

Avanzan sobre zonas poco conocidas del genoma de la célula vegetal



ENTREVISTA A VIVINA PARREÑO
"ASISTIMOS A UN MOMENTO HISTÓRICO DE LA MUJER EN LA CIENCIA"

CULTIVOS TRANSGÉNICOS, EL RETO DE CREAR UNA PAPA MÁS RESISTENTE

LA EDICIÓN GÉNICA Y LA AUTOMATIZACIÓN, EJES DE LA GANADERÍA DEL FUTURO



ISSN 0325-8718
ISSN 1669-2314

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 45 N.º 1
Abril 2019, 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

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidente:

Ing. Agr. Juan Balbín

Vicepresidente:

Ing. Mariano Miguel Bosch

Consejeros Nacionales:

Med. Vet. Carlos Alberto Antonio Vera - MinAgro
Ing. Agr. Oscar Arellano - Facultades de Agronomía
Ing. Agr. Horacio Abel Alippe - AACREA
Ing. Agr. Elbio Néstor Laucirica - CONINAGRO
Sr. Alejandro Lahitte - CRA
Dr. Pablo Paillole - FAA
Sr. Carlos Vila Moret - SRA
Dr. Carlos A. Arzone - Facultad de Veterinaria

Director Nacional:

Ing. Agr. Héctor Espina

Directores Nacionales Asistentes:

DNA Sistemas de Información, Comunicación y Calidad
Lic. Juan Manuel Fernández Arocena

DNA de Relaciones Institucionales
Dra. Ana Cipolla

DNA Planificación, Seguimiento y Evaluación
Dra. Susana Mirassou

DNA Organización y RR.HH.
Dra. Hebe Julián

DNA Administración CPN
Lic. Rosendo Tarsetti

Coordinadores Nacionales:

CN de Transferencia y Extensión
Ing. Ftal. Diego Ramilo

CN de Investigación y Desarrollo
Dr. Fernando Fernández

CN de Vinculación Tecnológica
Ing. Adolfo Luis Cerioni

STAFF

Dirección:

Dra. Norma Pensel
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 Insani

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.

Dra. Rosanna Nora Pioli. Universidad Nacional de Rosario (UNR). 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

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



Secretaría
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

Mejoramiento genético vegetal

Todas las variedades vegetales que hoy se cultivan son diferentes a sus antepasados silvestres ya que han sido modificadas y seleccionadas por sus propiedades a lo largo de diez mil años en función de las necesidades de la humanidad. El mejoramiento genético es el proceso por el cual se obtienen poblaciones genéticamente superiores para el o los caracteres de interés. Los materiales con los que se inicia el proceso deben presentar variabilidad genética de la cual seleccionar los mejores individuos. En plantas cultivadas de reproducción sexual el método tradicional para generar variabilidad es la hibridación o cruzamiento entre individuos que portan distintas características favorables para combinarlas en la progenie; esta metodología obviamente se limita a recombinar las variantes ya existentes en la población.

Por otro lado, en las plantas multiplicadas vegetativamente la tradición fue la selección de cambios genéticos que habitualmente ocurren en muy baja frecuencia en la naturaleza (mutaciones espontáneas).

A fines de la década de 1920 Lewis Stadler fundó las bases experimentales para el estudio de mutantes inducidas en especies cultivadas mediante rayos X, y más adelante también se difundió el uso de mutágenos químicos. La exposición de las plantas a agentes mutágenos acelera enormemente la aparición de mutantes al elevar la frecuencia de cambios en el ADN por encima de la tasa de mutaciones que ocurren espontáneamente en todos los organismos.

Entre los cultivos mejorados mediante técnicas de mutaciones inducidas se encuentran los principales cereales y oleaginosas, así como numerosas especies de hortalizas y cultivos industriales. Las características que fueron mejoradas son muy diversas: mayor tolerancia a estreses bióticos o abióticos, o, mayor calidad nutricional o industrial. Las variedades obtenidas a partir de mutaciones inducidas tienen una ventaja adicional de no tener que atravesar un circuito regulatorio; esto hace que una vez desarrollado el material las variedades que portan mutaciones útiles puedan salir al mercado rápida y económicamente.

En los años 80 surgió la biotecnología moderna como una nueva forma de mejoramiento vegetal. Utiliza técnicas denominadas -en su conjunto- de "ingeniería genética" que aportan de dos formas diferentes al mejoramiento: generando información del genoma (marcadores moleculares para análisis de diversidad, mapeo genético, selección asistida, entre otros) para realizar los cruzamientos controlados, o, modificando directamente el genoma para obtener nuevas variedades.

La modificación directa del genoma se logró por transgénesis y los organismos vegetales genéticamente modificados (OVGMs) son aquellas plantas que poseen uno o más genes introducidos por técnicas de transformación genética, que pueden provenir de otra especie completamente diferente. A nivel mundial, el primer OVGM fue comercializado en 1996. Actualmente, en el mundo, se comercializan varias especies vegetales modificadas genéticamente.

En el país se cultivan soja, maíz y algodón con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas. Se han aprobado, aunque no están aún en el mercado, papas con resistencia a virosis, soja con tolerancia a sequía y cártamo para la producción de una enzima para la industria láctea.

En el mundo se encuentran muchos otros cultivos como berenjenas, canola, alfalfa, papaya, manzanas o flores de cor-

te con diferentes características -resistencia a plagas o para tener una mejor respuesta en la poscosecha-. Sin embargo, a pesar de toda la evidencia científica y de uso que demuestra la inocuidad de estos cultivos, existen controles para su aprobación con exigencias de ensayos ambientales de altísimos costos y diversas trabas para su comercialización a nivel mundial.

En tanto, en la última década surgieron las Nuevas Técnicas de Mejoramiento (NBT, del inglés *New Breeding Techniques*) que permiten la introducción de cambios en los genomas de forma precisa y rápida. Una de las NBT con mayor potencial para el mejoramiento vegetal es la de edición génica -sistema CRISPR/nucleasas-.

Esta tecnología mediada por CRISPR ha sido adoptada rápidamente y se encuentran en desarrollo numerosos proyectos en cultivos de importancia productiva, tales como: soja (aumento de la calidad del aceite), cebada (regulación positiva de la dormición del grano), maíz (tolerancia a sequía), arroz (resistencia a hongos patógenos), papa (calidad en el contenido de almidón), trigo (resistencia a mildiu), entre otros. En los casos en los que la edición del genoma ocurre por inserción -agregado- o delección -quita- de una o unas pocas bases de ADN, los materiales derivados de la edición génica tienen los mismos requisitos de aprobación que los obtenidos por mejoramiento convencional o por mutaciones inducidas. Esto significa que luego de su desarrollo pueden salir al mercado rápidamente; al no entrar en un proceso regulatorio complejo resulta una tecnología sumamente adecuada para el ámbito de investigación y desarrollo en las instituciones públicas.

El INTA acompaña la evolución del mejoramiento genético vegetal capacitando a sus profesionales y promoviendo la investigación científica para el desarrollo y aplicación de estas tecnologías. En Argentina, es pionero en el uso de técnicas de mutaciones inducidas en plantas cultivadas. Como ejemplos de materiales institucionales de trascendencia pueden mencionarse: el maní Colorado irradiado, el limón Eureka 22 INTA y la naranja Valencia 2 INTA. El éxito más resonante es el de la mutante de arroz tolerante a herbicidas del grupo de las imidazolinonas (IMIs) lanzado comercialmente en 2005 como Puitá INTA CL, el cual cubre aproximadamente el 70 % de la superficie arrocería irrigada de América Latina. Adicionalmente, existe la posibilidad de la captura de valor del alelo mutante como ocurrió con el patentamiento del que confiere tolerancia a IMIs.

Otros proyectos avanzados corresponden a papas con resistencia a patógenos y trigo con tolerancia a sequía. Ambos se encuentran en la etapa de ensayos a campo tal como exige la costosa regulación de estos cultivos. La experiencia de los profesionales del INTA en los temas de cultivo *in vitro* y transformación genética de plantas permitió la adopción inmediata de las técnicas de edición génica.

Utilizando edición génica se están desarrollando papas con mayor calidad nutricional e industrial, papas con un uso eficiente del agua, alfalfa con mayor biomasa, trigo de mayor calidad nutricional y alfalfas y trigos con tolerancia a estreses abióticos, lechuga con mayor biomasa y mejor respuesta poscosecha, entre otros.

En este sentido, el INTA ha sabido capitalizar los beneficios de estas tecnologías y continúa con el desafío de seguir investigando e innovando en el mejoramiento vegetal.

Actualidad en I+D

Editorial

2

Mejoramiento genético vegetal

La evolución del mejoramiento genético vegetal es acompañada desde el INTA con investigación y capacitación para el desarrollo y la aplicación de técnicas de mutaciones inducidas en plantas cultivadas. En transformación genética, trabaja en numerosas especies vegetales.

Notas

4

Avanzan sobre zonas poco conocidas del genoma de la célula vegetal

Con 70 años liderando el estudio de técnicas para el mejoramiento genético y su aplicación en plantas cultivadas, científicos del INTA investigan en el genoma de los cloroplastos. Buscan conocer la funcionalidad de genes como la base genética de determinados caracteres.

10

Cultivos transgénicos, el reto de crear una papa más resistente

Con el desafío de que resista el ataque de las dos enfermedades virósicas, investigadores del INTA aplican herramientas de ingeniería genética para la creación de una variedad para consumo directo e industrial. La biotecnología permitirá mejorar rendimientos y asegurar los cultivos.

14

La edición génica y la automatización, ejes de la ganadería del futuro

Las innovaciones tecnológicas se afianzan en este sector que pone el foco en alcanzar una producción más eficiente, certera y previsible. Tiene por delante crecer en el mercado global, reducir el impacto ambiental y aumentar la calidad de los procesos.

18

“Asistimos a un momento histórico de la mujer en la ciencia”

Viviana Parreño, Gerenta de Producción e Investigación y Desarrollo de INCUINTA, destaca el lugar de la mujer en la ciencia y analiza el aporte innovador de los nanoanticuerpos VHH de llama para prevenir los efectos del rotavirus, la principal causa de diarreas en niños.

Revisión

23

Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos

Mesa, V.A.M.; Marín, P.A.; Ocampo, O.; Calle, J.; Monsalve, Z.

31

Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina

Valeiro, A.; Biaggi, C.

Trabajos

Artículos

44

Producción y persistencia de una mezcla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) bajo intensidades y frecuencias de pastoreo contrastantes

Kloster, A.M.; Zurbriggen, G.A.

52

Transición agroecológica en producciones extensivas de la región semiárida pampeana argentina

Gabella, J.I.; López, F.; Álamo, M.

61

Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings

LLanes, A.; Iparraguirre, J.; Masciarelli, O.; Maria, N.; Luna, V.

67

Calidad de frutos y maduración en naranjo dulce 'Valencia Late' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] cv Limeira, sobre diferentes portainjertos

Chabbal, M.D.; Giménez, L.I.; Mazza, S.M.; Ramirez, M.D.J.; Rodríguez, V.A.

74

Caracterización sensorial de mieles de abeja mediante análisis multivariado a tres vías

Altendorff, L.; Winter, J.; Lavallo, A.

81

Estudio de la respuesta inmune frente a la vacunación con virus respiratorio sin-cital bovino (VRSB) inactivado en bovinos. Evaluación de la inmunidad pasiva

Margineda, C.A.; Ferella, A.; Perez Aguirreburualde, M.S.; Sammaruco, A.; Gonzalez, D.D.; Toledo, G.; Dus Santos, M.J.; Mozgovej, M.

89

Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana

Blanco, L.J.; Durante, M.; Ferrante, D.; Quiroga, R.E.; Demaría, M.; Di Bella, C.M.

109

Respuesta del tabaco al riego deficitario para dos fechas de trasplante

Diez, J.; Acreche, M.M.

121

Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un Inceptisol en la ceja de selva peruana

Mestanza Novoa, C.J.; Zorogastúa Cruz, P.E.

127

Estimación de parámetros genéticos para caracteres de producción de leche y mastitis subclínica en ovinos Pampinta

Stazionati, M.F.; Maizon, D.O.; Giovambattista, G.; Gigli, I.

EXPLORACIÓN GENÉTICA

Avanzan sobre zonas poco conocidas del genoma de la célula vegetal

Científicos del Instituto de Genética del INTA estudian el ADN contenido en los cloroplastos, organelas del citoplasma de la célula vegetal encargadas de realizar la fotosíntesis. Mediante técnicas de inducción de mutaciones, detectaron genes mutadores que permiten obtener variabilidad en sectores específicos del genoma de las plantas.

POR DANIELA NOVELLI
FOTOS MATÍAS OTTAVIANI

La disponibilidad de variabilidad genética en genes que regulan caracteres de interés, es decir, la posibilidad de contar con versiones o alternativas (alelos) de esos genes, es muy apreciada por los científicos que trabajan en biología y en el mejoramiento genético de los cultivos.

Para aumentar la variabilidad existente en plantas cultivadas, una de las estrategias que puede utilizarse es a través de Técnicas de Mutaciones Inducidas (TMIs), que consisten en la aplicación de estreses físicos o químicos capaces de provocar daños en el genoma por encima de la capacidad de reparación de las células.

En el mundo, las primeras investigaciones sobre estas técnicas datan de fines de la década del 30, mientras que, en el Instituto de Genética "Ewald Favret" del INTA, también tienen una larga tradición y este año se celebran siete décadas de

continuidad en el estudio de estas técnicas y su aplicación en plantas cultivadas. Los trabajos fueron iniciados por el Ing. Agr. Ewald Favret, reconocido investigador argentino y pionero en estudios de genética vegetal, de quien hoy el instituto lleva su nombre.

Otra forma de incrementar la variabilidad disponible, cuya aplicación está mucho menos extendida que la de las TMIs, es a través del uso de plantas que presenten algún defecto en los genes encargados de reparar los daños que suelen ocurrir en el ADN por fenómenos naturales. Al tener impedidas algunas funciones de reparación del ADN, en estas plantas se originan más errores de lo habitual, algunos de los cuales quedan finalmente fijados como mutaciones. Los genes que las originan se denominan Genes Mutadores.

De ambas maneras, es posible acelerar la tasa de mutaciones por encima de la natural y, así, obtener una explosión de nueva variabilidad. "En las siguientes generaciones, nuestra tarea es seleccionar aquellas plantas mutantes que portan alelos útiles, ya sea para investigar la funcionalidad de algunos genes o la base genética de determinados caracteres", explicó Alberto Prina, investigador del Instituto de Genética del INTA, al tiempo que añadió: "Luego, estos conocimientos y los nuevos materiales originados podrán ser utilizados para la obtención de plantas con características agronómicas mejoradas".

Exploración del genoma de los cloroplastos

En los cloroplastos tiene lugar el proceso de fotosíntesis, una función esencial

Para aumentar la variabilidad existente en plantas cultivadas, una de las estrategias que puede utilizarse es a través de Técnicas de Mutaciones Inducidas.





para las plantas y, en gran medida, para la vida en el planeta tal como existe en la actualidad. Junto con las mitocondrias, estas organelas están ubicadas en el citoplasma de la célula vegetal y contienen su propio ADN.

El pequeño genoma de los cloroplastos retuvo un escaso número de genes -algo más de 100 genes- de los que originalmente portaba el organismo procarionte que le dio origen, una cianobacteria que, de acuerdo con la teoría endosimbiótica, fue fagocitada por una célula eucariótica ancestral a partir de la cual evolucionaron a lo largo de un período que se calcula cerca de mil millones de años.

“Muchos detalles de la funcionalidad de los genes del plastoma no son conocidos y su variabilidad genética, que es muy escasa, ha sido muy poco utilizada

para el mejoramiento de los cultivos”, comentó Prina.

