta manera para realizar comparaciones.

En lo que respecta a los aportes alimentarios, el aporte general de las vitaminas fue mayor al de los minerales. El sodio fue el mineral con menor aporte. Sin embargo, de acuerdo con Tolonen (1996a), solo el 12% del sodio consumido proviene de fuentes naturales, donde el 88% restante es provisto artificialmente. Dado que el sobreconsumo de sodio es uno de los mayores problemas alimentarios, el acceso a alimentos bajos en sodio es un rasgo positivo.

En el caso del hierro y del calcio, ambos nutrientes son esenciales para el equilibrio homeostático corporal. El calcio es crítico para el desarrollo y mantenimiento óseo, mientras que el hierro es esencial para la formación de este mineral suele ser de difícil absorción. Su biodisponibilidad aumenta cuando se consume en medios ácidos, como es el caso del ácido ascórbico (vitamina C) (Tolonen, 1996b). Por una parte, para el hierro, la producción de la huerta

casi cubrió el total de los requerimientos (81,5%) Sin embargo, el hierro de origen vegetal (presente habitualmente bajo la forma no hemo) suele mostrar una biodisponibilidad menor al de origen animal (forma hemo) (Caballero *et al.*, 2005). Por otra parte, la absorción aumenta cuando se ingiere junto con las vitaminas C, B6, B12 y ácido fólico (presentes en las hortalizas). Si bien ambos minerales mejoran su absorción en medios ácidos, el calcio se comporta como un antagonista del hierro, ya que su absorción es inversamente proporcional al de este último mineral (Caballero *et al.*, 2005). Es decir, el consumo variado de alimentos ricos en vitaminas facilita la biodisponibilidad del hierro, pero si cuentan con altos niveles de calcio, ambos compiten.

En el caso del fósforo, la producción predial logró cubrir el 63% de las demandas familia. El aporte relativo del fósforo a través de verduras frescas es bajo, ya que los productos con mayor aporte son de origen animal (leche, huevo y carnes) y frutos secos, en menor proporción.

Para las vitaminas, el comportamiento fue heterogéneo (tabla 3). En el caso de las vitaminas A, C, K y folatos, los aportes de la parcela fueron superiores a los requerimientos familiares. En el caso de la vitamina K, el aporte fue notoriamente superior a las demandas, donde una superficie cultivada de 16,9 m² cubriría las demandas de la familia. Esta vitamina interviene en el proceso de coagulación de la sangre. Está presente en numerosos tipos de alimentos, pero la fuente más rica son las verduras de hoja, bajo la forma de filoquinonas (Zempleni *et al.*, 2013).

La vitamina A, cuya principal fuente son los carotenoides, es esencial en los procesos de visión, en desarrollo embrional, diferenciación celular y tisular, y en el sistema inmune. Es además un potente antioxidante. Estos pigmentos están presentes en hortalizas, especialmente aquellos con colores amarillos, rojos y naranjas, como zanahorias, zapallos, col rizado y tomates (Zempleni *et al.*, *Ibid.*).

La vitamina C, o ácido ascórbico, también fue excedentaria. Una superficie de 45 m² llegaría a cubrir dicha demanda. La vitamina C interviene en numerosos procesos bioquímicos y fisiológicos, siendo un importante antioxidante. Además, el consumo de vitamina C estimula la bioabsorción del hierro. Para el caso en estudio, el aporte producido en la huerta es más de tres veces superior a los requerimientos de la familia.

La vitamina B9, o ácido fólico, tuvo un aporte ligeramente excedente. La principal fuente alimentaria son verduras de hojas y legumbres.

Entre las vitaminas deficitarias, los aportes de vitaminas del complejo B (exceptuando B9) fueron cercanos a la mitad de las necesidades familiares. Este grupo de vitaminas se asocian al normal funcionamiento de una gran variedad de procesos fisiológicos. Las fuentes de provisión de este complejo vitamínico son diversas (carne, cereales, lácteos y verduras) y su carencia suele estar acompañada con deficiencia severa de otros nutrientes. Los síntomas de carencia se han descrito para zonas con fuerte privación alimentaria o bien ante ciertos antagonistas

particulares que restrinjan su bioabsorción (WHO y FAO, 2004). Por lo tanto, el aporte del Complejo B desde la huerta familiar puede ser considerable, pero no determinante para garantizar las necesidades del grupo familiar, en tanto hay una multiplicidad de alimentos que lo aportan.

En el otro extremo, la vitamina E fue la que menor aporte predial generó cubriendo 20% de la demanda total. Esto puede ser explicado porque esta vitamina presenta alta concentración en frutos secos y aceites de origen vegetal (WHO y FAO, *Ibid.*).

De acuerdo al diagnóstico del estado alimentario de los sectores populares argentinos realizado por Aguirre (2004), el mayor problema alimentario no está dado por el acceso a alimentos energéticos, sino por el subconsumo de vitaminas y minerales. Dan cuenta de esto los elevados y crecientes niveles de obesidad, originada por dietas ricas en carbohidratos, grasas y azúcares (Galante *et al.*, *Op.Cit.*). Vinculado a esto también se encuentra un progresivo aumento del consumo de sodio, relacionado con alimentos de origen industrial. Las carencias en vitaminas y mineral se asocian a consumos insuficientes de frutas y hortalizas. En tanto estas pueden ser provistas mediante el mercado o la autoproducción, la AU es claramente un instrumento que puede mejorar esta situación.

Este trabajo se centró en el estudio de un caso particular, para una campaña productiva específica. En tanto el aporte y la productividad de la huerta será el resultado de la interacción de factores ambientales (tipo de suelo, restricciones climáticas) genéticos (especies cultivadas y tipo de semilla) y de manejo, los resultados son valiosos, pero abren la necesidad de contar con estudios transversales que sean estadísticamente representativos de las huertas traspatio a nivel regional y su aporte a la situación alimentaria de las personas involucradas.

En el caso en estudio se observó que la producción de una huerta familiar no alcanzó a satisfacer las demandas nutricionales completas en vitaminas y minerales para una familia tipo del Gran Buenos Aires. Tampoco sería correcto hablar de una única superficie mínima que garantice dicho acceso. Para algunos nutrientes, como la vitamina C, el aporte podría ser cubierto con superficies similar al esperable en predios urbanos. Por el contrario, nutrientes como el potasio requerirían una notable expansión de la superficie cultivada.

Si se considera que de acuerdo con Clichevsky (2007) la superficie promedio de los lotes urbanos en el AMBA no supera los 500 m² (sin incluir edificaciones), la estrategia de lograr el autoabastecimiento alimentario a partir de huertas traspatio, como única fuente de provisión alimentaria, estaría acotada, especialmente en las zonas con alto nivel de urbanización. Sin embargo, por un lado, en zonas con mayor superficie disponible la oferta sería mayor; y por el otro, la provisión de alimentos no puede centrarse exclusivamente en la autoproducción, sino que esta generalmente se incluye en una estrategia más amplia de obtención de alimentos por parte de la unidad doméstica.