A diferencia de los genes del núcleo de las plantas superiores, los genes del plastoma se comportan bajo reglas genéticas más laxas y conforman un genoma altamente conservado. Ambas cuestiones no solo restringen la disponibilidad de variabilidad genética y vuelven muy difíciles las posibilidades de que estos genes muten artificialmente, sino que, además, su diferente comportamiento genético hace que el aislamiento de nuevas mutantes del plastoma sea más dificultoso que el de mutantes de genes del núcleo.

Sin embargo, un equipo de investigadores del Instituto de Genética del INTA -dirigido por Prina- halló la excepción a la regla al identificar un gen que desestabiliza la genética del cloroplasto. La detec-

ción se logró mediante TMI y permitió obtener nueva variabilidad en sectores del genoma de las plantas de los que, por ausencia de variantes, aún hoy se desconocen muchos detalles de su funcionalidad.

Documentado por primera vez en 1992, este genotipo mutador -denominado mutador de cloroplastos de cebada (*cpm*)- es un logro a contramano de la tendencia bibliográfica. Por la relevancia del hallazgo, su publicación le valió a Prina ser distinguido con el Segundo Premio Nacional en Ciencias Biológicas de la Secretaría de Cultura de la Nación (1989-1992) y el Premio Francisco Sáez de la Sociedad Argentina de Genética (1991-1993).

En continua evaluación por el mismo equipo de científicos hasta la actualidad, este descubrimiento permitió la induc-



Pionero en la labor, el Instituto de Genética del INTA trabaja desde hace 70 años en la aplicación de Técnicas de Mutaciones Inducidas.

El pequeño genoma de los cloroplastos está formado por un escaso número de genes -algo más de 100 genes-, de cuya funcionalidad aún hay mucho por conocer.



ción y aislamiento de un gran número de mutaciones en genes del cloroplasto. Se trata, además, del único Gen Mutador de este tipo reportado en plantas monocotiledóneas, categoría en la que se incluyen grandes cultivos como cebada, maíz, arroz y trigo.

Evidenciado -en primera instancia- por producir unas pocas y sutiles estrías longitudinales deficientes en clorofila en las hojas de las plantas que lo portan, el *cpm* se aisló sobre familias de plantas

provenientes de un tratamiento mutagénico combinado de rayos X y azida sódica. Respecto de este último compuesto químico, uno de los más utilizados en la aplicación de TMI, el Instituto de Genética del INTA ha sido pionero en la realización de estudios que aportan a su conocimiento desde principios de los años 70.

En tanto, Alejandra Landau, actual responsable de la línea de investigación en el Instituto de Genética del INTA,

destacó: “Además de inducir un amplio espectro de mutantes deficientes en clorofila con base genética en los cloroplastos, hemos comprobado que el *cpm*, a su vez, induce una enorme cantidad de polimorfismos moleculares en el plastoma”.

Un estudio reciente -presentado por Franco Lencina, investigador del Instituto de Genética del INTA, en el marco de su tesis doctoral- echó luz sobre el efecto que causa el *cpm* sobre la recombinación





El equipo de investigadores halló la excepción a la regla de la genética conservada de los genes del cloroplasto al identificar un gen nuclear que la desestabiliza.

ción de secuencias particulares del plasmoma, como el gen *rp123* y su pseudogen.

“Esto significa que, además de un aumento de la tasa de mutaciones, el *cpm* incrementó notablemente la tasa de recombinación entre segmentos parecidos que habitualmente no deben recombinar”, explicó Lencina, al tiempo que aseguró: “Este fenómeno puede ser de trascendencia para la incorporación de genes en el plasmoma a través de técnicas biotecnológicas”.

De acuerdo con Prina, “el peculiar paisaje de cambios moleculares observado en plantas portadoras del gen *cpm* ha llevado a postular que este gen está involucrado en la reparación del ADN del plasmoma, más precisamente formando parte del sistema de reparación de apareamientos erróneos”.

La genética en unión con el territorio

Para la mejora de cultivos, la aplicación de Técnicas de Mutaciones Inducidas (TMIs) también ha rendido buenos frutos. En el caso del arroz, la interacción entre el Instituto de Genética y el Programa de Mejoramiento de Arroz con sede en el INTA Concepción del Uruguay -Entre Ríos- permitió la obtención de dos patentes internacionales por el registro de mutantes del gen AHAS que confieren tolerancia a los herbicidas de la familia de las imidazolinonas (IMI).

En 2005, el Programa de arroz del INTA lanzó al mercado la primera variedad tolerante a herbicidas IMI en la Argentina basada en una de las mutantes identificadas. Actualmente, los cultivares tolerantes a herbicidas IMI que utilizan uno de los alelos patentados son comercializados en el exterior mediante un acuerdo con la firma BASF.

“Estas variedades se han extendido por varios países europeos y tienen un lugar preponderante en América Latina, donde ocupan el 70 % de la superficie con arroz irrigado”, resaltó Prina, quien expuso los logros de este caso paradigmático en el Simposio Internacional sobre Mejoramiento de Plantas por Mutación y Biotecnología organizado por FAO/IAEA en agosto de 2018 en Viena.

Un trabajo similar al de arroz se realiza por estos días en articulación con el Programa de Mejoramiento de Algodón del INTA Roque Sáenz Peña -Chaco-. Como resultado, los investigadores lograron identificar una mutante tolerante a IMI en algodón, que afecta una base distinta del gen AHAS que la utilizada en arroz.

“Se está avanzando en la incorporación de este gen mutante a diversos fondos genéticos, en los que la tolerancia a IMI podrá ser acompañada por otras características importantes para el desarrollo de variedades comerciales”, especificó Prina.

En relación con los proyectos llevados a cabo con el sector privado, se destaca el convenio de asistencia técnica sobre la aplicación de TMIs entre el Instituto de Genética del INTA y la empresa Advanta Seeds.

A partir de esta articulación, trabajada durante 11 años, la firma obtuvo dos mutantes muy interesantes con respecto al cambio de la calidad de aceite en girasol.

En línea con estos casos de innovación, Prina -así como el resto de los investigadores, que se desempeñan como genetistas especializados en producir y aislar mutantes de interés en diferentes especies agrícolas- resaltó el trabajo que realizan los mejoradores de cultivos y explicó: “Para producir variedades comerciales, en algún momento necesitamos de los mejoradores del cultivo en cuestión, que están y conocen el territorio; de lo contrario, nuestro trabajo corre el riesgo de quedar a media agua”.

Así, el investigador amplió: “Nuestro trabajo puede hacerse desde un principio al lado del mejorador como en los casos mencionados, aunque también es posible producir materiales de premejoramiento que, finalmente, requieren las habilidades de quien está en el territorio para probar su utilidad para la producción de variedades comerciales”.

Esto último se realiza en trigo pan en cuanto al desarrollo de trigos con alta tolerancia a IMI conferida por un solo gen AHAS mutado, una investigación novedosa, ya que, habitualmente, en trigo hexaploide es necesaria la presencia de genes mutados en dos de sus genomas para lograr una tolerancia adecuada para su utilización agronómica. Para el mismo cultivo, a su vez, avanzan con pruebas a campo de familias selectas por parámetros relativos a tolerancia a sequía.

Resultados de ensayos



Las estrías deficientes en clorofila se presentan aisladas en una o en unas pocas hojas de cada planta, y serían la primera manifestación del efecto del mutador *cpm*.



Todas las plantas portan el mismo cloroplasto mutante. La familia verde claro, denominada LC3 (línea de color 3), corresponde a una mutación que afecta a un gen del cloroplasto que codifica una proteína involucrada en el ensamblaje del fotosistema I, que la hace más sensible a alta temperatura y alta irradiación.



Plántulas de cebada de la familia mutante LC2. Tienen una mutación en el gen *infA*, que codifica una proteína encargada de hacer más eficiente la síntesis de proteínas en el cloroplasto. Es la primera mutante de este gen en plantas superiores, que se distingue por presentar habitualmente la punta de la primera hoja muy clara.



Ensayos en invernáculo de tolerancia a imidazolinonas en trigo. Las dos líneas de macetas con plantas chiquitas son de una variedad sensible utilizada como control, mientras que las restantes corresponden a la mutante tolerante en distintos fondos genéticos.

Búsqueda implacable

En el transcurso de la investigación, que hoy lleva 35 años desde el aislamiento de la mutante inestable, se detectaron más de 60 polimorfismos que afectan una amplia variedad de genes del plastoma y varias regiones intergénicas -regiones de ADN situadas entre los genes-.

“Los genes afectados pertenecen, en general, a la maquinaria genética del plástido y al aparato fotosintético, aunque también se aislaron otros mutantes en genes como el *matK*, que se encuentra en estudio actualmente y cuyas funciones aún no están establecidas con claridad”, describió Landau.

Gracias al uso del mutador *cpm*, pudo obtenerse un amplio espectro de mutantes del plastoma, muchas caracterizadas por cambios en la pigmentación clorofílica y otras que muestran diferencias notables en la estabilidad genética y en las respuestas a estrés abiótico y a herbicidas. “Algunas de las mutantes aisladas resultaron ser absolutamente novedosas”, remarcó Prina.

Publicada como hallazgo científico en 2003, una de las mutantes identificadas correspondió al gen plastídico *infA*, cuya funcionalidad en las plantas hasta ese entonces se infería a partir del conocimiento en bacterias. “La proteína codificada por este gen se encarga de hacer más eficiente la síntesis de proteínas en el cloroplasto; existen similares en todo el abanico de los seres vivos, desde las bacterias hasta el ser humano”, indicó Landau.

En el mismo año, también se documentó en la revista *Theoretical and Applied*

Documentado por primera vez en 1992, este genotipo mutador -denominado mutador de cloroplastos de cebada (*cpm*)- es un logro a contramano de la tendencia bibliográfica.

Genetics el descubrimiento de una mutante de cebada tolerante a herbicidas del grupo de las triazinas, que mereció el Premio Francisco Sáez de la Sociedad Argentina de Genética (2001-2003). Actualmente, luego de un extenso trabajo de cruza y retrocruza con variedades comerciales y posterior selección, se mejoró notablemente su comportamiento agronómico.

“Su uso en el desarrollo de cultivares tolerantes podría cubrir una necesidad importante para el combate de malezas en el cultivo de cebada”, anticipó Landau.

De acuerdo con Gabriela Pacheco, actualmente directora del Instituto de Genética del INTA, “los resultados obtenidos muestran que las TMI son una herramienta poderosa, tanto para investigaciones fundamentales en vegetales, como para su aplicación en el mejoramiento de los cultivos”.

En este último caso, “los bajos costos y requerimientos de infraestructura y la fácil adaptación a distintos cultivos y ob-

jetivos de mejoramiento hacen de esta metodología una excelente estrategia para contribuir a la resolución de muy diversas problemáticas que se presentan en los programas de mejoramiento”, argumentó Pacheco, quien ha realizado investigaciones en el grupo que también integran Vanina Brizuela, María Elizabeth Petterson y Susana Costoya.

“En el Instituto de Genética Ewald Favret hay una extensa experiencia en el desarrollo y la aplicación de diferentes tecnologías de generación de variabilidad genética, y particularmente las estrategias TMI son priorizadas para continuar aportando novedades genéticas de alto valor para el SAAA (Sistema Agropecuario, Agroalimentario y Agroindustrial)”, destacó la investigadora.

Más información: Alberto Prina prinaalbertoraul@inta.gob.ar; Alejandra Landau landau.alejandra@inta.gob.ar; Franco Lencina lencina.franco@inta.gob.ar; María Gabriela Pacheco pacheco.maria@inta.gob.ar

Gracias al uso del mutador *cpm*, pudo obtenerse un amplio espectro de mutantes del plastoma. Una de las mutantes identificadas correspondió al gen plastídico *infA*, cuya funcionalidad en las plantas se infería a partir del conocimiento en bacterias.



Izq. a der.: Franco Lencina, José Cuello, Vanina Brizuela, Alberto Prina, María Elizabeth Petterson, Abel Moglie, Alejandra Landau, Gabriela Pacheco, Daniel Díaz y Susana Costoya.

BIOTECNOLOGÍA

Cultivos transgénicos, el reto de crear una papa más resistente

Desde hace más de 20 años, un equipo de investigadores del INTA trabaja en el desarrollo de un producto que pueda resistir el ataque de las dos enfermedades virósicas más importantes del cultivo de papa. Con herramientas de ingeniería genética, avanzan en la creación de una variedad con buena calidad para su consumo directo e industrial. Un hito en la historia de la biotecnología argentina que permitirá mejorar los rendimientos y asegurar los cultivos.

POR CECILIE ESPERBENT
FOTOS GENTILEZA INVESTIGADORES

Originaria del altiplano al sur de Perú, la papa es uno de los alimentos que mayor expansión y popularidad mundial alcanzó con el correr de los años. De hecho, hoy es posible encontrar lotes -con distintas escalas tecnológicas- dedicados a la producción de papa en los cinco continentes.

En la Argentina, la gran amplitud de climas, altitudes y latitudes permite su producción desde Jujuy hasta Chubut y de julio a febrero, según la zona. Con esto se garantiza la llegada del producto fresco a los consumidores, durante todo el año.

En este sentido, una de las variedades más utilizadas para el consumo fresco es Spunta (abarca más del 60 % del mercado); mientras que Kennebec es el principal insumo de la papa destinada al procesamiento industrial (más del 25 % de la producción total). A pesar de liderar el mercado, ambos cultivares son susceptibles a virus y otros fitopatógenos.

Con una producción mundial que ronda las 300 millones de toneladas al año y, sin perder de vista que se trata de uno de los alimentos más populares del pla-

meta, el cultivo de papa se ve afectado por infecciones virales que provocan pérdidas económicas significativas. Tanto el virus del enrollamiento de la hoja (PLRV) como el del mosaico rugoso (PVY), son dos grandes enemigos que, si actúan sinérgicamente, pueden producir pérdidas de hasta un 90 % en los rendimientos.

A rigor de verdad, el mejoramiento de los cultivos implica la transferencia de genes de un organismo a otro. Con el cruzamiento tradicional, los miles de genes pertenecientes a una planta son mezclados de manera azarosa con los miles de genes de su compañera de cruzamiento.

Durante este proceso -que puede llevar hasta 15 años- se transfieren características deseadas, pero también pueden trasladarse rasgos no deseados. Por ejemplo, la planta nueva puede producir tubérculos más grandes, pero con un sabor desagradable, que antes no tenía. Entonces, la ingeniería genética aplicada al mejoramiento vegetal permite que un único rasgo deseado pueda ser transferido de un organismo a otro.



En este punto, científicos del Instituto de Biotecnología del Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA) del INTA utilizan herramientas de la ingeniería genética para introducir en el genoma de la papa la resistencia a ambas enfermedades virales sin cambiar las características agronómico-industriales del cultivar adaptado.

Cecilia Vazquez Rovere y Esteban Hopp, son especialistas en biotecnología del INTA y, a partir de entender cómo funcionan los mecanismos de defensa

Los virus del enrollamiento de la hoja (PLRV) como el del mosaico rugoso (PVY) son enemigos de la papa que pueden producir pérdidas de hasta un 90 % en los rendimientos.



de las plantas, buscan fortalecer la resistencia de los cultivos a condiciones ambientales desfavorables.

Así, mediante ingeniería genética, pudieron introducir genes de interés en la variedad Kennebec. “La modificación introducida le otorga a la planta nuevas características beneficiosas y, además de evitar las reducciones en los rindes, la transgénesis permite minimizar los costos de producción al requerir menor cantidad de productos químicos para el control de las enfermedades de manera sustentable y más amigable con el ambiente”, expresó Vazquez Rovere.

Habitualmente, las papas se multiplican con la siembra de los tubérculos enteros o en trozos. Debido a que este método favorece la transmisión y diseminación de los patógenos almacenados, la única forma de control se basa en la siembra de material sano (fiscalizado y certificado). “Para liberar una planta de virus es necesario realizar el cultivo in vitro de ápices meristemáticos sometidos a termo y quimioterapia”, expresó Hopp y agregó: “Para asegurar la eficiencia de este método, es necesario complementarlo con in-

secticidas para el control de los vectores de las enfermedades virales (pulgones)”.