La promoción de la horticultura traspatio por parte de

las políticas públicas alimentarias no puede resolver por sí sola la problemática del acceso popular a alimentos saludables o revertir la existencia de “desiertos verdes”, en tanto estos son problemas multidimensionales. A pesar de eso, el desarrollo de las huertas traspatio puede ser un mecanismo de consideración para construir la seguridad alimentaria y acceder a nutrientes que son deficitarios para gran parte de la población urbana argentina, aún en superficies acotadas. Será necesario en estudios posteriores incluir los aportes de otros componentes de los sistemas traspatio, como son los frutales y la cría de animales de granja (como provisión de carnes, lácteos y huevos); y cuantificar el aporte regional de la Agricultura Urbana, ya sea como acciones particulares o bien a través de políticas públicas específicas (como el programa ProHuerta), en la provisión de alimentos saludables y la generación de otros servicios ecosistémicos y sociales.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, P. 2004. Ricos flacos y gordos pobres: la alimentación en crisis. Capital intelectual, Buenos Aires, 95 p.
- AGUIRRE, P. 2005. Estrategias de consumo: qué comen los argentinos que comen. CIEPP Miño y Dávila, Buenos Aires, 286 p.
- BARBERO, L. 2012. Estudio sobre hábitos de consumo de frutas y verduras de los consumidores cordobeses. Programa de Desarrollo Territorial en el Área Metropolitana de Córdoba – ADEC, 97 p.
- CABALLERO, B.; ALLEN, L.; PRENTICE, A. 2005. Encyclopedia of human nutrition. 2nd ed. Elsevier/Academic Press, Amsterdam Netherlands, 2190 p.
- CARBALLO, C. 2011. Soberanía alimentaria y producción de alimentos en Argentina. En: GORBAM, M. (Eds.): Seguridad y Soberanía Alimentaria. Buenos Aires, 191 p.
- CLICHEVSKY, N. 2007. La tierra vacante “revisitada”. Elementos explicativos y potencialidades de utilización. CUADERNO URBANO: Espacio, cultura, sociedad. 195-219; 1853-3655 pp.
- CODYRE, M.; FRASER, E.D.G.; LANDMAN, K. 2015. How does your garden grow? An empirical evaluation of the costs and potential of urban gardening. Urban Forestry & Urban Greening. 14:72-79. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.11.001>
- DIAZ, D.G.; GALLI, A.; BERGEZ, M.; CAZORLA, C.; VELÁSQUEZ, M.; LUPI, L.; RUBIÓ, M.; MONTAGNARI, M.A.; CASTRO, M.; SCHONWALD, J. 2008. La huerta orgánica. Ediciones INTA, Buenos Aires, 68 p.
- GALANTE, M.; O'DONNELL, V.; GAUDIO, M.; GEGUE, C.; KING, A.; GOLDBERG, L. 2016. Situación epidemiológica de la obesidad en la Argentina. Revista Argentina de Cardiología. 84:132-138. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v84.i2.8028>
- GITTLEMAN, M.; JORDAN, K.; BRELSFORD, E. 2012. Using citizen science to quantify community garden crop yields. Cities and the Environment (CATE). 5:4.1932-7048, (Disponible: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol5/iss1/4/> verificado: 15 de agosto de 2014).
- GREWAL, S.S.; GREWAL, P.S. 2012. Can cities become self-reliant in food? Cities. 29:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.06.003>
- INDEC. 2006. Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2004/2005.
- INTA. 2009. Presentación Institucional Programa Pro-Huerta. (Disponible: <http://www.inta.gov.ar/extension/prohuerta/ins/institucional.htm> verificado: 8 de julio de 2015).

- LEVERATTO, C.; PESCIO, F. 2010. Acercamiento al aporte productivo y económico de una huerta urbana familiar bajo modalidad agroecológica. Actas del xxxiii Congreso Argentino de Horticultura. ASAHO, Rosario.
- LOVELL, S.T. 2010. Multifunctional urban agriculture for sustainable land use planning in the United States. *Sustainability* 2:2499-2522. <https://doi.org/0.3390/su2082499>
- MOUGEOT, L.J.A. 2000. Urban agriculture: Definition, presence, potentials and risks, and policy challenges. *Cities Feeding People Series Report 31*. International Development Research Centre, Ottawa. 62 p.
- MOUGEOT, L.J.A. 2006. Cultivando mejores ciudades: agricultura urbana para el desarrollo sostenible. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, 109 p.
- OTTEN, J.J.; HELLWIG, J.P.; MEYERS, L.D. 2006. Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements. The National Academies Press, Washington, DC, 1344 p. <https://doi.org/10.17226/11537>
- PARÉS, G. 2009. Las funciones de la agricultura urbana y periurbana en La Matanza, desde la óptica de los propios agricultores, en la primera década del siglo XXI. Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Martín/Universidad Autónoma de Madrid, La Matanza, 150 p.
- PROVÉ, C.; DESSEIN, J.; DE KROM, M. 2016. Taking context into account in urban agriculture governance: Case studies of Warsaw (Poland) and Ghent (Belgium). *Land Use Policy* 56:16-26.0264-8377. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.025>
- RABIN, J.; ZINATI, G.; NITZSCHE, P. 2012. Yield Expectations for Mixed Stand, Small-Scale Agriculture. Monthly Briefing from Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station. Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station, Nueva Jersey, 10 p.
- SADLER, R.; GILLILAND, J.; ARKU, G. 2015. Theoretical issues in the 'food desert' debate and ways forward. *GeoJournal* 10.1007/s10708-015-9634-6.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 2018. Caracterización Climática. (Disponible: <http://www.smn.gov.ar> verificado: 19 de abril de 2018).
- TOLONEN, M. 1996a. Minerals and trace elements. En: TOLONEN, M. (Ed.). *Vitamins and Minerals in Health and Nutrition*. Woodhead Publishing, 148-197 p.
- TOLONEN, M. 1996b. Vitamins. En: TOLONEN, M. (Eds.). *Vitamins and Minerals in Health and Nutrition*. Woodhead Publishing, 99-147 pp.
- TORNAGHI, C. 2014. Critical geography of urban agriculture. *Progress in Human Geography* 38:551-567.0309-1325.
- USDA. 2018. Food table composition. (Disponible: <http://ndb.nal.usda.gov/> verificado: 12 de marzo de 2018).
- VARANO, L.C. 2016. Valoración de la producción hortícola de una huerta urbana en el partido de La Matanza. Tesis de grado. FAUBA, Buenos Aires, 47 p.
- VILJOEN, A.; HOWE, J. 2012. Continuous productive urban landscapes. Routledge, 304 p.
- VORRABER, L.B.S.; FERNANDEZ, E.L.; SCOFANO, M. 2014. Ecología urbana: diseño de espacios productivos comunitarios y evaluación de condiciones del medio de crecimiento y asociación de especies. *Multequina* 23:65-74.
- WARREN, E., HAWKESWORTH, S., KNAI, C. 2015. Investigating the association between urban agriculture and food security, dietary diversity, and nutritional status: A systematic literature review. *Food Policy* 53:54-66.0306-9192.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd. World Health Organization; FAO. Geneva, Roma, 341 p.
- ZEMPLINI, J.; SUTTIE, J.W.; GREGORY III, J.F.; STOVER, P.J. 2013. Handbook of vitamins. CRC Press, 605 p.

Condiciones laborales de los asalariados tamberos “El caso de La Cuenca lechera del Valle de Lerma en Salta”

MARTÍNEZ, G.M.¹; BERTONI, E.A.²; PAIS, A.³; MORENO, R.²; GANA, M.⁴

RESUMEN

La producción lechera de Salta se centra fundamentalmente en la región templada de explotación intensiva y dentro de esta en el Valle de Lerma. La cuenca del Valle de Lerma está constituida por 32 tambos que en promedio emplean alrededor de $7,7 \pm 2,9$ operarios/tambo; lo que representa alrededor de 200 familias que viven de esta actividad. Con el objetivo de evaluar la condición laboral de los asalariados tamberos e identificar aspectos limitantes en cuanto al grado de satisfacción laboral se llevó adelante una encuesta 101 operarios. La edad promedio de operarios del Valle es de $38 \pm 11,8$ años. El 59% de los encuestados vive en el campo en el que trabajan. Al ser consultados respecto a las necesidades de vivienda un 27% reportó que esta no cubre las necesidades básicas para su familia a la vez que un 43% declaró no poseer baño dentro de la vivienda. El salario que perciben los operarios en el 77% de los casos es de tipo fijo. En cuanto al régimen de descanso alrededor del 50% declaró hacerlo 1 vez cada 15 días. Si bien el 62% de los encuestados disfruta de la tarea que realiza diariamente solo el 45% se lo recomendaría a sus hijos. En virtud de los resultados obtenidos se puede concluir que es necesario implementar acciones tendientes a mejorar las condiciones laborales de los asalariados tamberos del Valle de manera que alcancen un grado satisfacción laboral mayor; ya que una persona satisfecha con su trabajo realiza su labor de forma animada, busca aprender y mejorar sus habilidades; lo que sin dudas repercutirá en la productividad de la explotación tambera.

Palabras clave: noroeste argentino, operarios, satisfacción laboral, tambos.