Tanto el PLRV como el PVY provocan importantes pérdidas de rendimiento, de calidad en la producción comercial y el rechazo de la semilla en los programas de certificación. “Teniendo en cuenta que normalmente ambos virus coinfectan el cultivo, el grupo desarrolló líneas transgénicas de papa que resistan el ataque de las dos enfermedades a la vez”, indicó Hopp.

La estrategia de modificación genética consistió en introducir y expresar en la planta secuencias genómicas del virus contra el que se desea obtener resistencia, esta metodología se denomina en sentido amplio resistencia derivada del patógeno o PDR.

La estrategia planteada promueve que se desencadene el PDR en plantas transgénicas de papa para que conduzca la resistencia a los virus correspondientes y a virus cercanos.

De acuerdo con María Pilar Barrios Barón, estudiante de doctorado dedicada al estudio de los mecanismos moleculares con los que funciona la resistencia

Los investigadores del INTA utilizan herramientas de la ingeniería genética para introducir en el genoma de la papa la resistencia a ambas enfermedades virales.

“La modificación introducida le otorga a la planta nuevas características beneficiosas y, además de evitar las reducciones en los rindes, la transgénesis permite minimizar los costos de producción” (Cecilia Vazquez Rovere).



combinada y simultánea a más de un virus, hasta el momento, no se conocen genes de resistencia en la papa que eviten estas infecciones, por lo cual “resulta de gran importancia desarrollar estrategias alternativas de resistencia basadas en ingeniería genética”, valoró.

“Para el caso de PLRV, pusimos en funcionamiento la resistencia mediada por ARN, que es un tipo particular de PDR e involucra mecanismos de degradación específica del ARN viral que se denomina co-supresión o silenciamiento génico postranscripcional”, puntualizó Barrios Barón.

En este sentido, Barrios Barón explicó que la estrategia del silenciamiento

génico es una alternativa que consiste en la introducción de una región muy pequeña y conservada del genoma viral en la planta transgénica que logra establecer un mecanismo de defensa específico contra el virus. “Si el PLRV infecta la planta transgénica, el genoma del virus será degradado por este mecanismo de defensa específico de silenciamiento y la enfermedad no progresará”, detalló.

Por otro lado, Vanesa Nahirñak -especialista en identificación y análisis funcional de genes del Instituto de Biotecnología del INTA e investigadora del proyecto- agregó que la estrategia de resistencia a PVY se basa en la expresión de la proteína de la cápside del virus del

mosaico de la lechuga, la cual confiere protección heteróloga frente a varios tipos de PVY y a otros potyvirus.

Si bien para PVY existen productos similares en el mercado -en 2018 una empresa argentina presentó la primera papa transgénica-, “las construcciones genéticas empleadas en este producto se obtuvieron con tecnología propia y no deberían tener problemas de propiedad intelectual”, manifestó Hopp y añadió: “La incorporación de resistencia a dos enfermedades es un desarrollo nacional e innovador”.

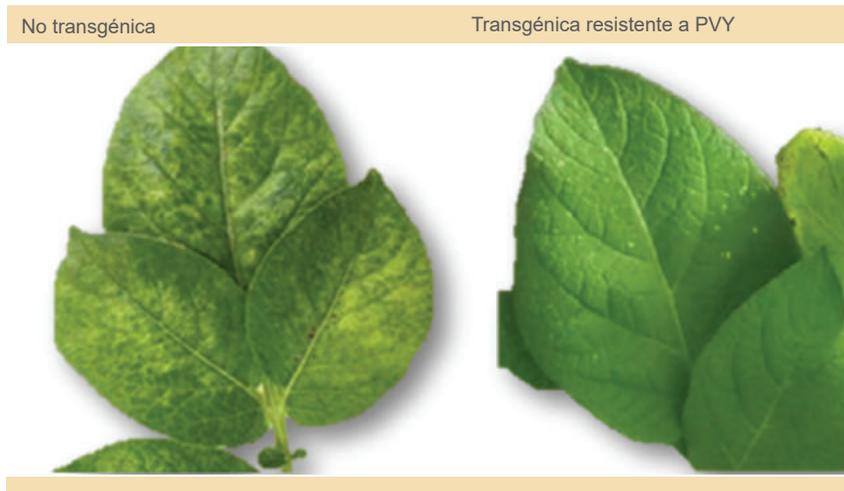
Del laboratorio a la mesa

En la Argentina, la Dirección de Biotecnología de la Secretaría de Agroindustria de la Nación es la encargada de regular el uso de los organismos genéticamente modificados de interés agropecuario, la implementación de las normas vigentes

“El grupo desarrolló líneas transgénicas de papa que resistan el ataque de las dos enfermedades a la vez” (Esteban Hopp).

Izq. a der.: Esteban Hopp, Cecilia Vazquez Rovere, Vanesa Nahirñak, María Pilar Barrios Barón y Natalia Almasia.





y la evaluación de las actividades relacionadas, desde su desarrollo hasta su eventual comercialización.

En la actualidad, los investigadores del Instituto de Biotecnología tienen eventos transgénicos seleccionados, a partir de ensayos de desafío en condiciones controladas, que exhibieron un fenotipo resistente frente a ambos virus. Esto significa que las papas estarían cerca de su liberación comercial, pero esto no es inmediato.

Para que esto suceda, la Conabia (Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria) analiza la bioseguridad de cada cultivo modificado y el Senasa (Servicio Nacional de Sanidad

Agroalimentaria) evalúa la inocuidad de los alimentos derivados.

Natalia Almasia, especialista del Instituto de Biotecnología, manifestó que mientras los trámites para la desregulación comercial de este evento de papa transgénica con resistencia simultánea a las infecciones causadas por los virus PVY y PLRV avanzan, “es necesario realizar ensayos de desafío en campos de producción de papa y llevar a cabo los análisis de bioseguridad ambiental y alimentaria en laboratorios de buenas prácticas”, precisó.

Más información: *Natalia Almasia*
almasia.natalia@inta.gob.ar

Al no contar con genes de resistencia que eviten estas infecciones, resulta de gran importancia desarrollar en papa estrategias alternativas de resistencia basadas en ingeniería genética.





EXPLORACIÓN GENÉTICA

La edición génica y la automatización, ejes de la ganadería del futuro

Los avances tecnológicos innovadores se afianzan en el sector con el objetivo de lograr una producción más eficiente, certera y previsoras. Cuáles son los desarrollos que podrían generar un salto productivo en el sector.

POR LAURA PÉREZ CASAR

Los comederos inteligentes, las modificaciones genéticas, los monitoreos con drones, los collares con GPS, los chips subcutáneos, el “*Data Mining*” para medir la huella de carbono y el “*Blockchain*” para procesar datos son algunos de las innovaciones tecnológicas que se afianzan en el campo. Alcanzar una producción más eficiente, certera y previsible, es el desafío al que se enfrenta la ganadería del futuro.

De acuerdo con Anibal Pordomingo -coordinador del programa Carnes y Fibras del INTA-, el sector ganadero en la Argentina tiene tres grandes desafíos a corto plazo: el posicionamiento en el mercado global en sintonía con el merca-

do interno, reducir el impacto ambiental y aumentar la eficiencia en los procesos.

Para el especialista, resulta “trascendental” la implementación de herramientas que permitan alcanzar una mayor diferenciación del sector. “Necesitamos impulsar el aumento de la eficiencia productiva de la mano de la automatización de los procesos para luego, con el análisis y entrecruzamiento de los datos obtenidos, tomar mejores decisiones de manejo rápidas y precisas”, aseguró.

En este sentido, reconoció el gran aporte de las tecnologías innovadoras a la actividad y destacó los sistemas de alerta, de alarmas, los sensores, los chips, los GPS y los monitoreos automá-

ticos. También, aquellas herramientas de análisis e interpretación de todos los datos disponibles online como la inteligencia artificial, el *Big Data* y el *Machine Learning*, entre otras.

Además, subrayó el gran aporte que hace y hará la edición génica (EG) al sector, tanto en el mejoramiento en animales como en plantas en beneficio de la producción sustentable y la predictividad de los resultados, en especial, en ambientes extremos.

Mediante esta herramienta es posible incorporar, en el genoma de los animales, alelos, genes o rasgos deseables de otras razas, o bien inhibirlos para mejorar la producción y calidad de los ali-

Hoy es posible editar el genoma animal o vegetal como si fuera un procesador de textos.

La automatización de los procesos es clave para aumentar la eficiencia productiva.

mentos, así como favorecer el bienestar animal y la sanidad.

De acuerdo con Nicolás Mucci, investigador del grupo de Biotecnología del INTA Balcarce -Buenos Aires-, "la EG es una herramienta muy poderosa con gran impacto en el sector ganadero que permite realizar un cambio muy importante en los aspectos productivos y zootécnicos de una generación a la otra".

"Lo que antes era azaroso y se necesitaban muchos años para lograrlo, ahora se puede hacer de un modo rápido y preciso", reconoció Mucci y agregó: "Hoy, podemos trabajar sobre el genoma como si fuera un procesador de textos"

Por su parte, Sergio Feingold -coordinador nacional del programa nacional de Biotecnología del INTA-, aseguró que "la EG representa una revolución tecnológica pocas veces vista, debido no solo a sus particulares ventajas técnicas sino a la posibilidad de introducir modificaciones genéticas con alta eficiencia e inusitada velocidad".

Se estima que esta técnica puede reducir drásticamente los tiempos del mejoramiento y puede producir una ventaja radical en los programas de mejoramiento tanto en animales como en plantas,

por su menor costo y mayor accesibilidad por parte de dichos programas.

Para Pordomingo, "el mayor avance se va a dar en la edición vegetal, con grandes aportes a la ganadería de la mano de mejores forrajes y alimentos", quien vaticinó que "el futuro va de la mano de controlar el universo de especies de bacterias que afectan al rumen y degradan las fibras y los alimentos, como así también la edición génica a fin de obtener animales con mejor respuesta inmunológica".

Automatizarás tu proceso

Entre las dificultades que enfrenta la ganadería en el país es la baja disponibilidad de mano de obra. "Hay una resistencia cada vez mayor a realizar tareas de manejo en el campo, en especial, por parte de las nuevas generaciones", indicó Pordomingo quien llamó a los productores a "buscar la forma de transformarse".

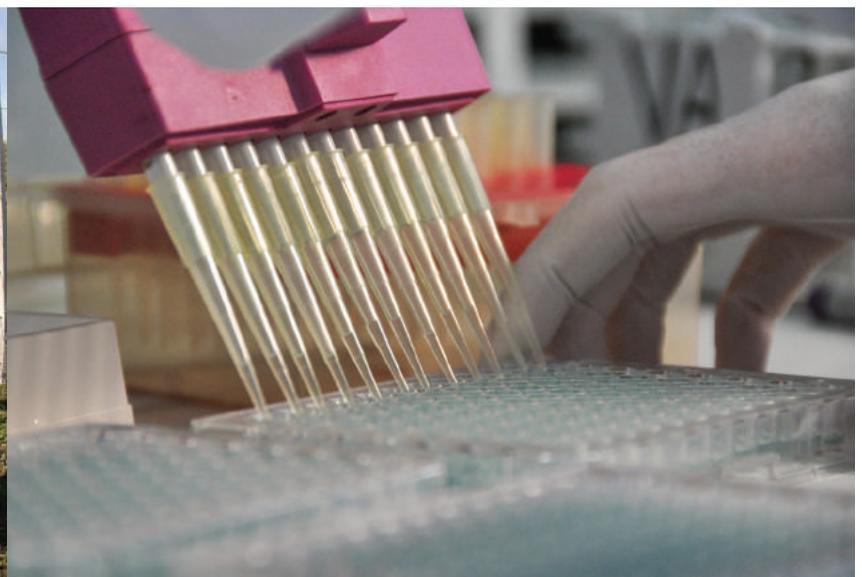
En este contexto, la automatización de los procesos juega un rol trascendental a la hora de aumentar la eficiencia y perfeccionamiento de las tareas, además de hacer más simple, atractiva y atrayente la vida en el campo.

Entre las numerosas tecnologías innovadoras disponibles, el especialista ponderó las aplicaciones de suplementación de animales a campo, los sensores de posicionamiento por GPS, las alertas de ubicación espacial y de parto, los monitoreos permanentes de temperatura, los sistemas de posicionamiento de aguadas y los sistemas de balanzas al paso con registro automático de individuos.

"En todos los casos resulta muy importante contar con la conectividad necesaria a fin de lograr que toda esta información que fluye llegue a la nube para, luego, ser procesada por herramientas tales como la *Big Data*", indicó Pordomingo.

Una de las tecnologías destacadas son los comederos inteligentes, un desarrollo de un equipo de investigadores del INTA Anguil -La Pampa-. Un chip en la caravana de cada ejemplar y unos sensores ubicados en la balanza de los comederos permiten monitorear y evaluar el consumo diario de alimento de los animales.

Así, se puede obtener información sobre consumos individuales diarios y promedios semanales, lo que permite seleccionar los individuos más eficientes y diseñar nuevas estrategias para aprovechar al máximo el potencial productivo del sistema.



Las tecnologías disruptivas permiten cuantificar, registrar y almacenar cada variable de producción ganadera.

Una ganadería ineficiente es un emisor neto de gases de efecto invernadero (GEI).

En este sentido, Pordomingo destacó la importancia de desarrollar sistemas para obtener información de forma automática: “Buscamos que sea efectivo y que ayude al productor en la toma de decisiones inteligentes”.

Otra herramienta novedosa es el sistema de balanzas de pesada al paso con registro automático y captura remota de la información de presencia y peso de cada animal. Esta herramienta conocida en la Argentina como “sistema de pesada al paso” permite seguir el peso y cambio de peso diario de los animales al acercarse a tomar agua en lugares alejados o muy extensivos donde la sola recorrida tiene un alto costo económico y de tiempo o mano de obra de la que hoy no se dispone en el campo ganadero.

“Con el sistema se puede tener un relevamiento permanente de existencias, de estado de los animales, hábitos, cambios de comportamiento o emergentes que afecten su peso como la alimentación, sanidad y parición”, detalló Pordomingo.

Y vaticinó que, para los sistemas extensivos, con el posicionamiento satelital posiblemente en el corto plazo “serán los instrumentos de mayor impacto en la eficiencia y los que ya están incorporando los competidores de la Argentina en producción de carne”.

Además, los técnicos del INTA Santa Cruz y del Instituto de Ingeniería Rural (IIR) del INTA Castelar desarrollaron un collar con tecnología nacional de posicionamiento global (GPS). Esto permite investigar los patrones de distribución, circulación y otros hábitos de los ovinos

en sistemas extensivos ante distintas condiciones climáticas y ambientales.

“Monitorear su recorrido y conocer sus hábitos permite la mejora en la toma de decisiones para el manejo de los pastizales y el ganado”, destacó Sebastián Ormaechea -investigador del INTA Santa Cruz-.

Otra herramienta que permite resolver problemas en menos tiempo, con más precisión y con ahorro de recursos es el sistema electrónico de monitoreo integral de vacas lecheras, implementado por técnicos del INTA junto con la empresa Eye Farm, llamado *Track a cow*.

De este modo, es posible monitorear de manera constante la salud de las vacas, especialmente los días previos y posteriores al parto, debido a que es el momento de mayor desarrollo de enfermedades asociadas al metabolismo animal.

La muerte de vacas o terneros durante el parto, debido a la falta de asistencia, es un problema para los productores ganaderos. Por esto, un equipo de investigadores integrado por técnicos del INTA Rafaela -Santa Fe- y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) desarrolló un sensor de alerta de partos, al instante y a cualquier dispositivo móvil. El dispositivo tiene una efectividad del 90 % y disminuye las posibilidades de traumatismos.

La sustentabilidad, clave en todos los procesos

Cada vez son más los consumidores que exigen conocer el origen de los productos que consumen y tener garan-



tizado que el proceso con el que fueron obtenidos son inocuos para el ambiente. Esta tendencia está en auge tanto en el mundo como en el mercado doméstico.