ABSTRACT

The dairy production of Salta mainly focuses on the temperate region of intensive exploitation in the Lerma Valley. In the dairy basin of this valley there are 32 dairy farms which on average employ about 7.7 ± 2.9 workers / dairy farm; this represents about 200 families who live from this activity. A survey of 101 workers was carried out with the aim of evaluating the labor status of the workers and identifying limiting aspects regarding the degree of job satisfaction. The average age of workers in the Valley is 38 ± 11.8 years. 59% of the respondents live in the field in which they work. When asked about housing needs, 27% reported that they did not cover basic needs for their family, while 43% stated that they did not have a bathroom inside the house. The salary that the workers perceive in 77% of the cases is fixed rate. As for the rest regime about 50% stated to do it once every 15 days. While 62% of the respondents enjoy the task they do daily, only 45% would recommend

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta, Ruta Nacional 68, km 172 (4403) Cerrillos, Salta, Argentina. Correo electrónico: martinez.gabriela@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta, Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS, INTA Leales), Chañar Pozo s/n (T4113), Tucumán, Argentina.

³Universidad Nacional de Salta.

⁴CREA Valles Templados.

it to their children. Based on the results obtained, it is possible to conclude that it is necessary to implement actions tending to improve the working conditions of the wage workers in Valle in order to achieve a higher degree of job satisfaction. Since a person satisfied with his work performs seeks to learn and improve his skills is undoubtedly that contribute this situation will affect positive the productivity of the farm.

Keywords: *Argentina's northwest, workers, job satisfaction, dairy farm.*

INTRODUCCIÓN

La producción láctea en Argentina se concentra en la región de La Pampa húmeda, en particular en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Sin embargo, en las regiones extrapampeanas se han desarrollado pequeñas cuencas tamberas con la finalidad de proveer de leche para el abasto, o sea el consumo sin procesar, y también para la industrialización.

La producción lechera de Salta se centra fundamentalmente en la región templada de explotación intensiva y dentro de esta en el Valle de Lerma (Bianchi, 1992). Este se encuentra ubicado entre los paralelos 24° 30' y 25° 37' de latitud sur y los meridianos 65° 22' y 65° 40' oeste, lo que representa un área total de 17.000 km² de extensión, albergando así a los departamentos de La Caldera, Capital, Rosario de Lerma, Cerrillos, Chicoana, La Viña y parte de Gral. Güemes. Del total de la población de la provincia de Salta (1.215.207 habitantes), esta región concentra al rededor 50% (INDEC, 2010).

El Valle de Lerma se encuentra situado entre las inmediaciones de la Precordillera de los Andes al oeste y las Sierras Subandinas al este, a una altura media que varía entre los 1100 y 1450 metros sobre el nivel del mar con precipitaciones que van de más de los 1.000 mm en las serranías y piedemonte al norte y oeste del valle, a menos de 400 mm al sureste. Si bien el promedio anual de precipitaciones es de 900 mm, se destacan dos períodos bien definidos: uno lluvioso que abarca desde fines noviembre a mediados de abril y otro seco que va desde los meses de mayo a noviembre. La temperatura promedio del Valle es de 16,7 °C. Los suelos del Valle por lo general son no salinos, presentan escaso desarrollo pedogenético, y a su vez, pueden ser considerados de pobre contenido en materia orgánica (1,35%) (Vargas Gil, 1999).

En general estas características son óptimas para producir tabaco de calidad; actividad agrícola principal y base de la economía regional del Valle. Dentro de otras actividades agrícolas también se destacan la producción de hortalizas de primicia, poroto, maíz para grano y maíz para choclo. La principal actividad ganadera de la zona es la tambera; actividad en general desarrollada a nivel predial en forma conjunta al tabaco.

Históricamente dentro del complejo tabaco-tambo, la actividad central y de mayor rentabilidad era la tabacalera, por lo que el tambo revestía el carácter de actividad com-

plementaria. En la actualidad dada la coyuntura de los precios internacionales del tabaco y el precio de los insumos la tendencia se está invirtiendo, es decir, el tambo se está consolidando como la principal producción productiva de estos establecimientos, fenómeno netamente vinculado a aspectos financieros. La actividad tambera en general es desarrollada a nivel predial en forma conjunta al tabaco, de esta manera algunos productores optan por una estrategia de diversificación que les permite sostener la explotación a pesar de las variaciones cíclicas en el precio de los respectivos productos, y aprovechando más las posibilidades de sus campos con una estrategia de mayor sostenibilidad, no solo económica sino también ambiental.

La cuenca del Valle de Lerma está constituida por 32 tambos donde el promedio de animales en ordeño por tambo oscila entre las 208 ± 105 vacas. En la producción media por explotación se encuentran variaciones que van de 21,5 ± 5,3 l/vaca/día y el promedio por tambo es de 4900 l/día. El sistema de producción predominante es de tipo pastoril, sobrepasturas templadas con altas tasas de suplementación. En lo que respecta al personal, se estiman alrededor de 7,7±2,9 operarios/tambo; lo que representa alrededor de 200 familias que viven de esta actividad (Suarez y Martínez, 2015). A su vez el nivel de tecnología e infraestructura predial, la genética y la dieta animal, así también como los planteos productivos presentes en el Valle responden claramente sistemas de alta producción de leche (Martínez y Suárez, 2015).

En cuanto a la estructura de organización a nivel de explotación lechera, en la mayoría de los establecimientos salteños se detecta un modelo de gestión común: un "patrón" (dueño del capital con escasa presencia en el establecimiento y variable grado de involucramiento), un encargado (quien coordina el total de actividades relacionadas con el tambo a la vez que tiene alguna tarea específica en el día a día como puede ser la inseminación o la sanidad animal) y el resto de los trabajadores tamberos (que por lo general realizan actividades específicas vinculadas a la crianza, ordeño, recría, alimentación o riego de cultivos). A su vez, la mayoría de los establecimientos lecheros cuentan con asesoramiento externo vinculado a la reproducción, sanidad y alimentación animal.

En 1943, el psicólogo Abraham Maslow introdujo su teoría de la jerarquía de necesidades, que establece que las necesidades humanas siguen una estructura jerárquica. Primero, necesidades fisiológicas básicas (como alimen-

tos, el agua y el sueño) deben cumplirse, seguidos de la seguridad (seguridad del empleo, la familia, la propiedad y la salud) y el contacto social (familia, amistad e intimidad), y finalmente la estima (confianza, logros, respeto por y para los demás) y la autoestima actualización. Por su parte, Kahn (1990) sugiere que los empleados pueden usar diversos grados de sí mismos física, cognitiva y emocionalmente en los roles que desempeñan. Es por ello que esto resulta ser un factor clave en los resultados productivos del tambo, en este sentido cobra especial relevancia la motivación que tiene el trabajador por la tarea que desempeña en el sistema productivo tambero. Definimos a la motivación por el trabajo como la combinación entre el grado de satisfacción tanto de la remuneración percibida como del desarrollo personal. Consideramos que la falta de motivación laboral de los operarios representa una situación que desestabiliza y compromete la sustentabilidad social de las empresas lecheras.

Teniendo en cuenta lo afirmado en los párrafos anteriores, y dada las particularidades de la relación entre trabajadores y empresarios en las explotaciones tamberas de la región, nos motivó a emprender el presente trabajo con el objetivo de evaluar la condición laboral de los asalariados tamberos del Valle de Lerma e identificar aspectos limitantes en cuanto al grado de satisfacción laboral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la cuenca lechera de la provincia de Salta y que abarca parte de los departamentos Capital, Rosario de Lerma y Cerrillos fundamentalmente. El total de establecimientos encuestados pueden ser considerados como explotaciones tipo, por lo que coinciden con la caracterización de Suárez y Martínez (2015).

Durante los meses de enero a marzo de 2016 se llevó adelante una encuesta a 101 operarios, es decir el 50% de los operarios que Suárez y Martínez (2015) relevaron. Los encuestados representaban a 19 tambos de la cuenca salteña, lo que significa un 70% del total de explotaciones lecheras locales. Cabe destacar que se invitaron a participar de la encuesta a todos los dueños y encargados de los establecimientos lecheros y que solo se relevaron los datos de los campos en los que se contó con el consentimiento de los dueños.