Un informe de la FAO señala que las emisiones asociadas con las cadenas ganaderas representan el 14,5 % de todas las emisiones de origen humano y, entre las principales fuentes, se encuentran los gases producidos durante la digestión de los rumiantes y la descomposición del estiércol.

De acuerdo con los especialistas, hay una tendencia mundial hacia un consumo más responsable que demanda información y exige que los alimentos se produzcan con la mayor inocuidad posible.

En este contexto, las buenas prácticas agrícolas (BPA) -como el cuidado del agua y del suelo, la rotación de cultivos, la responsabilidad con los trabajadores y la reducción en el uso de fitosanitarios- son activos, por los cuales el consumidor está dispuesto a pagar un precio diferencial.

De acuerdo con Nestor Juan -especialista en producción animal del INTA Anguil, La Pampa-, “una herramienta que puede contribuir al mantenimiento de la fertilidad de los suelos es la tecnología NIRS (Espectroscopía en Infrarrojo Cercano, por sus siglas en inglés) que permite estimar la composición química de forrajes en tiempo real”.

Se trata de sensores instalados en la picadora para silaje que trabajan en conjunto con el monitor de rendimiento y el GPS, lo que permite conocer, no solo la calidad del material que se está ensilando, sino

construir un mapa a nivel de lote de la remoción de nutrientes que realizó el cultivo.

“Con la nueva generación de equipos NIRS, actualmente en desarrollo, miniaturizados, fácilmente transportables y de bajo costo también se podrán analizar los alimentos suministrados a las animales in situ y en tiempo real, lo que permitirá balancear las dietas para cubrir los requerimientos y aumentar la eficiencia de conversión”.

A su vez, la cadena de carne bovina pampeana busca precisar la huella de carbono para lo cual, técnicos del INTA implementaron la técnica de *clustering* -algoritmo que agrupa casos de estudio según una serie de criterios-, aplicado sobre el Registro Provincial Agropecuario -declaración jurada de los productores sobre sus actividades-.

Para Pordomingo, “existe una tendencia productiva hacia lo sustentable que implica ser responsables y eficientes con, por ejemplo, los sistemas de engorde, en especial, los intensivos, a fin de controlar e incluso reducir las emisiones de gases”. Es que, de acuerdo con el técnico, “si la ganadería es ineficiente se convierte en un emisor neto”, al tiempo que reconoció que la problemática se corrige con buenas prácticas.

Datos, divino tesoro del futuro

La Argentina es un país de casi 3 millones de kilómetros cuadrados de superficie que, a su vez, cosecha millones de toneladas de granos y carnes al año. En este contexto, procesar la información

que se genera parece una meta difícil, pero no inalcanzable.

Para resolverlo, resultan clave algunos conceptos que hacen referencia al procesamiento de grandes cantidades de números y cifras como la Internet de las cosas o *IoT* -la conexión avanzada de dispositivos, sistemas y servicios- y *Blockchain* -una base de datos distribuida que registra bloques de información y los entrelaza para facilitar su recuperación-.

A su vez, se suman la *Big Data* o inteligencia de datos junto con la minería de datos, la inteligencia artificial y *Machine Learning* -técnicas que permitan a las computadoras aprender-.

Sólo mediante estas tecnologías disruptivas será posible cuantificar, registrar y almacenar cada variable de la labor de los productores y podrá ser posible trazar el proceso a fin de mostrarle al consumidor toda la información que demanda.

Más información: Sergio Feingold feingold.sergio@inta.gov.ar; Nicolás Mucci mucci.nicolas@inta.gov.ar; Sebastián Ormaechea ormaechea.sebastian@inta.gov.ar; Anibal Pordomingo pordomingo.anibal@inta.gov.ar

Las buenas prácticas agrícolas (BPA) son activos por los cuales el consumidor está dispuesto a pagar un precio diferencial.



CIENCIA Y TÉCNICA

“Asistimos a un momento histórico de la mujer en la ciencia”

Con esta definición Viviana Parreño reconoce el lugar de las científicas como parte de un cambio en la ciencia argentina. Repasa el presente del desarrollo de nanoanticuerpos VHH de llama para prevenir el rotavirus, un aporte innovador premiado por su contribución a paliar los efectos de la principal causa de diarreas en niños.

POR MARIO MIGLIORATI Y CECILIE ESPERBENT
FOTOGRAFÍA MERCEDES DO EYO

Como investigadora fue recientemente reconocida con el premio especial a la “Mujer Inventora” además de ganar junto al equipo que lidera el primer premio en el 1.º Concurso de Inventos Patentados 2018 – PROSUR, por el descubrimiento de un conjunto de nanoanticuerpos de llama capaces de neutralizar diferentes variantes del rotavirus. Se trata de un logro que le permitió a este equipo de científicos participar de la Exposición Internacional de Invenciones de Ginebra, Suiza, que anualmente reúne a innovadores de todo el mundo y que realiza la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Allí recibieron la medalla de plata en la “Categoría Medicina” en el Premio Internacional de Inventores.

Para Viviana Parreño, quien fuera desde 2004 al 2014 responsable del Laboratorio de Virus Diarreicos del Instituto de Virología del CICVyA - CNIA del INTA, y actualmente Gerenta de Producción e Investigación y Desarrollo de INCUINTA, la ciencia ocupa el 99 % de su vida y “está íntimamente integrada a la familia”.

Desde niña quería ser astronauta y entendió rápidamente que en el país no podría lograr ese objetivo. Entre sus horizontes aparecieron otras elecciones -frustradas- como astronomía y, especialmente, medicina, aunque no se ima-

ginaba lidiar con el sufrimiento de los pacientes. Decidida a estudiar bioquímica que le permitía “ver la evolución de las enfermedades”, en sus primeros años como estudiante universitaria se acercó al INTA (ver *Datos Académicos*).

Esta investigadora Independiente del CONICET piensa que “el mundo de los virus, de lo microscópico, es maravilloso” y que se encuentra “atrapada en la química de la vida”. De todos sus recuerdos grafica con palabras aún hoy, con el mismo asombro, aquella primera vez que pudo ver una imagen de partículas virales de 60 nanómetros en un microscopio electrónico de transmisión. “Fue ahí cuando el INTA se transformó en mi lugar en el mundo”, asegura.

En el marco de la plataforma INCUINTA trabaja, junto a un equipo integrado por 17 científicos, entre otras líneas de investigación, en el desarrollo de los nanoanticuerpos VHH en colaboración con otros grupos nacionales e internacionales. “Hoy contamos con VHH para varios agentes virales de impacto en salud humana, animal y vegetal, que incluye rotavirus A, norovirus, influenza A, virus de la diarrea viral bovina y virus del Mal de Río Cuarto del maíz”, explica y aclara: “Los dos primeros están protegidos bajo patentes, mientras que los otros aún se encuentran en proceso de protección”.

¿Cuándo arranca la historia de los nanoanticuerpos de llama?

Somos virólogos y comenzamos a estudiar los agentes virales que afectaban a los camélidos silvestres, vicuñas y guanacos. Investigando en este tema, un grupo de investigadores alemanes nos ofreció trabajar en el desarrollo de moléculas de aplicación biotecnológicas derivadas de estas especies. Nos encontramos que, al ingresar las llamas a la unidad experimental, inmunizarlas y comenzar a desarrollar el estudio en los VHH (fragmentos derivados de los anticuerpos de cadena pesada que poseen los camélidos en su suero, son las moléculas más pequeñas que existen en la naturaleza y tienen la capacidad de reconocer específicamente a otra molécula y enlazarse a ella), nos estábamos adentrando en el estudio en la inmunología de estos camélidos sudamericanos.

Es aquí donde entendemos que arranca la línea de investigación. Pero como era muy difícil y costoso hacer estos estudios en el país, empezamos a brindar servicios de inmunización de llamas para otros grupos de investigación argentinos como la Fundación Instituto Leloir, la *start up* INMUNOVA y la empresa española Algenex, que hacían bibliotecas de genes. Esos recursos ayudaban a solventar los costos de nuestras investigaciones.



¿Qué aportes tuvieron de las experiencias científicas realizadas en el exterior?

Cuando asumí la dirección de la tesis doctoral de CONICET de Lorena Garai-coechea, que realizó la tipificación de rotavirus en bovinos y equinos, comenzamos a buscar rotavirus en guanacos y vicuñas. Por el hecho de trabajar en camélidos nos contactó un investigador alemán del EMBL (Laboratorio Europeo de Biología Molecular, según siglas en inglés). Su propuesta era encontrar investigadores que le inmunizaran las llamas, encargándose él junto a su equipo de llevar adelante la construcción de la biblioteca de genes VHH. A cambio del trabajo con llamas, Lorena fue invitada a capacitarse en el EMBL en la tecnología VHH.

Los nanoanticuerpos VHH contra rotavirus desarrollados por Lorena Garai-coechea en su estadía en Alemania nos permitieron reproducir esa experiencia en INTA; y, en ese momento, lo que allá llevó tres meses, en nuestro laboratorio tardamos dos años en poder reproducirlo, pero logramos hacer 4 bibliotecas con éxito.

Avanzamos. Hicimos rotavirus y posteriormente las bibliotecas de norovirus y después las de influenza humana, justo en el momento de la pandemia. Mientras tanto, con la radicación de Ga-

raicoechea en los Estados Unidos, fue necesario repensar el trabajo de la plataforma. Y fue en ese momento en que nos contactamos en Bélgica con Serge Muyldermans, descubridor de los VHH, quien tenía conocimiento del trabajo de nuestro laboratorio y nos proponía investigar juntos. En ese laboratorio se capacitaron Matías Aduriz y Gabriela Llauger que, como becarios doctorales, lograron muy buenos resultados.

¿Es posible comparar el trabajo con el realizado en otros centros investigación?

Estamos bien posicionados si nos comparamos con otros equipos de investigación en el mundo. Pero si hablamos del trabajo de Muyldermans, está más allá. Fue el creador junto a otros científicos de la *start up* Ablynx que el año pasado fue adquirida por Sanofi. Además, lanzaron su primer producto al mercado en 2018. Ahora bien, nosotros contamos con los VHH, pero nos faltan los 10 años de fase clínica que ellos ya realizaron.

En lo personal, me gustaría que pudiéramos crear la “Ablynx” criolla, que sería una empresa de base tecnológica nacional productora de VHH para poder asociarnos con otras empresas farma-

céuticas para hacer los ensayos clínicos en humanos y registrar los productos.

Crear una empresa con estas características, ¿requiere necesariamente la vinculación público-privada? ¿Por qué es impensada solo con inversión estatal?

Desde el Estado fue posible trabajar esta línea porque el FONARSEC (Fondo Argentino Sectorial) contaba con subsidios para Proyectos de Investigación y Desarrollo Clínicos dirigidos a promover la articulación entre grupos de investigación y las empresas del sector. Pero, considero que la apuesta de inversión es grande y hoy queda más claro que nunca que para lograr lanzar un producto al mercado es necesario contar con el trabajo conjunto e inversión de los investigadores, el Estado y el sector privado.

“Para lograr lanzar un producto al mercado es necesario contar con el trabajo conjunto e inversión de los investigadores, el Estado y el sector privado”.

“Mi interés siempre se orientó en buscar cómo toda la tecnología que tenemos a disposición de la producción animal se puede poner al servicio de las personas”.

“Salvar vidas o disminuir riesgo de enfermedades en los niños es un objetivo que me impacta y me moviliza para investigar”.

¿Qué vienen a resolver los nanoanticuerpos VHH de llama?

Los nanoanticuerpos son moléculas muy específicas y poderosas que, como parte del sistema inmune de los camélidos, vienen a revolucionar el mercado de los anticuerpos monoclonales para dar origen a los nanoanticuerpos monoclonales recombinantes. En cuanto a éstos últimos, se cuenta con anticuerpos para tratar, por ejemplo: artritis reumatoidea y en tratamientos oncológicos como en diagnóstico por imágenes. Pero, a diferencia de éstos, los VHH son una tecnología muy sencilla, económica y versátil.

Los VHH son moléculas 10 veces más pequeñas que los anticuerpos monoclonales convencionales por lo que en un tumor tienen mayor poder de penetración. En el caso de enfermedades como el Alzheimer, se pueden administrar vía inyectable a través de la barrera hematoencefálica, algo que un anticuerpo común no lo hace, y así impedir la generación de la placa amiloide asociada a la enfermedad.

Hablamos de un amplio campo de posibilidades para los nanoanticuerpos VHH...

Cuenta con muchas más posibilidades que aún desconocemos. Por ejemplo, se pueden marcar con un fluorocromo, como componente de la molécula que hace que ésta sea fluorescente, y suministrarse a una persona para conocer a través de diagnóstico por imágenes si un tumor de mama es incipiente, o, en igual

medida, uno de colon. Brinda entonces un avance en cuanto a detectar estas enfermedades en estadios que la tecnología con la que contábamos no llegaba a detectar.

¿Cómo identifican este trabajo que llevan adelante? Ya que se piensa que el INTA genera conocimiento en agroproducción, aunque, visto desde esta perspectiva, es necesario hablar de avances orientados a la salud o la medicina traslacional, dado que lo que se investiga permite mejorar la salud de las personas...

Siempre lo he pensado. Más allá de trabajar como bioquímica en las enfermedades virales de vacas y caballos, mi interés siempre se orientó en buscar cómo toda la tecnología que tenemos a disposición de la producción animal se puede poner al servicio de las personas. El INTA puede hacer modelos animales para reproducir enfermedades humanas y probar la eficacia de productos, o, como en este caso, de un recurso animal como es el camélido sudamericano sacar una molécula de gran aplicación biotecnológica. Y este es el nuevo INTA. Tenemos que pensarnos en esta institución de manera mucho más multidisciplinaria entre salud animal y humana y usar todo lo que sabemos para ponerlo al servicio de la sociedad.

Su posición ratifica la perspectiva centrada en el concepto de “una sola salud”...



Sí, totalmente. En el caso de los nanoanticuerpos podemos desarrollar un producto para neutralizar una infección viral que genera enfermedades diarreicas en niños o en individuos jóvenes de numerosas especies animales como terneros, potrillos y lechones.

¿Qué quiere decir con la expresión “este es el nuevo INTA”?

Se trata de una transformación que coincide con los cambios mundiales y locales. Por ejemplo: lo que fue la creación del ex - Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y de los subsidios FONARSEC a nivel nacional; y, en el marco del INTA, la comprensión desde la Coordinación de Vinculación Tecnológica de que los modelos que se utilizaban hasta este momento no eran los más adecuados para la generación de biológicos. Es importante hacer convenios con las empresas para transferir las tecnologías del INTA al sector, porque es crítico poder crear empresas que permitan elaborar productos basados en nuevas tecnologías como los anticuerpos de yema de huevo o los nanoanticuerpos de camélidos.

Los subsidios que nos otorgan para hacer investigación nos marcan para qué lado quiere el mundo que vaya la ciencia. Ya hace unos años que se dijo que era necesario aplicar la investigación básica en el desarrollo de tecnologías que resuelvan problemas. Con la aparición de los PICT *Start Up* (Proyectos de



Datos académicos

Desde el año 1992 atravesó varias etapas de la vida institucional del INTA. Inició sus primeras visitas a lo que hoy es el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) en Castelar cuando era estudiante de bioquímica en la Universidad de Morón. Ya como becaria universitaria, decidió construir su camino como investigadora presentándose a las becas CONICET “bajo la dirección de Fernando Fernandez, cuando éste era Coordinador del Área de Vacunas experimentales del Instituto de Virología del INTA Castelar”, explica.

Como graduada (1995) fue invitada a los Estados Unidos como *Visiting Scholar* en 1997. “A mi regresó al país en 1999, me traje el tema de tesis y la convicción de ser científica”, afirma. Se doctoró en 2002 e ingresó a la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico (CIC) del CONICET en 2005. Actualmente es investigadora Independiente y dirige becarios e investigadores de la carrera. Especializada en inmunología y virología veterinaria, aborda temas referidos a virus entéricos, tecnología VHH e IgY y control de potencia de vacunas.