El cuestionario utilizado fue elaborado por la comisión de lechería de CREA en el marco del proyecto "Factor Humano". Este constó de 58 preguntas que buscaron relevar datos que permitieran caracterizar la población de estudio, el grado de acceso a los servicios básicos como vivienda, educación, transporte y comunicación, y el nivel de formación en lo que respecta actividades relacionadas con el tambo; a su vez para poder conocer el nivel de bienestar laboral de los operarios se formularon preguntas referidas al trato que reciben por parte del dueño y los profesionales que asesoran al establecimiento, el régimen de contratación y de descansos del que gozan, el grado de satisfacción con el sueldo que perciben, si el establecimiento en

el que trabajan procura la continuidad en su formación en temáticas vinculadas al tambo; y por último se le pidió a cada asalariado su visión/opinión sobre el trabajo que realiza. El tiempo promedio de recolección de información fue de alrededor de 20 minutos por operario; resulta oportuno mencionar que antes de cada visita a los establecimientos se pactó día y horario de conveniencia con los encargados para evitar interferir en la jornada laboral de los empleados.

Los datos relevados fueron analizados mediante el paquete Excel de Microsoft Office mediante herramientas de estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la población de estudio

El 87% de los encuestados resultaron hombres vinculados a actividades tales como el ordeño, la alimentación o la reproducción; por su parte las mujeres (13%) son las que llevan adelante las tareas relativas a la crianza artificial de los terneros, una situación similar se presenta en las cuencas centrales (Pardías, 2003). El 62% de los operarios de tambo se encuentra en la franja etaria de los 31 a los 50 años, siendo la edad promedio de $38 \pm 11,8$ años.

En cuanto al grado de educación formal de los trabajadores, el 62% cuenta con estudios secundarios completos y el 5% con estudios superiores finalizados; mientras que un 12% de los encuestados no logró finalizar los estudios primarios. Si bien Argentina es conocida por sus niveles educativos relativamente elevados de su población dentro de América Latina, existen grandes disparidades entre áreas rurales y urbanas (Olea, 2016). En cuanto a los datos obtenidos en el presente trabajo respecto al grado de alfabetización no se evidenciaron diferencias significativas con lo reportado por el INDEC (2010) para la zona urbana de la provincia de Salta; esto posiblemente se deba a que los departamentos de Rosario de Lerma y Cerrillos, área central de la producción lechera de la provincia, se encuentran muy próximos a la capital provincial (15 y 35 km respectivamente) y perfectamente comunicados con ella; a la vez que presentan un alto grado de urbanización si es que se los compara con el resto de los departamentos de importancia agrícola ganadera de la provincia (INDEC, 2010).

Acceso a servicios básicos: vivienda, educación, transporte y comunicación

El 59% de los encuestados habita en el campo en el que trabajan, mientras que el resto reside a menos de 15 km del tambo. A su vez, el 86% de los operarios manifestó vivir con su familia. Al ser consultados respecto a las necesidades de vivienda un 27% reportó que esta no cubre las necesidades básicas para su familia mientras que un 29% manifestó que las cumple parcialmente. En la figura 1 se presentan los resultados asociados a la vivienda.

En lo que respecta a la educación, el 66% manifestó estar de acuerdo con el nivel de educación que poseen, mien-

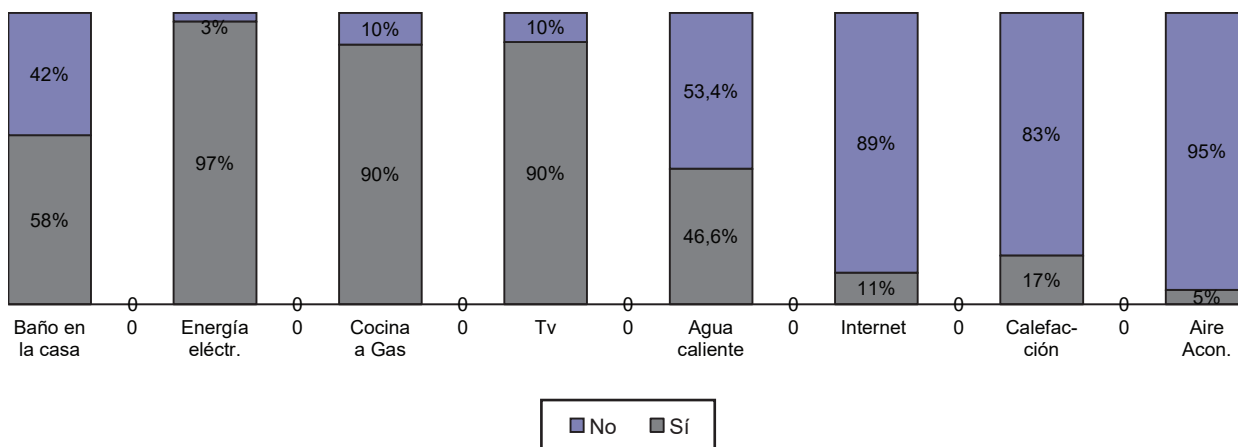


Figura 1. Porcentaje de operarios en función a la accesibilidad a servicios asociados a la vivienda.

tras que un 16% reportó no estarlo. También se les consultó en cuanto al grado de formación de sus hijos, el 84% se consideró satisfecho con el nivel de educación que pueden brindarles a sus hijos. A su vez, los operarios de tambo afirman que es viable darles a sus hijos la posibilidad de estudio dado que poseen un trabajo con cierto grado de estabilidad y un ingreso tal que permite que sus hijos se eduquen y no trabajen, además aseguran de que el hecho que las escuelas públicas se sitúen a cortas distancias de sus viviendas hacen a la educación más accesible; el 85% de los hijos de los empleados tamberos acuden a escuelas que se encuentran a menos de 5 km de sus hogares.

En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos al consultar a los asalariados respecto al grado de acuerdo en cuanto a las posibilidades que tienen de acceso al transporte y la comunicación. Es de destacar que si bien el 73% reportó llevar adelante la comunicación telefónica y en el 100% de los casos a través de teléfonos celulares. Sola-

mente un 26% tiene acceso a servicio de internet, esto se explica en la mayoría de los casos porque los asalariados han reportado que son sus hijos los que hacen uso de esta tecnología dado que ellos no se han interesado o no han podido aprender a utilizarla; es así que prefieren pagar por este servicio para que sus hijos puedan acceder de esa manera a la comunicación telefónica.

Formación tambera de los asalariados

Para conocer el motivo por el que los operarios han decidido trabajar en el tambo se les consultó respecto a qué razón los llevó a elegir esta actividad. El 32% manifestó tener vocación para hacerlo mientras que un 15% lo asocia a una cuestión de tradición familiar (cabe destacar que los inicios producción lechera en el Valle de Lerma se remonta a más de 60 años), a su vez un porcentaje similar considera que es “lo único que sabe hacer”. Lo que resulta importante de

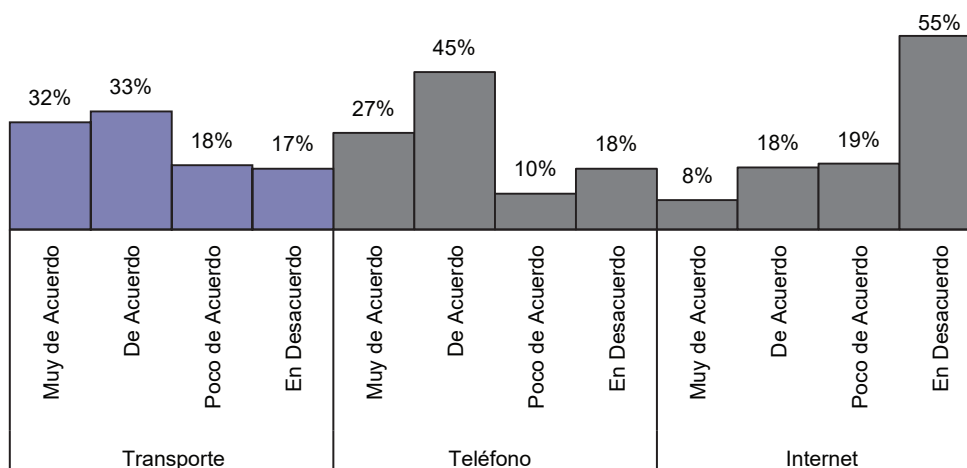


Figura 2. Porcentaje de operarios en función al grado de acuerdo respecto al acceso al transporte y la comunicación.

destacar es que el 10% de los operarios que realizan actividades relacionadas con la producción de leche lo hace por los buenos salarios que estas les proveen, a su vez un 20% de estos asegura que a través de estos salarios buscan generar ahorros para dedicarse luego a otra actividad.