Investigación Científica y Tecnológica) y la posibilidad de formar las empresas de base tecnológica fue posible producir los productos y venderlos.

Con Andrés Wigdorovitz, a través de INCUINTA (plataforma técnico-organizativa para el desarrollo de proyectos tecnológicos del INTA), comprendimos la necesidad de trabajar en ese formato porque, más allá de la investigación y las publicaciones, lo que más vale en INTA es que el productor llame al investigador y le señale: “Probé tus productos en mis terneros y funcionan, se cortó la diarrea a los tres días”. Aquí es cuando uno piensa que el trabajo y el esfuerzo dieron sus frutos. Pensar en que esa ternera no se murió y que va a llegar a dar leche.

El nuevo INTA es también la institución donde se siguen generando nuevos conocimientos, donde la ciencia básica es fundamental; pero, además, donde se le presta especial atención a la materialización y transferencia de estos conocimientos en forma de soluciones, servicios y productos.

¿Cuánta carga genera trabajar en temas como rotavirus, la principal causa de diarrea aguda en niños?

A mí me pesa como investigadora, como mujer y madre. Casi todas las investigadoras que trabajamos en el laboratorio hemos tenido a nuestros hijos con diarrea por rotavirus. Y, aunque contamos con vacunas, que son atenuadas y muy eficaces, si el niño tiene proble-

mas de inmunosupresión o atraviesa un cuadro de desnutrición no va a responder a la vacuna de la misma manera que un niño sano. Hoy podemos decir: “Acá tenemos una alternativa”. Lo mismo cuando se detecta una diarrea por rotavirus. Hoy podemos decir: “Tenemos una terapia específica para rotavirus”, y así sacar al niño del peligro de un cuadro de deshidratación.

Salvar vidas o disminuir riesgo de enfermedades en los niños es un objetivo que me impacta y me moviliza para investigar.

¿Imagina a un INTA incrementado la investigación en estos temas en los próximos años?

Lo veo posible haciendo alimentos funcionales. La institución puede definir expresarlo en arroz porque es viable interactuar con quienes hacen genética en plantas de arroz y expresar el anticuerpo en harina. Y con los investigadores en tecnologías en alimentos, para agregar el anticuerpo y hacer doblemente funcional a un queso ya enriquecido con fitoesteroles. El INTA cuenta con especialistas pensando en tecnologías que en otros centros de investigación no se encuentran. Es un lugar donde se pueden pensar estas soluciones integrales de la mejor manera posible.

¿Qué posibilidades reales presenta ser del INTA para asociarse con instituciones nacionales y del exterior?

“El INTA cuenta con especialistas pensando en tecnologías que en otros centros de investigación no se encuentran”.

No resulta lo mismo decir que trabajás en cualquier instituto de investigación o universidad que en el INTA. En este último caso, se reconoce la historia de la institución. Esto lo pudimos observar cuando hicimos los VHH de norovirus y publicamos el *paper*. Desde el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts -Estados Unidos-, por sus siglas en inglés), vieron esta publicación y se comunicaron con nosotros porque querían expresar las moléculas desarrolladas. Cuando los investigadores visitaron el INTA se sorprendieron de los laboratorios en Castelar y nos propusieron avanzar en un convenio para hacer la expresión en las instalaciones de INCUINTA, pero con el sistema con que ellos cuentan.

¿En qué proyecto piensan avanzar con el MIT?

El MIT cuenta con un equipamiento que expresa los VHH o cualquier molécula en levaduras. En este sentido, pueden expresarlos, purificarlos y envasarlos como uno desea. El objetivo que persiguen es contar

¿Qué lugar ocupa la mujer en la ciencia argentina?



El lugar de las mujeres en la ciencia argentina es muy importante, ya que la mayoría de quienes integran el sistema científico son mujeres. Pero podemos preguntarnos: “Por qué son mujeres”; en primera instancia esto responde más a un tema de salarios. Al ser más bajos, las mujeres ocupan estos lugares y los hombres, al contar con más opciones, pueden optar por el sector privado. No es lo único que influye. También está la vocación, la capacidad de estudio y la perseverancia.

En un principio los equipos que me tocó dirigir lo integraban mujeres de disciplinas como veterinaria, biología y bioquímica, ya que eran quienes se presentaban a las postulaciones para becarios en los Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

“Se trata de una posibilidad real de conformar una empresa que en un futuro cercano suministre al país y al mundo los nanoanticuerpos VHH”.

con una máquina en cada continente para trabajar en red y lograr, frente al brote de una enfermedad, con el virus secuenciado, expresar la proteína. Los países que forman la red tendrán la posibilidad con el anticuerpo monoclonal y la vacuna de hacer frente a una epidemia. Se trata de aportar una solución global para frenar los focos de contagio que puedan generarse.

¿Cuánto falta para que los VHH sean incorporados en alimentos y medicamentos?

El proceso en medicamentos ya se inició al lanzarse este año el primer producto desde Ablynx, para la enfermedad púrpura trombocitopénica inmunitaria. Vamos a ver a los VHH generando grandes cambios, ya sea en enfermedades de los bebés ocasionada por el virus sincicial respiratorio, en enfermedades tumorales, autoinmunes y degenerativas. También esta tecnología se puede aplicar al desarrollo de reactivos de laboratorio. Nosotros también estamos explorando esas aplicaciones biotecnológicas.

¿Qué regulaciones son necesarias generar en alimentos?

Ha pasado mucho tiempo desde el 2011 cuando iniciamos las conversaciones con la ANMAT respecto a las regulaciones. Esta institución cuenta hoy con un programa de apoyo a la innovación en medicamentos y productos para la salud donde se asiste a un investigador y se lo acompaña hasta el proceso de registro del producto.

Nos eligieron y ahora contamos con este asesoramiento en cuanto a requisitos que debe contemplar el nuevo edificio que tendrá INCUINTA, respecto de la normativa para trabajar en GMP (Buenas Prácticas de Fabricación, según sus siglas en inglés), para el registro del kit diagnóstico, de un alimento funcional en el Instituto Nacional de Alimentos (INAL, que depende de la ANMAT), y, también, en el asesoramiento para el registro de un biofármaco.

¿Puede el INTA ser líder mundial en este tema?

Sí, es posible que el INTA y la Argentina se posicionen como líderes en esta tecnología porque contamos con el recurso: el guanaco, la vicuña y la llama. No podemos dejar pasar esta oportunidad, la tenemos que aprovechar. Se trata de una posibilidad real de conformar una empresa que en un futuro cercano suministre al país y al mundo los nanoanticuerpos VHH. El INTA lo puede hacer a partir de crear una empresa público-privada.

¿Cómo califica el trabajo de los investigadores argentinos?

Lo primero que quiero señalar es que los científicos argentinos son “maravillosos”. Siempre digo que es lindo ver cómo, con la formación que reciben y los inconvenientes que tienen que superar en el país, pueden desempeñarse en cualquier lugar del mundo y resolver problemas. Hablamos de investigadores muy calificados que tienen una forma de pensar que otros carecen.

¿Qué espera de la ciencia argentina?

A la Argentina, para quien trabajo, ¡la quiero ver de pie! Con todo su potencial y la capacidad a pleno para alimentar realmente a 400 millones de personas. Sueño con que se creen nuevas empresas y que haya salud, educación y trabajo para todos. Deseo una Argentina próspera.

Por último, ¿qué representa ser la primera mujer reconocida como inventora por el INPI?

Como inventora quiero compartir este logro con Lorena Garaicoechea, Gisela Marcoppido, Celina Vega, Marina Bok y agradecer a todas las investigadoras que forman parte del equipo, que apostaron por hacer ciencia en el país. Y, además, decir que somos parte de un cambio y asistimos a un momento histórico de la mujer en la ciencia.

Más información: [Viviana Parreño parreno.viviana@inta.gov.ar](mailto:Viviana.Parreño@inta.gov.ar)

Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos

MESA, V.A.M.¹; MARÍN, P. A.²; OCAMPO, O.¹; CALLE, J.²; MONSALVE, Z.¹

RESUMEN

Esta revisión ofrece una visión general sobre reportes de evaluación de la actividad biológica *in vitro* de extractos vegetales sobre hongos fitopatógenos. Se presentan los métodos experimentales para la obtención de extractos vegetales y la caracterización de metabolitos, así como los métodos de inhibición del hongo mediante macro y micrométodos. Por último, se presentan las recomendaciones para clasificar la potencialidad de un extracto vegetal sobre un hongo fitopatógeno con el fin de establecer un enfoque prometedor para el descubrimiento de nuevos agentes antifúngicos en el control etológico y manejo integrado de hongos.

Palabras clave: hongos fitopatógenos, extractos vegetales, metabolitos, antifúngicos.

ABSTRACT

This review offers an overview of reports evaluating the in vitro biological activity of plant extracts on pathogenic fungi. We present the experimental methods for obtaining plant extracts and the characterization of metabolites, as well as the methods of inhibition of the fungus by means of macro and micro methods. Finally, we present the recommendations to classify the potentiality of a plant extract on a pathogenic fungus, in order to establish a promising approach for the discovery of new antifungal agents for the ethological control and integrated management of phytopathogenic fungi.

Keywords: phytopathogenic fungi, plant extracts, metabolites, antifungal.

¹Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. Grupo de investigación Agrobiotecnología, Calle 67 N.º 53 - 108. A.A 1226. Medellín, Colombia. Correo electrónico: amaria.mesa@udea.edu.co

²Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. Grupo de investigación BIOMA. Calle 67 N.º 53 - 108. A.A 1226. Medellín, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, los sistemas agrícolas se han visto afectados por el uso de agroquímicos para controlar el ataque de malezas, plagas y enfermedades, lo que ha generado graves problemas sobre la salud humana y de carácter ambiental; entre estos problemas, se cita la reducción de la biodiversidad como uno de los más importantes, seguido de la pérdida en la salud del suelo (Gan y Wickings, 2017). Este tipo de agricultura cada vez es más insostenible debido a la presión ejercida por otro tipo de prácticas y manejos con enfoques sostenibles, mercados diferenciados y exigentes, los cuales a través de organismos reguladores hacen cumplir estándares de producción específicos, además de que existe un creciente problema de resistencia a los plaguicidas que están forzando a la industria a buscar alternativas diferentes de manejo (Gavrilescu y Chisti, 2015; Shahid *et al.*, 2017).

Algunos autores señalan que las pérdidas directas en rendimiento en productos agrícolas causadas por patógenos, animales y malezas oscilan entre el 20% y el 40%; mientras que otros estiman que al discriminar por continentes las pérdidas pueden variar entre el 29% y el 43% (Castaño-Zapata, 2015). Aunque las cifras anteriores corresponden a intervalos muy amplios, en general los autores citan que existen otras pérdidas tanto directas como indirectas las cuales hacen que estos porcentajes pueden ser más elevados cuando se contempla todo el sistema productivo y sus interacciones; algunas son, por ejemplo, la pérdida en calidad del producto final, infestación del suelo, pérdidas y producción de toxinas en poscosecha por parte de algunos patógenos presentes en productos almacenados, incrementos en costos de producción, de manejo e incluso la predisposición de las plantas a otras enfermedades (Savary *et al.*, 2012).

Entre los hongos y oomicetos fitopatógenos más significativos tanto en pre como en poscosecha en distintos cultivos se encuentran algunos géneros como *Botrytis*, *Puccinia*, *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Mycosphaerella*, *Hemileia*, *Tilletia*, *Ceratocystis*, *Cochliobolus*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Erysiphe*, *Sphaerotheca*, *Phytium*, *Plasmopara*, *Peronospora*, *Phytophthora*, entre otros (Hosni *et al.*, 2013; Castaño-Zapata, 2015); y durante los últimos años, los fungicidas de síntesis han sido una de las estrategias más utilizadas por los agricultores para controlar las enfermedades causadas por estos; los más comunes en su composición química son compuestos fosforados, clorados, carbamatos, nitroderivados y derivados aromáticos (Martínez-Romero *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012). Sin embargo, en los últimos años el uso de fungicidas de síntesis química ha aumentado la preocupación del consumidor y se ha visto cómo su uso es cada vez más restrictivo debido a efectos carcinógenos, problemas de toxicidad residual, contaminación ambiental como disminución de la biodiversidad y contaminación del suelo y aparición de resistencia microbiana. No obstante, estos productos no garantizan la exitosa erradicación del agente etiológico, dado que pequeñas poblaciones del patógeno pueden sobrevi-

vir por diferentes razones como: aplicaciones deficientes o inadecuadas del fungicida, resistencia, individuos de la población que son menos sensibles y que no pueden ser controlados, o inóculos procedentes de cultivos vecinos, por lo que hoy en día se ha requerido nuevas alternativas de manejo que sean amigables con el ambiente para controlar los microorganismos fitopatógenos (Koul *et al.*, 2008; Kavitha y Satish, 2011; Céspedes *et al.*, 2014).

En la actualidad, nuevas iniciativas y tendencias tecnológicas se están presentando en el desarrollo de bioinsumos como bioinsecticidas, bioherbicidas, bioacaricidas, bionematicidas y biofungicidas; estas alternativas incluyen estimulantes de la defensa en las plantas, técnicas de control biológico y derivados de productos naturales obtenidos a partir de plantas y microorganismos (Sharma y Malik, 2012; Isman y Grieneisen, 2014; Ordanza-Beneitez, 2017). Para el control y la conservación biológica de los cultivos se están empleado este tipo de bioinsumos, los cuales son eficaces cuando existe una comprensión del agroecosistema y sus limitaciones. Gran variedad de investigaciones se centra en estudios sobre la formulación de productos naturales con algún tipo de actividad biológica sobre hongos fitopatógenos con una eficacia y una acción cada vez mayor y más rápida, lo que está generando que estas prácticas sean más eficaces en un amplio rango de condiciones ambientales, de especies de plagas y de sistemas de cultivos (Adekambi *et al.*, 2010; Gakuya *et al.*, 2013). Debido a lo anterior, la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) tiene en sus registros información donde claramente se ha demostrado que los productos naturales juegan un papel importante en el descubrimiento y desarrollo de nuevos productos y cada vez más, se reconoce la importancia de las especies vegetales y sus derivados (extractos, aceites esenciales, decocciones, metabolitos secundarios) en la protección de cultivos bajo el concepto del Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) (U.S. EPA (a,b); Cantrell *et al.*, 2012; Leahy *et al.*, 2014; Sparks *et al.*, 2017).

El objetivo de la presente revisión es exhibir el avance en el desarrollo de fungicidas a partir de extractos y aceites esenciales obtenidos de especies vegetales y evaluados *in vitro* contra hongos fitopatógenos como un paso inicial al desarrollo de las alternativas tecnológicas prometedoras en el uso de bioproductos disponibles a partir de plantas. Estos potenciales productos pueden retardar la reproducción de microorganismos indeseables, y sería un método realista y ecológicamente sólido para la protección de los cultivos transitorios o temporales, lo que permitiría sustituir con éxito a los agroquímicos de síntesis, sin las restricciones de uso que distingue a los productos sintéticos.

Extractos vegetales y metabolitos bioactivos de las plantas

La tendencia mundial muestra que el uso de las plantas y los derivados obtenidos a partir de estas está aumentando de manera considerable en el control de plagas y enfermedades importantes (Cavaliere *et al.*, 2008). El conocimiento

tradicional expresa la necesidad de trabajar en la búsqueda de nuevas opciones terapéuticas a partir de plantas reconocidas (Cordell, 2000). Las plantas tienen la capacidad de sintetizar una gran diversidad de metabolitos secundarios relacionados con diferentes mecanismos de defensa, entre los que se encuentran compuestos químicos como terpenos, fenoles, compuestos nitrogenados como alcaloides y compuestos azufrados, muchos de estos con propiedades antimicrobianas. Estos metabolitos tienen una función importante en la protección ante depredadores, microorganismos patógenos y herbívoros, así como diversos tipos de estrés abiótico (por ejemplo, exposición UV) (Cowan, 1999; Ávalos-García y Carril, 2009). Durante los últimos años, se ha evidenciado que las plantas tienen funciones biológicas y químicas de defensa, por lo que gran variedad de estos compuestos pueden tener actividad biológica sobre hongos (Mazid *et al.*, 2011; Saravanakumar *et al.*, 2015).