En cuanto a la antigüedad de los asalariados en actividades vinculadas a la lechería un 58% reportó contar con más de 5 años de experiencia y un 20% con 3 a 5 años. Respecto al tiempo que llevaban trabajando en la firma de la que son empleados actualmente la frecuencia de distribución obtenida fue similar; a su vez el 62% de los encuestados manifestó haber recibido algún tipo de capacitación promovida por la empresa de la que forman parte en el presente. Los datos obtenidos en el Valle de Lerma ponen de manifiesto una clara diferencia con las cuencas centrales, donde la baja tasa de permanencia de los operarios en los establecimientos lecheros, el 70% está menos de 4 años, compromete significativamente el desempeño de las empresas lecheras y atenta con el interés por parte de los productores de facilitarles instancias de capacitación al personal "temporal" (Baudracco *et al.*, 2014).

Bienestar laboral

Salario, régimen de contratación y jornada laboral

El salario que perciben los operarios en el 77% de los casos es el indicado por los organismos competentes del Estado (de tipo fijo), es decir, que reciben el importe que establece el ministerio de empleo en virtud del tipo de trabajo realizado; a su vez el 100% de los encuestados se encuentra vinculado a la empresa en la que trabaja por medio de la modalidad de relación de dependencia permanente. Cabe destacar que el régimen contratación que predomina en el Valle varía significativamente de los que son frecuentes entre los trabajadores de las cuencas centrales en donde, además de existir operarios en relación de dependencia, se destaca la figura del "tambero mediero", es decir, aquel sujeto que establece algún acuerdo de aparcería con el dueño de los medios de producción, por lo que podría considerarse como la figura de socio (Cominiello, 2010).

Al ser consultados los trabajadores acerca del grado de satisfacción en el que se encuentran en función al salario que perciben solamente un 37% manifestó estar totalmente satisfecho; mientras que alrededor del 50% declaró estarlo en forma parcial dado que este no les resulta suficiente para hacer frente a su situación familiar. Si bien es cierto que el dinero no es el único motor que impulsa el trabajo en los seres humanos y que las personas necesitamos también de otras clases de motivaciones como lo son el reconocimiento y el trato cordial, es importante tener presente que al no encontrarse a gusto los operarios ya sea con la retribución económica -salario económico- o con la retribución de carácter no económico asociada con las necesidades personales, familiares y la calidad de vida -salario emocional- que perciben estaremos ante personas con diferentes grados de insatisfacción; insatisfacción que incidirá en la productividad de las empresas tamberas (Sáiz, 2001).

La jornada laboral diaria, del 73% de los encuestados, es de entre 8 a 10 horas; la distribución de la carga horaria es similar entre la mañana y la tarde (6:00 a 12:00 h y de 14:00 a 18:00 h), a su vez un porcentaje similar (72%) fue obtenido al consultar a los operarios respecto a si el tiempo de descanso diario les resultaba suficiente. Un 83% manifestó poder llevar adelante una vida social "normal" con el horario de trabajo establecido; resulta oportuno mencionar que la gran mayoría de los operarios que tienen hijos en edad escolar destacan que este horario de trabajo les da la posibilidad de almorzar con ellos y llevarlos/retirarlos de la escuela a las que asisten.

En cuanto al régimen de descanso alrededor del 50% declaró hacerlo 1 vez cada 15 días, a la vez que un 14% informó no contar con días de franco en el mes. Es importante destacar que se observa en igual proporción el régimen de descanso a día fijo (lo más usual es que sea un domingo cada dos semanas o un fin de semana al mes) o a pedido del trabajador; en esta última modalidad es el interesado quien tiene que acordar con sus compañeros respecto a su posibilidad de reemplazo. Por lo general los asalariados que manifestaron contar con 3 o más días al mes de descanso (5%) son aquellos que desempeñan funciones de encargado general en las explotaciones tamberas. A su vez, el 95% de los encuestados manifestó que los días asignados, previamente acordados, de descanso son respetados por parte de sus superiores.

Visión/opinión sobre el trabajo que realiza

Hertzberg (1966; citado por Manso Pinto, 2002) concluyó que, para lograr una satisfacción laboral aceptable, se deben cumplir ciertos factores que él denominó de higiene porque actuaban de manera análoga a los principios de la higiene médica: eliminando o previniendo los problemas de salud (por ejemplo, beneficios tangibles, remuneración, condiciones de trabajo, ambiente de trabajo físico y relaciones interpersonales). Sin embargo, también mencionó que se necesitaban factores como la posibilidad de responsabilidad y desarrollo, liderazgo, colaboración y diseño de trabajo para lograr un efecto motivador.

Es así que a los operarios encuestados se les consultó respecto a cuán cómodos se sentían en el día a día realizando sus labores en el establecimiento en el que se encontraban (figura 3) y cuáles eran a su criterio los aspectos tanto positivos (figura 4) como negativos (figura 5) de ser tamberos, es decir, de su profesión. Cabe mencionar que para relevar esto se recurrió al sistema de elección (no más de 3 en cada caso) de opciones fijas.

Resulta importante destacar que solamente un 3% de los encuestados consideró sentirse incómodo en su trabajo. Situación que resulta alentadora y contribuye a la retribución del salario emocional de los trabajadores tamberos. Esto a su vez coincide cuando se analizan los aspectos que consideran positivo de su rutina diaria, dado que el tipo de trabajo que realizan, el trabajar con hacienda y el clima laboral han resultado ser los más valorado por los operarios.

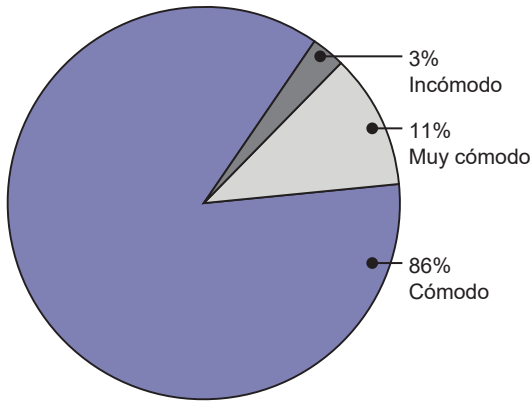


Figura 3. Porcentaje de operarios en función a cuán cómodos se sienten en su lugar de trabajo.

El barro y la lluvia como así también las temperaturas extremas, aunque en menor proporción, resultan ser los aspectos negativos más significativos del trabajo diario en el tambo. Si bien está socialmente aceptado que el trabajo en el campo es sacrificado dado la constaste exposición a condiciones climáticas adversas, es oportuno mencionar que al ser el tambo una actividad que se lleva adelante los 365 días del año los avatares de las inclemencias meteorológicas se vuelven aún más difíciles de sortear que en otras producciones agropecuarias. Dado que en Salta el régimen de lluvias es tipo monzónico, el intensificar el trabajar de mantenimiento de los caminos donde circulan tanto animales como operarios; como así también procurar la limpieza de los corrales de encierre durante los meses de verano; pueden resultar estrategias tendientes a menguar el efecto negativo del barro y la lluvia.