Por ejemplo, los terpenos (mono, sesqui, di, tri y politerpenos) participan en la defensa de las plantas como toxinas y elementos de disuasión de la alimentación de una gran cantidad de insectos y mamíferos, se postula que actúan disminuyendo la permeabilidad de membrana celular, causando una drástica reducción en el número de mitocondrias y las vesículas generadas en el complejo de Golgi, lo que perjudica la respiración y el tráfico vesicular. Compuestos de tipo fenólico como las cumarinas, ligninas, flavonoides y taninos están presentes en el sistema de defensa de las plantas mediante la modificación de tejidos o pared celular proporcionando dureza o rigidez a estos, toxinas capaces de unirse a proteínas que actúan como repelentes, la inhibición enzimática por oxidación, algunas implicadas en procesos de transcripción y reparación del ADN, generando muerte celular. Los compuestos azufrados como GSH, GSL, fitoalexinas, tioninas, tienen una directa o indirecta relación con los mecanismos de defensa de las plantas contra patógenos microbianos y los compuestos nitrogenados en los que se incluyen alcaloides, glucósidos cianogénicos, y aminoácidos no proteicos que se sintetizan a partir de aminoácidos comunes, se postula que se intercalan en el DNA debido a su papel en la defensa contra los herbívoros y toxicidad sobre microorganismos (Gershenzon y Croteau, 1992; Dixon y Paiva, 1995; Kuc, 1995; Cowan, 1999; Dixon, 2001; Wuys *et al.*, 2006; Ávalos-García y Carril, 2009; Chong *et al.*, 2009; Saravanakumar *et al.*, 2015).

Métodos de extracción y caracterización de extractos vegetales

El proceso para obtener extractos vegetales es variable, todos estos componentes se obtienen en conjunto cuando se extraen de los diferentes órganos tanto vegetativos como reproductivos, tales como raíces, hojas, brotes, tallos, flores y frutos previamente triturados con un tamaño de partícula determinado y en contacto con cantidad suficiente de solvente. Entre las técnicas de extracción se encuentra la percolación, el arrastre con vapor, en la extracción soxhlet se emplean distintos solventes

donde se pueden obtener extractos acuosos, etanólicos, aceites esenciales o utilizar otros solventes para obtener diversos compuestos, acorde a su polaridad. Posterior a la extracción, la mezcla es filtrada, el material insoluble es lavado con el mismo solvente y los filtrados se mezclan para concentrar el extracto, y secarlos hasta sequedad. Según el tipo de método empleado se pueden presentar altos rendimientos de extracción y presentar una versatilidad en la separación de componentes por sus características polares, además de poder obtener extractos para el fraccionamiento y aislamiento de las sustancias marcadoras que son separadas por técnicas de cromatografías que permiten aislar los componentes principales a través de métodos de fraccionamiento guiado por bioensayo y técnicas de alta resolución para su caracterización como la cromatografía de alta resolución acoplada a espectrofotometría de masas (HPLC-DAD-MS) y la resonancia magnética nuclear (RMN) (Maldoni, 1991; García *et al.*, 1995; Pardo *et al.*, 2011; Mesa-Vanegas *et al.*, 2015).

Evaluación de actividad biológica de extractos vegetales en hongos fitopatógenos

A los extractos vegetales y compuestos obtenidos se les evalúa su potencial biológico en los diferentes modelos biológicos a nivel *in vitro* e *in vivo*. En su mayoría los métodos de evaluación biológica sobre hongos fitopatógenos consisten en la exposición del hongo a diferentes concentraciones de extracto en medio agar papa dextrosa (PDA) (Nene, 2002; Castillo *et al.*, 2010). Los macrométodos generalmente son basados en el análisis de difusión en disco en agar determinando el halo de inhibición en presencia de una concentración determinada del extracto vegetal y empleando como control positivo un fungicida agrícola sistémico. Otro de los métodos comúnmente empleados es el envenenamiento del medio de cultivo en el cual se adiciona una concentración conocida de extracto disuelta en el medio de cultivo junto con un testigo absoluto y posteriormente se adiciona el inóculo del patógeno para evaluar. Los micrométodos permiten determinar la concentración mínima inhibitoria (MIC) de un extracto mediante microplatos estériles, el crecimiento del patógeno se sigue por la variación de la densidad óptica (DO) de una suspensión de esporas de cada uno de los hongos en una concentración aproximada de $2,5 \times 10^4$ esporas/mL y se realiza la lectura inicial a los 30 minutos y pasadas las 48 horas a 25 °C. Múltiples reportes en la literatura expresan la acción de un extracto vegetal sobre hongos fitopatógenos con una estimulación biológica hasta una inhibición total (García *et al.*, 1995; Rojas *et al.*, 2005; Pardo *et al.*, 2011).

Especies vegetales con reportes de actividad antifúngica

La actividad biológica de un extracto con respecto a un hongo varía en función de la metodología de preparación (solvente, seco, fresco, tiempo de almacenamiento, etc.), especie botánica, órgano de la planta (raíces, hojas, se-

Tabla 1. Especies vegetales con actividad biológica sobre hongos fitopatógenos.*Actividad biológica sobre la esporulación del hongo *in vitro*.

Especie vegetal	Extracto evaluado	Patógeno	Concentración	Inhibición (%)	Método de evaluación	Referencia
<i>Cowanai plicata</i> D. Don.	Metanólico	<i>Fusarium oxysporum</i>	55000 ppm	100%	Medios envenenados	Contreras-Arredondo <i>et al.</i> , 2011
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Metanólico	<i>Colletotrichum coccodes</i>	25000 ppm	100%		
<i>Flourensia microphylla</i>	Etanólico	<i>Alternaria</i> sp.	1500 µL/L	100%	Medios envenenados	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
	Etanólico	<i>Rhizoctonia solani</i>	1000 µL/L	98%		
	Etanólico	<i>Fusarium oxysporum</i>	1500 µL/L	100%		
<i>Flourensia cernua</i>	Etanólico	<i>Alternaria</i> sp.	1500 µL/L	98%		
	Etanólico	<i>Rhizoctonia solani</i>	1000 µL/L	100%		
	Etanólico	<i>Fusarium oxysporum</i>	1500 µL/L	100%		
<i>Flourensia retinophylla</i>	Etanólico	<i>Alternaria</i> sp.	1500 µL/L	98%		
	Etanólico	<i>Rhizoctonia solani</i>	1000 µL/L	100%		
	Etanólico	<i>Fusarium oxysporum</i>	1500 µL/L	100%		
<i>Acacia farnesiana</i>	Etanólico al 30%	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	100%	99%	Medios envenenados	Rodríguez-Pedroso <i>et al.</i> , 2012
	Acuoso	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	100%	98%		
<i>Capsicum annuum</i> L. var <i>aviculare</i>	Etanólico	<i>Aspergillus flavus</i>	1000 ppm	100%	Técnica de dilución	Moreno-Limón <i>et al.</i> , 2012
<i>Inula britannica</i>	Aceite esencial	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	1 mg/mL	100%	Medios envenenados	Zhao <i>et al.</i> , 2013
		<i>Phytophthora capsici</i>	1 mg/mL	83,76%		
		<i>Fusarium moniliforme</i>	1 mg/mL	64,69%		
		<i>Phytophthora capsici</i>	1 mg/mL	98,26%*		
		<i>Fusarium oxysporum</i>	1 mg/mL	96,54%*		
		<i>Colletotrichum orbiculare</i>	1 mg/mL	87,89%*		
<i>Melia azederach</i> L.	Etanólico	<i>Colletotrichum</i> sp.	50 ppm	100%	Método de siembra directa	Pérez <i>et al.</i> , 2011
		<i>Fusarium oxysporum</i>	10000 ppm	89,55%	Medios envenenados	Ochoa-Fuentes <i>et al.</i> , 2012
<i>Annona cherimola</i>	Metanólico	<i>Fusarium culmorum</i>	10000 ppm	89,62%		
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Metanólico	<i>Fusarium culmorum</i>	300 ppm	45,58%		
<i>Leptogium cyanescens</i>	Acetona	<i>Rhizoctonia solani</i>	0,07%	0%	Medios envenenados	Vaillant-Flores <i>et al.</i> , 2015
		<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>parasitica</i>	0,07%	43%		
<i>Physcia americana</i>	Acetona	<i>Rhizoctonia solani</i>	0,07%	65%		
		<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>parasitica</i>	0,07%	100%		
<i>Pyxine aff. cocoes</i>	Acetona	<i>Rhizoctonia solani</i>	0,07%	60%		
		<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>parasitica</i>	0,07%	50%		
<i>Agave scabra</i>	Etanólicos	<i>Botrytis cinerea</i>	250 mg/100 L	90%	Técnica del pozo en agar	González-Álvarez <i>et al.</i> , 2015
		<i>Penicillium</i> sp.	250 mg/100 L	86,66%		
<i>Nepeta leucophylla</i>	Aceites esenciales	<i>Helminthosporium maydis</i>	500 µg/mL	83,9%	Medios envenenados	Kumar <i>et al.</i> , 2014
<i>Fusarium oxysporum</i>		500 µg/mL	74,5%			
<i>Nepeta ciliaris</i>		<i>Helminthosporium maydis</i>	500 µg/mL	88,2%		
<i>Nepeta clarkei</i>		<i>Helminthosporium maydis</i>	500 µg/mL	79,6%		
<i>Calamintha umbrosa</i>		<i>Helminthosporium maydis</i>	500 µg/mL	76,1%		
<i>Satureja hortensis</i> L.	Aceite esencial	<i>Botrytis cinerea</i>	1,0%	100%	Medios envenenados	Boyras y Özcan, 2006
	Hidrosol	<i>Botrytis cinerea</i>	15%	100%		

Especie vegetal	Extracto evaluado	Patógeno	Concentración	Inhibición (%)	Método de evaluación	Referencia
<i>Lippia origanoides</i>	Etanólicos	<i>Septoria apiicola</i> Speng.	0,25%	100%	Medios envenenados	Ortiz <i>et al.</i> , 2016
<i>Gliricidia sepium</i>		<i>Septoria apiicola</i> Speng.	0,8%	100%		
<i>Heliotropium indicum</i>	Etanólicos	<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	2,5%	78%	Medios envenenados	Bolívar <i>et al.</i> , 2009
<i>Thymus vulgaris</i>	Aceite esencial	<i>Fusarium</i> sp.	300 µg/mL	100%	Medios envenenados	Balanta <i>et al.</i> , 2013
<i>Allium sativum</i> L.	Hidroalcohólicos	<i>Botrytis cinerea</i> Pers	20%	100%	Medios envenenados	Şesan <i>et al.</i> , 2015
<i>Hyssopus officinalis</i> L.			5%	100%		
<i>Mentha</i> sp.			20%	100%		
<i>Satureja hortensis</i> L.			10%	100%		
<i>Tagetes patula</i>			20%	88,5%		
<i>Trachyspermum ammi</i>	Aceite esencial	<i>Botrytis cinerea</i>	500 µg/mL	100%	Medios envenenados	Behdani <i>et al.</i> , 2012
<i>Mentha pulegium</i>						
<i>Cuminum cyminum</i>						
<i>Zataria multiflora</i>						
<i>Pimpinella anisum</i>						
<i>Cinnamomum verum</i>	Acetona	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	5,0 mg/mL	100%	Medios envenenados	Masangwa <i>et al.</i> , 2013
<i>Carum carvi</i>						
<i>Agapanthus caulescens</i>						
<i>Allium sativum</i>						
<i>Carica papaya</i>						
<i>Agapanthus caulescens</i>						
<i>Allium sativum</i>						
<i>Allium sativum</i>						
<i>Allium sativum</i>						
<i>Syzygium cordatum</i>						
<i>Allium sativum</i>						
<i>Carica papaya</i>	Acuoso	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	5,0 mg/mL	100%	Medios envenenados	Masangwa <i>et al.</i> , 2013
<i>Chlorophytum comosum</i>						
<i>Agapanthus caulescens</i>						

Tabla 2. Clasificación de actividad biológica sobre hongos fitopatógenos.

Clasificación	Rango de Concentraciones (ppm)
Activo	> 5000
Moderadamente activo	5000-10000
Ligeramente activo	10000-20000
Inocuo	< 20000

millas, etc.), fecha de cosecha, entre otras. Singh (2014) y De Almeida *et al.* (2016) reportaron que hasta la fecha se habían explorado más de 6.000 especies de plantas y más de 2.500 especies de estas (pertenecientes a 235 familias)

poseían actividad biológica contra algún tipo de plaga y enfermedad; así mismo, este número es bajo conforme se analiza la diversidad total de plantas en el planeta, por lo que algunos autores sugieren que entre el 1 y 10% de las plantas descubiertas y evaluadas tienen un potencial de producir metabolitos secundarios biológicamente activos contra plagas y enfermedades (Benner, 1993; Prakash y Rao, 1997; Singh, 2000; Koul y Walia, 2009; Bettiol *et al.*, 2014; Jeyalakshmi *et al.*, 2015).

En la tabla 1 se presentan los reportes encontrados en las distintas bases de datos (Science Direct, PUBMED, Scielo; consultadas en noviembre 2017), libros especializados y demás reportes bibliográficos relacionados con distintas especies de plantas con actividad inhibitoria sobre los diferentes fitopatógenos específicamente de los géneros *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Co-*

Iletotrichum, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Gaeumannomyces*, *Helminthosporium*, *Septoria*, *Alternaria*, *Phytophthora*, *Pyricularia*, y las concentraciones inhibitorias con sus efectos obtenidos.

Entre las especies de vegetales más reconocidas por sus propiedades plaguicidas se encuentra el Neem (*Azadirachta indica* A. Jussieu, Meliaceae), el cual se ha utilizado ampliamente contra una serie de especies de plagas (Gahukar, 2014; Jeyalakshmi *et al.*, 2015), al igual que cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), orégano (*Origanum vulgare* L.) (García-Camarillo *et al.*, 2006), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), crisantemo (*Chrysanthemum cinense* Sabine), flor de muerto (*Tagetes erecta* L.) (Granada, 2002). La actividad fungistática de muchas especies vegetales difiere entre los tipos de extractos acuosos, etanólicos, metanólicos y aceites esenciales, lo que se ha comprobado por varios investigadores es el marcado efecto de los aceites esenciales sobre patógenos, dado que en gran parte los resultados son favorables en varios agentes patógenos con un efecto selectivo que depende de la especie de planta y del patógeno (Singh, 2014).

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

La evaluación de extractos vegetales sobre la inhibición de patógenos a nivel *in vitro* es la primera fase que indica el potencial prometedor de una planta para ser usada en tratamientos pre y poscosecha. La mayor parte de los estudios son básicos y solo se reporta la concentración en la cual se presenta un efecto inhibitorio, sin embargo es necesario indagar sobre el efecto de los extractos vegetales en aspectos moleculares, bioquímicos, morfológicos del hospedero y del patógeno para conocer el modo y mecanismo de acción, el efecto toxicológico y así determinar cuáles son los compuestos responsables de la actividad antifúngica y de esta manera aislar e identificar los compuestos activos y los cambios moleculares, morfológicos y bioquímicos que estos compuestos causan sobre el patógeno. A pesar de los múltiples reportes aún no existe un consenso en las concentraciones de evaluación que permitan clasificar la respuesta biológica en activos e inactivos, lo que conlleva a que no haya un rango de concentraciones definido entre autores para clasificar un extracto vegetal como antifúngico promisorio. De acuerdo a una exhaustiva revisión en la literatura se recomienda establecer un consenso de clasificación según el efecto del extracto como: activo, moderadamente activo, ligeramente activo e inocuo, según la tabla 2.

La rigurosidad en las técnicas de evaluación *in vitro* permitirá clasificar el potencial de extractos vegetales como un punto de partida en el desarrollo de productos cuyo principio activo es un extracto vegetal y que podría tener la propiedad de contribuir a aminorar los costos de producción de los agricultores debido a que se biodegradan rápidamente, no contaminan el ambiente y presentan un bajo costo. De esta manera el desarrollo de biofungicidas requiere equipos multidisciplinarios para optimizar la producción, la eficacia, el almacenamiento y la estabilidad de

un producto para que esta tecnología pueda evolucionar y satisfacer las demandas agrícolas de hoy en día.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de Colciencias del proyecto código: 111577657130 y a la Universidad de Antioquia.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEKAMBI, S.; ADEGBOLA, P.; AROUNA, A. 2010. Farmers' perception and agricultural technology adoption. The case of botanical extracts and bio-pesticides in vegetable production in Benin. Contributed paper presented at the joint 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) conference, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.
- ÁVALOS-GARCÍA, A.; CARRIL, E.P.U. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. 2(3): 119-145.
- BALANTA, J.F.; RAMÍREZ, L.; CAICEDO-BEJARANO, L.D. 2013. Características fisicoquímicas y actividad antimicótica del extracto de tomillo sobre cepas *Fusarium oxysporum*. *Ingenium*, 7(17): 29-35.
- BEHDANI, M.; POOYAN, M.; ABBASI, S. 2012. Evaluation of antifungal activity of some medicinal plants essential oils against *Botrytis cinerea*, causal agent of postharvest apple rot, *in vitro*. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(14): 1012-1016.
- BENNER, J.P. 1993. Pesticidal compounds from higher plants. *Pesticide Science*, 39: 95-102.
- BETTIOL, W.; RIVERA, M.C.; MONDINO, P.; MONTEALEGRE, J.R.; COLMENAREZ, Y. 2014. Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Facultad de Agronomía Universidad de la República, Montevideo. 404 p.
- BOLÍVAR, K.; SANABRIA, M.; RODRÍGUEZ, D.; CAMACARO, M.; ULACIO, D.; CUMANA, L.; CRESCENTE, O. 2009. Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. *Revista UDO Agrícola* 9 (1): 175-181. 2009.
- BOYRAZ, N.; ÖZCAN, M. 2006. Inhibition of phytopathogenic fungi by essential oil, hydrosol, ground material and extract of summer savory (*Satureja hortensis* L.) growing wild in Turkey. *International Journal of Food Microbiology*, 107(2): 238-242.
- CANTRELL, C.L.; DAYAN, F.E.; DUKE, S.O. 2012. Natural Products As Sources for New Pesticides. *Journal of Natural Products*, 75(6), 1231-1242.
- CASTAÑO-ZAPATA, J. 2015. Principios básicos de hongos fitopatógenos. Editorial Universidad de Caldas. 360 p.
- CÉSPEDES, C.; SALAZAR, J.; ARIZA, A.; YAMAGUCHI, L.; ÁVILA, J.; AQUEVEQUE, P. 2014. Biopesticide from plants: *Calceolaria integrifolia* s.l. *Environmental Research*. 132: 391-406.
- CHONG, J.; POURARAUD, A.; HUGUENEY, P. 2009. Metabolism and roles of stilbenes in plants. *Plant Science*, 177(3): 143-155.
- CONTRERAS-ARREDONDO, M.E.; HERNÁNDEZ-CASTILLO, F.D.; SÁNCHEZ-ARIZPE, A.; GALLEGOS-MORALES, G.; JASSO DE RODRÍGUEZ, D. 2011. Actividad Fungicida de Extractos de *Cowania plicata* D. Don. contra *Fusarium oxysporum* Schlechtend. Fr. y de *Pistacia lentiscus* L. contra *Colletotrichum coccodes* Wallr. *Hunges*. *Revista Agraria Nueva Epoca* Año VIII, 8(1): 6-13.

- CORDELL, G. 2000. Biodiversity and drug discovery a symbiotic relationship. *Phytochemistry*, 55: 463-480.
- COWAN, M.M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4): 564-582.
- DE ALAMEIDA, H.V.B.; MARINHO-PRADO, J.S.; NECHET, K.L.; BOECHAT, M.A.M.; BETTIOL, W. 2016. *Defensivos Agrícolas Naturais Uso e Perspectivas*. EMBRAPA. 853 p.
- DIXON, R.A. 2001. Natural products and plant disease resistance. *Nature*, 411(6839): 843-847.
- DIXON, R.A.; PAIVA, N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell*, 7(7): 1085.
- CAVALIERE, C.; Rea, P.; Lynch, M.; Blumenthal, M. 2009. Herbal supplement sales experience slight increase in 2008. *HerbalGram* 82: 58-61.
- GAHUKAR, R. 2014. Factors affecting content and bioefficacy of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) phytochemicals used in agricultural pest control: A review. *Crop Protection*. 62: 93-99.
- GAKUYA, D.W.; ITOGA, S.M.; MBARIA, J.M.; MUTHEE, J.K.; MUSAU, J.K. 2013. Ethnobotanical survey of biopesticides and other medicinal plants traditionally used in Meru central district of Kenya. *Journal of Ethnopharmacology*. 145(2): 547-553.
- GAN, H.; WICKINGS, K. 2017. Soil ecological responses to pest management in golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246: 66-77.
- GARCÍA, C.L.G.; CORREA, E.; ROJAS, N. 1995. Estudio fitoquímico preliminar y evaluación de la actividad antimicrobiana de algunas plantas superiores colombianas. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 23(1): 42-48.
- GARCÍA-CAMARILLO, E.A.; QUEZADA-VIAY, Y.; MORENO-LARA, J.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, G.; MORENO-MARTÍNEZ, E.; PÉREZ-REYES, M.C.J. 2006. Antifungal activity of essential oils of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) and oregano (*Origanum vulgare* L.), and their effects on aflatoxin concentration in pecan nut [*Carya illinoensis* (FA Wangenh) K. Koch]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(1), 8-12.
- GAVRILESCU, M.; CHISTI, Y. 2005. Biotechnology-a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*. 23(7): 471-499.
- GERSHENZON, J.; CROTEAU, R. 1992. Terpenoids. In G. A. Rosenthal (Ed.), *Herbivores: Their interactions with secondary plant metabolites*, second edition, Vol. 1: The chemical participants (pp. 165-219). San Diego, London: Academic.
- GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, M.; MORENO-LIMÓN, S.; SALCEDO-MARTÍNEZ, S.M.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, E.C. 2015. Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de extractos de agave (*Agave scabra* Salm Dyck) sobre hongos postcosecha. *Phyton*, 84(2): 427-434.
- GRANADA, N. 2002. Efecto de once extractos vegetales sobre el tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* (mont) de Bary en papa (*Solanum phureja* Juz et. Buk). *Rev. agron.* 10(1-2), 21-30.
- HOSNI, K.; HASSEN, I.; SEBEL, H.; CASABIANCA, H. 2013. Secondary metabolites from *Chrysanthemum coronarium* (Garland) flowerheads: Chemical composition and biological activities. *Industria Crops and Products*. 44: 263-271.
- ISMAN, M.; GRIENEISEN, M. 2014. Botanical insecticide research: new publications, limited useful data. *Trends in Plant Science*. 19(3): 140-145.
- JEYALAKSHMI, C.; DINAKARAN, D.; RETTINASSABABADY, C. 2015. Characterization of bioactive compounds from botanicals for the management of plant diseases. En: GANESAN, S.; VADIVEL, K.; JAYARAMAN, J. (ed.). *Sustainable Crop Disease Management Using Natural Products*. Cabi.
- KAVITHA, H.; SATISH, S. 2011. Eco-friendly management of plant pathogens by some medicinal plant extracts. *Journal of Agricultural Technology*. 7(2): 449-461.
- KOUL, O.; WALIA, S. 2009. Comparing impacts of plant extracts and pure allelochemicals and implications for pest control. *CAB Reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*, 4(49), 1-30.
- KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. 2008. Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*. 4(1): 63-84.
- KUC, J. 1995. Phytoalexins, stress metabolism, and disease resistance in plants. *Annual review of phytopathology*, 33(1): 275-297.
- KUMAR, V.; MATHELA, C.S.; TEWARI, A.K.; BISHT, K.S. 2014. In vitro inhibition activity of essential oils from some Lamiaceae species against phytopathogenic fungi. *Pesticide biochemistry and physiology*, 114, 67-71.
- LEAHY, J.; MENDELSON, M.; KOUGH, J.; JONES, R.; BERKES, N. 2014. Biopesticide oversight and registration at the US Environmental Protection Agency. *Biopesticides: state of the art and future opportunities*. American Chemical Society. 3-18 pp.
- MALDONI, B. 1991. Alkaloids: isolation and purification. *Journal of Chemical Education*, 68(8): 700-703.
- MARTÍNEZ-ROMERO, D.; SERRANO, M.; BAILÉN, G.; GUILLEN, F.; ZAPATA, P.J.; VALVERDE, J.M.; CASTILLO, S.; FUENTES, M.; VALERO, D. 2008. The use of a natural fungicide as an alternative to preharvest synthetic fungicide treatments to control lettuce deterioration during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*. 47 (1), 54-60.
- MASANGWA, J.I.G.; AVELING, T.A.S.; KRITZINGER, Q. 2013. Screening of plant extracts for antifungal activities against *Colletotrichum* species of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *The Journal of Agricultural Science*, 151(4): 482-491.
- MAZID, S.; KALITA, J.; RAJKHOWA, R. 2011. A review on the use of biopesticides in insect pest management. *International Journal of Science and Advanced Technology*. 1(7): 169-178.
- MESA-VANEGAS, A.M.; ZAPATA-URIBE, S.; ARANA, L.M.; ZAPATA, C.I.; MONZALVE, Z.; ROJANO, B. 2015. Antioxidant activity of different polarity extracts from *Ageratum conyzoides* L. *Boletín latinoamericano del caribe de plantas medicinales y aromáticas*, 14(1): 1-10.
- MORENO-LIMÓN, S.; SALCEDO-MARTÍNEZ, S.M., CÁRDENAS-ÁVILA, M.L.; HERNÁNDEZ-PIÑERO, J.L.; NÚÑEZ-GONZÁLEZ, M.A. 2012. Efecto antifúngico de capsaicina y extractos de chile piquín (*Capsicum annum* L. var *aviculare*) sobre el crecimiento *in vitro* de *Aspergillus flavus*. *Polibotánica*, (34), 191-204.
- NENE, Y.L.; THAPILYAL, P.N. 2000. *Fungicides in Plant Disease Control* (5 ed.), Oxford and IBH Publishing Company, Nueva Delhi. 691 p.
- OCHOA-FUENTES, Y.M.; CERNA-CHÁVEZ, E.; LANDEROS-FLORES, J.; HERNÁNDEZ-CAMACHO, S.; DELGADO-ORTIZ, J.C. 2012. Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Phyton*, 81: 69-73.
- ORDANZA-BENEITEZ, MA. 2017. Biopesticidas: Tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas. *Agroproductividad*, 10(3): 31-367.
- ORTIZ, F.; RODRÍGUEZ, D.; SANABRIA, M.; PINEDA, J. 2016. Manejo del tizón tardío del celery (*Apium graveolens* L. var. dulce) usando extractos vegetales bajo condiciones controladas. *Bioagro*, 28(2): 87-94.

- PARDO, A.K.; ARENAS, J.J.; GÓMEZ, M.; LORA, F.M.; GÓMEZ, J.E. 2011. Determinación de la actividad antifúngica de extractos de *Lantana camara* frente a *Candida* spp. *Infectio*, 15(4): 235-242.
- PÉREZ, C.; ROJAS, A.; CHAMORRO, J.; PÉREZ, L.; KATY, P. 2011. Evaluación de la actividad antifúngica de *Melia azederach* L. sobre aislados de *colletotrichum* spp. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 3(2): 309-320.
- PRAKASH, A.; RAO, J. 1997. Botanical pesticides in agriculture. CRC Lewis Publishers. Boca Raton. 461 p.
- RODRÍGUEZ, D.; HERNÁNDEZ-CASTILLO, D.; ANGULO-SÁNCHEZ, J.L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, R.; VILLARREAL-QUINTANILLA, J.A.; LIRA-SALDIVAR, R.H. 2007. Antifungal activity *in vitro* of *Flourensia* spp. extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium oxysporum*. *Industrial Crops and Products*, 25(2): 111-116.
- RODRÍGUEZ-PEDROSO, A.T.; RAMÍREZ-ARREBATO, M.; BAUTISTA, S.; TRIANA, A.C.; RIVERO, D. 2012. Actividad antifúngica de extractos de *Acacia farnesiana* sobre el crecimiento *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(1): 91-96.
- ROJAS, J.J.; GARCÍA, A.M.; LÓPEZ, A. 2005. Evaluación de dos metodologías para determinar la actividad antimicrobiana de plantas medicinales. *Boletín latinoamericano del caribe de las plantas medicinales y aromáticas*, 4(2): 28-35.
- SARAVANAKUMAR, D.; KARTHIBA, L.; RAMJEGATHESH, R.; PRABAKAR, K.; RAGUCHANDER, T. 2015. Characterization of bioactive compounds from botanicals for the management of plant diseases. En: GANESAN, S.; VADIVEL, K.; JAYARAMAN, J. (ed.). *Sustainable Crop Disease Management Using Natural Products*. Cabi.
- SAVARY, S.; FICKE, A.; AUBERTOT, J.N.; HOLLIER, C. 2012. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Security* 4, 519-537.
- ŞESAN, T.E.; ENACHE, E.; LACOMI, B.M.; OPREA, M.; OANCEA, F.; LACOMI, C. 2015. Antifungal activity of some plant extracts against *Botrytis cinerea* Pers. in the blackcurrant crop (*Ribes nigrum* L.). *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 14(1): 29-43.
- SHAHID, M.; ZAIDI, A.; KHAN, M.S.; RIZVI, A.; SAIF, S.; AHMED, B. 2017. Recent advances in Management Strategies of Vegetable Diseases. *Microbial Strategies for Vegetable Production*, 197-226 pp.
- SHARMA, S.; MALIK, P. 2012. Biopesticides: Types and Applications. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry (IJAPBC)*, 1(4): 2277-4688.
- SINGH, D. 2014. *Advance in Plant Biopesticides*. Springer. 401 p.
- SINGH, R.P. 2000. Botanicals in pest management: an ecological perspective. En: DHALIWAL, G.S.; SINGH, B.; (ed.). *Pesticides and Environment*. Commonwealth Publishers, Nueva Delhi. p. 279-343 pp.
- SPARKS, T.C.; HAHN, D.R.; GARIZI, N.V. 2017. Natural products, their derivatives, mimics and synthetic equivalents: role in agrochemical discovery. *Pest management science*, 73(4): 700-715.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Pesticide Programs (a). Web Page Safe Pest Control, Integrated Pest Management (IPM principles). (Disponible: <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles> verificado: 23 de octubre de 2017).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Pesticide Programs (b). Web Page Biopesticides. (Disponible: <https://www.epa.gov/pesticides/biopesticides> verificado: 23 de octubre de 2017).
- VAILLANT-FLORES, D.I.; GÓMEZ-PERALTA, M.; ROMEUCARBALLO, C.; RAMÍREZ-OCHOA, R.; PORRAS-GONZÁLEZ, A. 2015. Actividad antifúngica de extractos de tres especies de líquenes en cuba. *Agron. Mesoam*. 26(2): 345-350.
- WUYTS, N.; LOGNAY, G.; SWENNEN, R.; WAELE, D. 2006. Nematode infection and reproduction in transgenic and mutant. *Arabidopsis* and tobacco with an altered phenylpropanoid metabolism. *Journal of Experimental Botany*. 57(11): 2825-2835.
- ZHAO, T.; GAO, F.; ZHOU, L.; SONG, T. 2013. Essential Oil from *Inula britannica* Extraction with SF-CO₂ and Its Antifungal Activity. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(10): 1791-1798.

Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina

VALEIRO, A.¹; BIAGGI, C.²

RESUMEN

La agroindustria argentina del azúcar se concentra en la región noroeste. Tucumán es la principal productora, con 70% de la superficie nacional implantada. Resulta casi imposible pensar en el desarrollo económico y social de Tucumán separado de la caña de azúcar y su industrialización. Ahora, con los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo, la investigación tecnológica y el trabajo con los actores del sector tienen como objetivo que la producción de la caña de azúcar no solo resulte rentable, sino que además muestre una gestión ambiental coherente con el aumento de superficie de estos últimos 20 años. La sustentabilidad del cultivo de caña de azúcar se relaciona especialmente con el modo de realizar la cosecha, que es la etapa de mayor importancia en su producción. El tipo de cosecha de caña de azúcar influye una cantidad de aspectos que hacen al desempeño productivo del cultivo, a su resultado económico, a la generación de empleo sectorial y regional, a la evolución de la tecnología industrial y al impacto ambiental de la producción. Además, en cualquiera de sus tipos, la cosecha se destaca por su impacto dentro del costo productivo total, representando entre 25% al 35%, y por lo tanto, cualquier variación que se registre en esa etapa repercute fuertemente en la rentabilidad final del cultivo. En esta revisión bibliográfica se presenta la evolución de las diferentes prácticas de cosecha en la Argentina resaltando la importancia que estas tienen sobre la productividad y longevidad de los cañaverales y las consecuencias sobre los recursos naturales, en especial el suelo. Se realiza una crítica sobre el uso de las cosechadoras integrales, con énfasis sobre las ventajas, limitaciones y desafíos técnicos de este paradigma tecnológico. La mecanización integral de la cosecha —se concluye— dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina, más bien representa un cambio que lleva implícito un nuevo ordenamiento de la actividad; caracterizado por la notable reducción del tiempo necesario para la zafra. Los problemas todavía pendientes de solucionar —la falta de adaptación a plantaciones de poco tamaño, las pérdidas de cosecha a campo y en la interface campo-industria, el potencial de compactación de los suelos/decaimiento de los cultivos y la quema del rastrojo remanente— indican que el sistema mecanizado integral está lejos de ser el fin del camino de desarrollo de la cosecha de caña de azúcar y que todavía resulta necesaria una mayor oferta tecnológica para esta etapa productiva clave.

Palabras clave: caña de azúcar, cosecha, cosechadora integral, sustentabilidad.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Labintex Europa 1000 Avenue Agropolis (34394), Montpellier, Francia. Correo electrónico: valeiro.alejandra@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Famallá, Ruta Provincial 301 km 32 (T4132) Tucumán, Argentina. Correo electrónico: biaggi.maria@inta.gob.ar

ABSTRACT

The Argentinian sugar agroindustry is concentrated in the northwest region. Tucumán is the main producer, with 70% of the national planted area. It is almost impossible to think of the economic and social development of Tucumán separated from sugarcane and its industrialization. Now, with the new energy paradigms defying the crop, technological research and work with the actors of this sector aim to make the production of sugarcane not only profitable, but to also show an environmental management consistent with the increase of surface within the last 20 years. The sustainability of sugar cane cultivation is especially related to the way of harvesting, which is the stage of greatest importance in its production. The type of sugar cane harvest influences a number of aspects that make the productive performance of the crop, its economic result, the generation of sectoral and regional employment, the evolution of industrial technology and the environmental impact of production. In addition, in any of its types, the harvest stands out for its impact within the total productive cost, representing between 25% and 35%, and therefore, any variation recorded at that stage has a strong impact on the final profitability of the crop. In this bibliographic review, the evolution of the different harvesting practices in Argentina is presented, highlighting the importance they have on the productivity and longevity of the cane fields and the consequences on natural resources, especially the soil. A critique is made about the use of integral harvesters, with emphasis on the advantages, limitations and technical challenges of this technological paradigm. The integral mechanization of sugarcane harvest, it is concluded, is far from being simply the replacement of human labor by a machine. Rather it represents a change implied by a new order of the activity; characterized by the remarkable reduction of the time necessary for the harvest. The problems still needed to be solved - the lack of adaptation to small-sized plantations; crop losses in the field and in the field-industry interface; the potential for soil compaction / crop decay and the burning of remaining stubble - indicate that the integral mechanized system is far from being the end of the sugarcane harvest development path and that greater technological supply is still needed for this key productive stage.

Keywords: sugarcane, harvest, chopper harvester, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria argentina del azúcar se concentra en el noroeste argentino (NOA), en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy, aunque existe además un menor desarrollo azucarero en el Litoral. Tucumán es la principal productora, con más del 70% de la superficie implantada en el país (Benedetti, 2018).

La actividad azucarera constituye uno de los principales pilares de la economía de la provincia desde la segunda mitad del siglo XIX. Aunque se han sumado importantes actividades agrícolas en los últimos años, es casi imposible pensar en el desarrollo económico y social de Tucumán separado de la caña de azúcar y su industrialización. Ahora con los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo, la investigación tecnológica y el trabajo con los actores del sector tienen como objetivo que la producción de la caña de azúcar no solo resulte rentable, sino que además muestre una gestión ambiental coherente con el aumento de superficie de estos últimos 20 años.

La sustentabilidad del cultivo de caña de azúcar —en todos sus aspectos— se relaciona especialmente con el modo de realizar la cosecha, que es la etapa de mayor importancia en su producción. Su objetivo es recolectar la materia prima disponible en el campo con una alta eficiencia

y mínimas pérdidas, garantizando un suministro oportuno y en cantidad suficiente a la fábrica, con el menor tiempo posible entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente de hojas, despunte y tierra) y con los menores costos, todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad a precios competitivos.

En cualquiera de sus tipos, la cosecha se destaca por su impacto dentro del costo productivo total, representando entre 25% al 35% (Santochi *et al.*, 2015). Por lo tanto, cualquier variación que se registre en esa etapa repercute fuertemente en la rentabilidad final del cultivo. A su vez, el tipo de cosecha que se utilice condiciona la logística y los costos de transporte de la materia prima hasta el ingenio, otro componente esencial que define la rentabilidad global de la cadena. En Tucumán se cosechan anualmente más de 12 millones de toneladas de caña, un volumen enorme que debe ser transportado de una u otra manera desde el campo hasta las fábricas.

Las referencias bibliográficas (Fogliatta, 1995; Romero *et al.*, 2009; Vicini y Vicini, 2010; Acreche y Valeiro, 2011; Felipe, 2013) coinciden en clasificar los distintos tipos de cosecha de caña de azúcar en tres categorías: manual, semimecanizada y mecanizada. En todos los casos se busca que sean bajos los niveles de materias extrañas que van

con las cañas (especialmente hojas, despunte y tierra), porque la cantidad de impurezas (trash) al momento de ingresar al ingenio tiene una penalidad en el precio de la producción entregada.

1. La cosecha manual

Se trata del modo más tradicional de cosecha de la caña de azúcar, y en muchos países aún la recolección se realiza de esta forma, sobre todo en aquellos en desarrollo.

En la cosecha manual se utiliza una herramienta de corte denominada en Tucumán comúnmente como "macheta". Hasta mediados de los años sesenta, el trabajador cortaba ("hachaba") las cañas en la base, lo más cerca del suelo posible. Luego con el mismo instrumento, "pelaba" el tallo quitándole todas las hojas, lo que incluía el corte de las puntas (que se descartan por su bajo contenido de azúcar, lo que pueden constituir un residuo castigado en el ingenio), lanzando luego la caña cortada sobre el terreno para la formación de cordones.

A partir de mediados de los 60 y 70 se impone la práctica de la quema de la caña en pie, eliminando las hojas y evitando la tarea del pelado. Como la quema de la caña en pie generaba llamas de gran altura, y comenzaron a producirse problemas en la infraestructura (sobre todo en los tendidos eléctricos), se empieza a difundir la alternativa de acondicionar la caña cortada entera en cordones, quemando luego esos cordones para eliminar las hojas.

La disposición en que los tallos son acomodados en el terreno depende de la forma de cargamento que se utilice en la finca. Generalmente se preparan "brazadas" (conjuntos de tallos ordenados para facilitar el traslado) que se cargan a mano conformando "paquetes" de unos 3.000 kg sobre los carros que realizan el transporte hasta el ingenio.

La capacidad de corte de un trabajador experimentado promedio que realiza esta actividad (varía entre personas de acuerdo al ritmo de trabajo y la resistencia física de cada uno) oscila entre unas 5 toneladas por día, en los casos en que la caña se quemó previamente, de 2 a 3 toneladas por día cuando se cosecha caña en verde (Fogliata, 1995). Además de esta condición inicial de la caña (quemada o no), otro factor que influye en el rendimiento de los cortadores es el porte de la caña que se está cosechando. Plantas erectas facilitan la actividad, mientras que si se encuentran caídas, cruzadas o con mucha maleza el trabajo resulta más difícil y el rendimiento disminuye.

En 1966, Murmis y Waisman (1969) estimaron que un total de 8.000 obreros permanentes y 42.000 transitorios (35% proveniente de provincias limítrofes) trabajaban en las fincas de los cañeros independientes. Los mismos autores realizaron una encuesta durante la zafra de 1966 en los ingenios azucareros del noroeste donde muestran que el volumen de trabajadores ocupados en la cosecha de caña por estas industrias ascendía a 13.000 (3.300 permanentes y 9.700 transitorios). De este total de trabajadores, podría decirse con cierta seguridad que los 51.700 tran-

sitorios eran seguramente cosecheros. Hacia fines de la década de los noventa, según dirigentes de la Federación Obrera Tucumana de la Industria del Azúcar (FOTIA), había un 50% menos de trabajadores del surco con respecto a dos décadas atrás (Murmis, 1998).

La cosecha manual de la caña de azúcar decreció gradualmente a partir de la década del setenta. Finalizó de esta manera la etapa en que Tucumán recibía miles de cosecheros cada año provenientes de las provincias limítrofes, que se instalaban con sus familias durante cuatro a seis meses en condiciones penosas para llevar adelante la zafra y en la cual trabajaban por igual varones, mujeres y niños. Este cambio está dentro de un proceso general de transformación de las relaciones laborales del sector agropecuario, donde se considera tanto la eficiencia que implica erradicar el deshoje manual como el mejoramiento de las condiciones de trabajo de los peones rurales.

2. La cosecha semimecanizada¹

En la alternativa semimecánica, el corte de la caña también es manual, pero en vez de realizarse la carga "a hombro" de los cosecheros en el medio de transporte de que se trate, se utilizan cargadoras hidráulicas que van colocando la caña en tolvas autovolcables, pudiendo trabajar con o sin transbordadoras en las cabeceras de los lotes para trasladar mayor cantidad de kilos.

Las cargadoras pueden ser autopropulsadas o, en muchos casos, montadas sobre tractores de los mismos productores o empresas de servicios. Su operación requiere una capacitación específica. Cuanta mayor experiencia y capacitación tenga el operador, mayor será la eficiencia del transporte y menor será la cantidad de material extraño presente en la carga o la materia prima que quede desperdiciada en el campo. Aunque también influyen otros factores como el tonelaje del cañaveral, las condiciones del suelo o la presencia de caña volcada.

Los sistemas semimecanizados de cosecha estuvieron vinculados desde un primer momento con el uso de la quema, que tiene como objetivo la eliminación de las hojas. Al comienzo, la industria se resistía a la recepción de caña quemada porque contenía mayores impurezas, aunque finalmente tuvieron que adaptarse para poder competir por el abastecimiento de materia prima.

Como todo proceso de mecanización, uno de los objetivos esenciales es aumentar la productividad de la mano de obra y la contracara resulta ser la disminución del empleo. En efecto, las distintas etapas de mecanización de los procesos de cosecha condujeron a una disminución constante y sostenida de la cantidad de trabajadores empleados, acentuándose desde comienzos de la década de 1990 (Giarraca, Bidaseca y Mariotti, 2001). La mencionada carga mecánica de la caña, por ejemplo, redujo a menos

¹En el trabajo de Jaldo Alvaro *et al.* (2016) se describen ampliamente las diferentes innovaciones que acompañaron las primeras mecanizaciones de la cosecha en Tucumán.

Tipo	Porcentaje de formas de cosecha en 1988 y 1996	
	1988	1996
Manual	82	43
Corte manual y carga mecánica	8	20
Corte y carga mecánica	10	16
Cosechadora mecánica integral	0,1	21
Total	100	100

Tabla 1. Formas de cosecha de caña de azúcar en Tucumán en 1988 y 1996.

Fuente: Encuesta GER, 1988 y 1996.

de la mitad los jornales necesarios para cosechar una hectárea (Tort, 1982).

Giarraca *et al.* (2001) presentan una comparación entre dos estudios realizados en 1988 y 1996 por el Grupo de Estudios Rurales (GER) del Instituto de Investigación Gino Germani², mostrando la evolución en esos ocho años de los diferentes tipos de cosecha de caña. Los datos se muestran en la tabla 1.

La tabla muestra que entre 1988 y 1996 la cosecha manual descendió de casi 82% al 43% del total; el sistema semimecanizado pasó del 18% al 36% y el uso de la mecanizada integral se incrementó del 0,1% al 20,5%. Puede observarse claramente la caída a la mitad en el porcentaje de productores que cosechaban su caña a mano, con un correlato evidente en la ocupación de mano de obra en el cultivo.

Un estudio presentado por Alves (2006) para el caso de San Pablo (Brasil) expone cómo la tecnología y las innovaciones incorporadas en la caña de azúcar aumentaron la productividad del trabajo en el cultivo, medida en toneladas de caña cortada por día/persona ocupada en la actividad. En la década de 1950, la productividad del trabajo era de 3 toneladas de caña cortadas por día de trabajo; en la década de 1980, la media pasó a 6 toneladas de caña por día/persona ocupada y, en el final de la década de 1990 e inicio del siglo XXI, alcanzó las 12 toneladas de caña por día. No es posible decir que el esfuerzo físico de los trabajadores disminuyó, pero sí que las técnicas y la maquinaria incorporadas direccionaron ese esfuerzo hacia levantar una mayor cantidad de caña por trabajador empleado.

2.1 La cosecha tipo Luisiana

Una especie de transición entre la cosecha semimecanizada y la mecanizada integral la constituyó el uso de máquinas cortadoras/apiladoras, que podían ir combinadas con cargadoras, conocidas como “tipo soldado” o “tipo Luisiana” por su origen en aquel estado norteamericano³.

²Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

³Situaciones de mecanización intermedias también las constituyeron

eran autopropulsadas, se desplazaban sobre ruedas y cortaban los tallos de caña –previamente quemada– en la base, hacían el despunte y disponían los tallos enteros en el suelo, para ser alzados manual o mecánicamente (Fogliata, 1995). En Tucumán, llegaron a encontrarse 35 de estas cosechadoras para la zafra de 1964 (Hemsey y Zuccardi, 1967). Las marcas de estas máquinas eran Cameco, Thomson y J&L Honiron, aunque en Tucumán se difundieron solo las dos últimas en las décadas de 1960 y 1970 y continuaron utilizándose hasta los años noventa⁴.

Olea *et al.* (1993) explican los intentos de mecanización de la cosecha en Tucumán en distintos ciclos discontinuos, incluyendo el sistema tipo Luisiana:

1961 – 1964: sistema tipo Luisiana

1972 – 1982: sistema integral

1979 – 1982: retorno del sistema tipo Luisiana

1992 ... retorno del sistema integral

El rendimiento de corte de las cosechadoras “tipo Luisiana” era de entre 25 y 35 t/hora, pero presentaba varios inconvenientes: no cortaba bien cañas caídas, tenía una baja eficiencia en campos con alta producciones, era muy exigente en el aporque de las cañas para garantizar un buen corte de las cepas, el despuntado era deficitario y sufría de atascamientos frecuentes (Olea *et al