Conocimiento de los objetivos del sector de trabajo y de la empresa

Es posible reconocer dentro de la explotación tambera diferentes áreas de trabajo, por lo general asociadas al tipo de labor que se lleva adelante. Es así que se distinguen en todos los tambos visitados áreas de alimentación, ordeño, crianza de terneros, reproducción, sanidad, y mantenimiento de instalaciones y maquinarias. Ya que la concepción fragmentada del sistema de producción de leche pone a las personas en una situación desventajosa para lograr el éxito de sus tareas y más aún si desconocen los objetivos propios del sector al que cada una pertenece se preguntó a los empleados el grado de conocimiento del plan de trabajo, tanto del área a la que estaban afectados como así también de la empresa en general. Los resultados indican que un 35% de los encuestados no conoce los objetivos del sector en el que trabaja. A su vez un 63% del total de los operarios desconoce el plan de trabajo general de la empresa y solamente un 24% de los asalariados reveló conocerlo claramente; cabe destacar que en la mayoría de los casos este porcentaje obedece a respuestas vinculadas a encargados de campo. Los datos obtenidos no resultan extraños si es que se considera que un 58% de los encuestados manifestó no haber contado con ninguna capacitación de inducción al ingresar a la firma en la que se encuentran trabajando, es decir, que carecen de información respecto del proceso productivo y de cómo su labor repercute en los objetivos de las empresas. Esto tiene su explicación en que, por lo general, la participación de los operarios en las instancias de planificación es nula. Es sabido que la participación en la toma de decisiones, independientemente la escala y la magnitud, resulta un poderoso motivador para los trabajadores, es por ello que se indagó en este sentido a los operarios. El 94% de los encuestados manifestó que al ser consultados por algún tema en particular vinculado

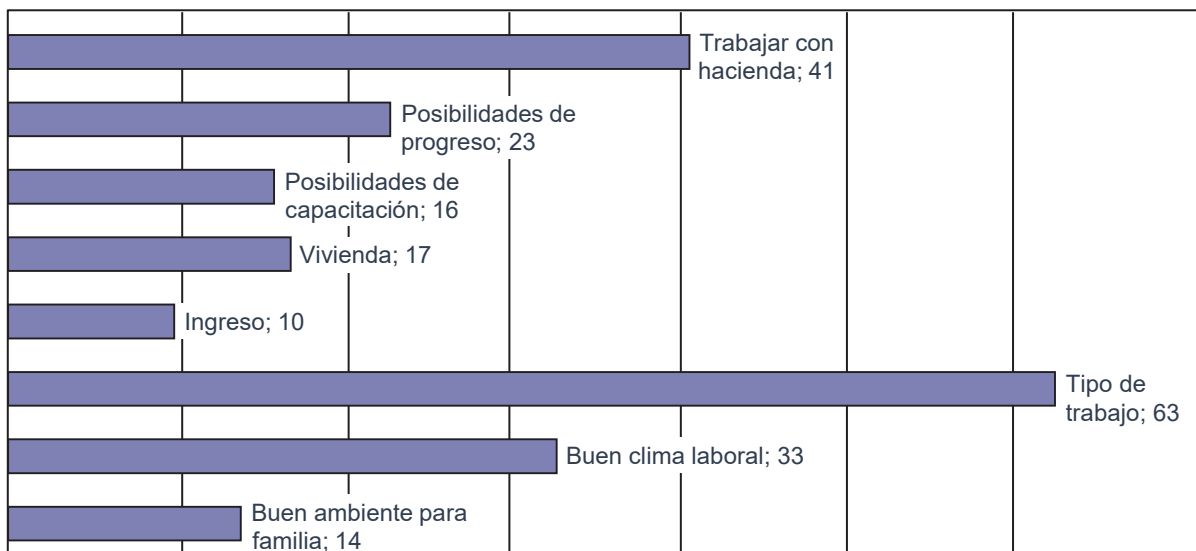


Figura 4. Aspectos positivos del trabajo diario: número de operarios que eligieron cada alternativa.

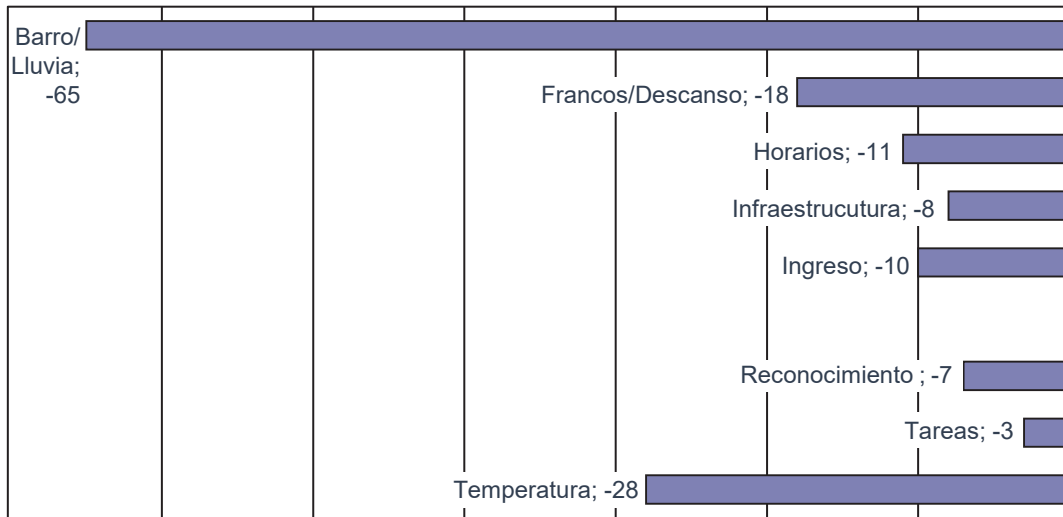


Figura 5. Aspectos negativos del trabajo diario: número de operarios que eligieron cada alternativa.

a sus actividades diarias dan su opinión al respecto, pero solamente un 46% considera que es tenida en cuenta.

Interacción con dueños y asesores

La gestión de los empleados si bien es reconocida como una función principal del manejo de los establecimientos lecheros (Hadley *et al.*, 2002; Hagevoort *et al.*, 2013), todavía es un área que necesita un mayor desarrollo por parte de los propietarios y administradores. Para que los tambos tengan éxito en el cumplimiento de los objetivos de calidad, producción y rentabilidad, los empleadores deben administrar bien a las personas y los empleados deben realizar su trabajo lo mejor que puedan. Se han informado las relaciones entre las prácticas de gestión de los empleados y las medidas de algún aspecto de la productividad del rodeo como por ejemplo la calidad de la leche (Schewe *et al.*, 2015) y la eficiencia del ordeño (Rodrigues *et al.*, 2005).

Sin embargo, las relaciones entre la gestión de los empleados y las medidas de rentabilidad de la explotación lechera rara vez se han estudiado y solo ocasionalmente se han demostrado (Stup *et al.*, 2006).

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos respecto al trato que reciben los empleados por parte del dueño. Tal cual se observa, un 16% declaró no tener trato con este; si se considera en conjunto se puede concluir que alrededor del 20% de los operarios de tambo no poseen una adecuada interacción con quien, en última instancia, es su jefe. Si bien un 52% reportó tener una buena relación, destacaron que esta se centra en un trato cordial, pocas veces asociado a cuestiones laborales.

Tal cual lo relevado en el Valle de Lerma, es importante destacar que en cuencas lecheras de sobrada relevancia internacional como la de Wisconsin en Estados Unidos se han detectado situaciones semejantes. Kayitsinga *et al.*

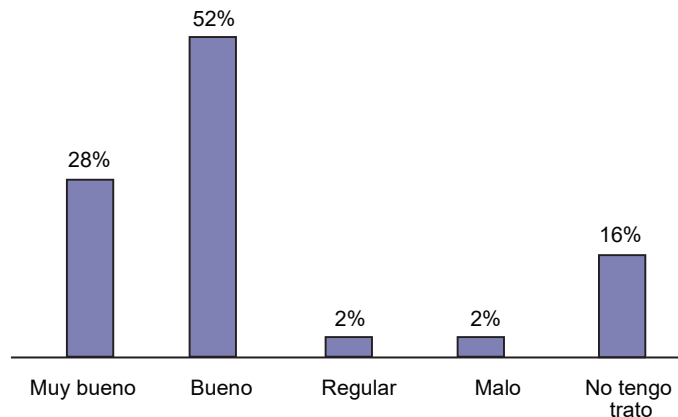


Figura 6. Porcentaje de distribución en función al trato recibido por los operarios por parte del dueño.

(2017) sugieren que, aunque los empresarios tamberos reconocen la importancia de encontrar y retener buenos empleados e incluso de motivar a los empleados con comentarios positivos, el interés en mejorar la gestión de los empleados ha sido históricamente limitado.

Si bien la encuesta no lo contemplaba, se indagó respecto a si tuvieran la posibilidad de hablar con los dueños de manera directa, que le demandarían con el objetivo de mejorar la relación y promover los espacios de diálogo e intercambio. Alrededor del 90% consideró como estratégico una mayor presencia por parte del dueño en la finca. Los asalariados relacionan directamente una presencia asidua con un mayor involucramiento y por ende un mayor interés en cuestiones vinculadas al tambo; resulta oportuno destacar esto dado que al ser varias de las explotaciones relevadas de tipo mixtas (tabaco-tambo) los operarios opinan que ellos se encuentran vinculados a una actividad secundaria, motivo por el cual el contacto con el dueño resulta marginal. A su vez consideran que el interés por el tambo se pone de manifiesto cuando termina la época de cultivo del tabaco (marzo) y este a su vez, depende inversamente del grado de cumplimiento de los objetivos fijados para la campaña tabacalera.

Lo mencionado anteriormente toma una relevancia sustancial para la gestión de los recursos humanos en la cuenca salteña, ya que se cree que la relación entre los empleados y su jefe inmediato es uno de los aspectos más importantes del entorno laboral y un componente clave de la satisfacción laboral, la retención y la rotación. La calidad de la supervisión es el grado en que los empleados sienten los valores de sus supervisores; y donde los elementos clave de esta relación son el respeto, el reconocimiento, la equidad y la comunicación abierta (Bhowmick *et al.*, 2012).

En lo que respecta al trato que reciben los operarios por parte de los asesores, tanto veterinarios como ingenieros agrónomos y zootecnistas, que visitan ya sea semanal o quincenalmente las explotaciones, un 68% reportó que estos les dispensan un trato cordial y amable; mientras que un 30% declaró no tener relación con los profesionales. Esto por lo general se debe a que hay algunas funciones

dentro de las explotaciones que no son injerencia de los asesores, como por ejemplo el manejo de tractores y del mixer (máquina que mezcla de manera homogénea los distintos ingredientes de la dieta animal), el trabajo de asistencia durante el ordeño el riego de los cultivos.

Percepción del trabajo en cuanto a la visión por parte de la sociedad y conformidad con este

Para indagar en cuanto a la percepción de los asalariados respecto al tipo de empleo que poseen se les preguntó cómo creían que la sociedad consideraba al trabajo que realizaban. El 60% opinó que para la sociedad su trabajo resulta ser considerado como sacrificado mientras que para un 34% cree que es calificado como un buen empleo. A su vez, se les consultó si ellos recomendarían tanto a un joven como a sus hijos dedicarse a actividades relacionadas con el tambo (figura 8). Resulta interesante ver los cambios en los porcentajes en el tipo de respuesta si es que se trata de un joven al que no conocen o de sus hijos; el 95% de aquellos que no desean el mismo empleo para sus hijos manifestó anhelar que ellos continúen sus estudios universitarios y que de trabajar en el tambo sea como un profesional del sector.

A fin de que los operarios pudieran dar su opinión, se los consultó respecto a que, si según su experiencia personal resultaría necesario, o no, llevar adelante cambios asociados a mejorar el grado de bienestar laboral de los asalariados; cabe mencionar que esta pregunta no contó con opciones fijas de respuesta. Un 75% consideró que si es necesario llevar adelante acciones que permitan mejorar la situación en la que trabajan; en primer término (37%) asocian como limitante del bienestar al régimen de francos y descansos del que gozan; a su vez aseguran que este es el motivo fundamental por el que cuesta tanto trabajo conseguir mano de obra en los establecimientos lecheros. En segundo lugar (31%) consideran el sueldo como un aspecto a mejorar; cabe mencionar que en la mayoría de los establecimientos relevados los haberes que perciben los operarios resulta el normado por el Ministerio de Trabajo, aunque es importante destacar que en no todos los casos

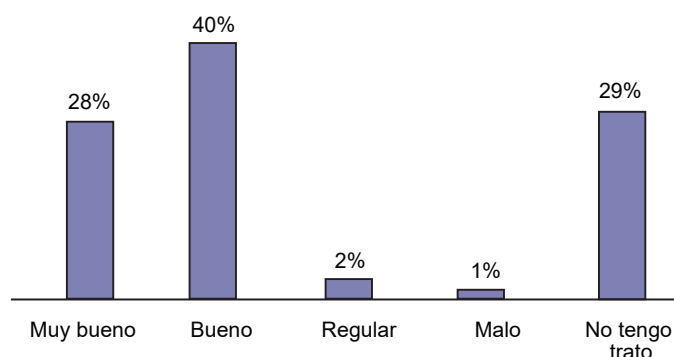


Figura 7. Porcentaje de distribución en función al trato recibido por los operarios por parte de los asesores.

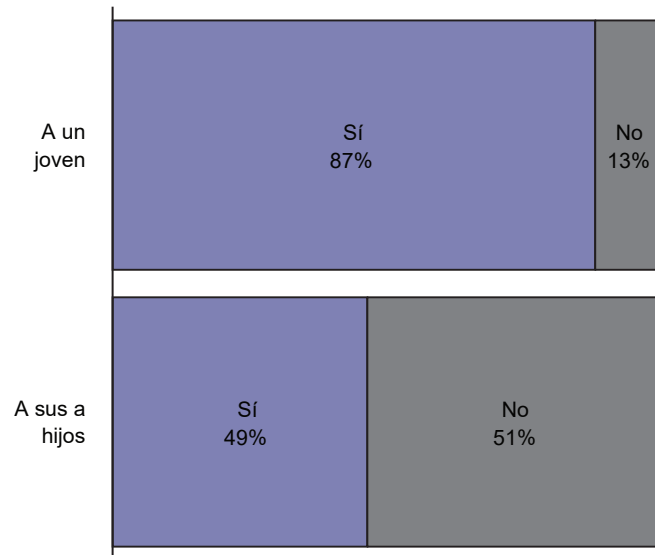


Figura 8. Porcentaje de operarios que recomiendan su trabajo a un joven y a sus hijos.

los trabajadores están dados de alta para la función específica que ejecutan en la explotación y son considerados, a pesar de no serlo, como peones generales.

En función a lo anteriormente mencionado es importante destacar lo manifestado por Milligan, (2017), quien sugiere que el éxito de las empresas lácteas dependerá cada vez más de la capacidad del empleador para desarrollar una fuerza laboral competente, motivada y apasionada.

CONCLUSIONES

En virtud a la encuesta realizada se ha podido constatar que un alto porcentaje de los asalariados tamberos de la cuenca del Valle de Lerma se encuentran conformes el tipo de trabajo que han elegido por vocación o tradición, y que aquellos que tienen contacto con dueños y asesores se sienten a gusto con el trato que reciben; aspectos fundamentales que contribuyen a un buen clima laboral.

A su vez, resulta oportuno mencionar que en varios de los establecimientos encuestados los operarios tamberos ven como una debilidad de sus trabajos el tipo de vivienda y grado de comodidad que les es ofrecida, la escasa cantidad de días de descanso al mes y, aunque en menor proporción, el salario de perciben. El detectar que en los establecimientos lecheros hay operarios que llevan más de un año de antigüedad y que desconocen los objetivos no solo de la empresa general, sino también del área en la que se encuentran trabajando; resulta un aspecto para abordar en el corto plazo si es que se pretende una mejora en los índices productivos de los tambos.

En virtud de la información obtenida se pone de manifiesto que si bien los trabajadores tamberos se muestran satisfechos con el tipo de labores que realizan y cómodos

dentro de las empresas en las que trabajan; resulta necesario implementar acciones que permitan mejorar aún más sus condiciones laborales, en lo que refiere a una vivienda familiar que satisfaga sus necesidades, al fortalecimiento de la interacción con los dueños y al fomento de la participación e involucramiento dentro de la explotación tambera. De esa manera es de esperar que alcancen un grado satisfacción laboral mayor; ya que una persona satisfecha con su trabajo realiza su labor de forma animada, busca aprender y mejorar sus habilidades; lo que sin dudas repercutirá en la productividad de la explotación tambera.

También es importante destacar el hecho que los productores hayan facilitado los medios para llevar adelante este trabajo, a la vez que se hayan preocupado por conocer la opinión general de sus operarios respecto al grado de satisfacción laboral, resulta alentador para la construcción de un nuevo paradigma de trabajo en lechería orientado al desarrollo integral de las personas que trabajan en los tambos y tendiente a la profesionalización del trabajador tambero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la predisposición de productores de la cuenca del Valle de Lerma por permitirles el acceso tanto a sus establecimientos como así también el diálogo con los operarios que ellos trabajan. A su vez, los autores agradecen a los operarios de tambo que han colaborado con su tiempo y paciencia durante todo el proceso de entrevistas y encuestas realizado en los respectivos establecimientos.

BIBLIOGRAFÍA

BIANCHI, A. 1992. Regiones productivas de Salta y Jujuy. Revista Panorama agropecuario N.º 41. 9-14 pp.

- BAUDRACCO, J.; LAZZARINI, B.; LYONS, N.; BRAIDA, D.; ROSSET, A.; JAUREGUI, J.; MAIZTEGUI, J. 2014. Proyecto ÍNDICES: Cuantificación de limitantes productivas en tambos de Argentina. Reporte Final. Convenio de Vinculación Tecnológica entre Junta Intercooperativa de Productores de Leche y Facultad de Ciencias Agrarias de Esperanza, UNL. 97 p.
- BHOWMICK, B.K.; ISLAM, N.; SAHA, D.K.; SIDDIQUE, A.B. NAZMUL, A.K. 2012. A Study on Employee Job Satisfaction of New Zealand Dairy Products BD Ltd. *IJBMT*, 2(11), 1-11.
- COMINIELLO, S. 2010. Los procesos de trabajo en los tambos de las cuencas lecheras de Santa Fe y Córdoba. vi Jornadas de Sociología de la UNLP. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología, La Plata. (Disponible: <http://www.academica.org/000-027/399> verificado: 09 de enero de 2019).
- HADLEY, G.L.; HARSH, S.H.; WOLF, C.A. 2002. Managerial and financial implications of major dairy farm expansions in Michigan and Wisconsin. *J. Dairy Sci.* 85,2053-2064.
- INDEC. 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. (Disponible: <http://www.indec.gov.ar/> verificado: 20 de diciembre de 2018).
- KAHN, W.A. 1990. Psychological conditions of personal engagement and disengagement at work. *Acad. Manage. J.* 33:692-724.
- KAYITSINGA, J.; SCHEWE, R.L.; CONTRERAS, G.A.; ERSKINE, R.J. 2017. Antimicrobial treatment of clinical mastitis in the eastern United States: The influence of dairy farmers' mastitis management and treatment behavior and attitudes. *J. Dairy Sci.* 100,1388-1407.
- MARTÍNEZ, G.M.; SUÁREZ, V.H. 2015. Relevamiento de indicadores productivos de los tambos del Valle de Lerma, Salta. *RAPA*, 35(1),108.
- MANSO PINTO, J.F. 2002. El legado de Frederik Irving Herzberg. *Revista Universidad EAFIT* 128, 79-86.
- MASLOW, A. 1943. A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50, 370-396.
- MILLIGAN, R.A. 2017. Leadership for the farm business.. En: BEEDE, D.K. (Ed.). *Large Dairy Herd Management*. 3rd ed. Am. Dairy Sci. Assoc., Champaign, IL. 1179-1187 pp.
- OLEA, M.M. 2016. Ruralidad y educación en argentina: instituciones, políticas y programas. (Disponible: <http://www.oppad.uns.edu.ar/docs/trabajos/congresos/ruralidad%20y%20educacion.pdf> verificado: 11 de enero de 2019).
- PARDÍAS, S. 2013. El trabajo familiar en pequeños tambos entrerrianos como estrategia de organización y reproducción social. *Memorias del 11.º Congreso Nacional de Estudios del Trabajo*, Buenos Aires. 29 p.
- RODRIGUES, A.C.O.; CARAVIELLO, D.Z.; RUEGG, P.L. 2005. Management of Wisconsin dairy herds enrolled in milk quality teams. *J. Dairy Sci.* 88,2660-2671.
- SAÍZ, E. 2001. El Salario Emocional. *Deusto en directo*, 15,56-59.
- SCHEWE, R.L.; KAYITSINGA, J.; CONTRERAS, G.A.; ODOM, C.; COATS, W.A.; DURST, P.; HOVINGH, E.P.; MARTINEZ, R.O.; MOBLEY, R.; MOORE, S.; ERSKINE, R.J. 2015. Herd management and social variables associated with bulk tank somatic cell count in dairy herds in the eastern United States. *J. Dairy Sci.* 98,7650-7665.
- STUP, R.E.; HYDE, J.; HOLDEN, L.A. 2006. Relationships between selected human resource management practices and dairy farm performance. *J. Dairy Sci.* 89,1116-1120.
- SUÁREZ, V.H., MARTÍNEZ, G.M. 2015. Caracterización de los sistemas productivos de leche del Valle de Lerma, Salta. *RAPA*, 35(2),109.
- VARGAS Gil, J.R. 1999. Carta de suelos de la República Argentina, provincia de Salta- Valle del Lerma. Hoja 7 Cerrillos. *INTA-EEA Salta- Macroregión NOA*. 62-63 pp.

Shallot virus X: a hardly known pathogen of the genus *Allium*
Granda Jaramillo, R.; Flores, F.

Relevamiento y asignación taxonómica de himenópteros potencialmente polinizadores en un cultivo de soja
Blettler, D.C.; Gúndez, G.A.; Chemez, D.M.

Caracterización estructural y morfogenética de una colección de poblaciones naturalizadas de *Panicum maximum* Jacq. en Argentina
Ortega Masagué, M.F.; Erazzú, L.; Andrés, A.

Composition and thermal properties of starch in flint maize (*Zea mays*, L.) kernels: location and crop management effects
Actis, M.; Farroni, A.E.; Andrade, F.H.; Valentinuz, O.R.; Cirilo, A.G.

Chemical composition and *in vitro* digestibility of annual ryegrass varieties grown in greenhouse conditions
Alende, M.; Fluck, A.C.; Volpi-Lagrecia, C.; Andrae, J.G.

Incidencia de altas temperaturas durante el reproductivo sobre el rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum*) cultivado en diferentes distanciamientos entre surcos
Tcach, N.; Paytas, M.

Comportamiento de cultivares diploides y tetraploides de *Chloris gayana* Kunt (grama Rhodes) al sur del paralelo 40° en condiciones de riego
Miñón, D.P.; Gallego, J.J.

Forestación en pastizales: el rol de las especies y el manejo forestal sobre el proceso de salinización secundaria de suelos
Milione, G.M.; Mujica, C.R.; Bea, S.A.; Dominguez Daguer, D.; Gyenge, J.E.

Validación del gen de resistencia a “escaldadura” Rrs2 en los cultivares de cebada cervecera con mayor difusión en Argentina
González, G.A.; Moreyra, F.; Conti, V.A.; Vallati, A.; Giménez, F.J.

Evaluación de un modelo de producción de pasturas mediante pruebas empíricas
Nasca, J.A.; Berone, G.; Arroquy, J.I.; Feldkamp, C.; Colombatto, D.

A MODIS based tool to assess inundation patterns: an example for the Paraná Delta River
Durante, M.; Di Bella, C.M.

Análisis productivo y económico de sistemas silvo-apícola pastoriles en el norte de la provincia de Buenos Aires
Ferrere, P.; Signorelli, A.; Cabrini, S.M.

Balance entre la producción de una huerta agroecológica y la demanda nutricional de una familia tipo en el Área Metropolitana de Buenos Aires
Pescio, F.J.

Condiciones laborales de los asalariados tamberos “El caso de La Cuenca lechera del Valle de Lerma en Salta”
Martínez, G.M.; Bertoni, E.A.; Pais, A.; Moreno, R.; Gana, M.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina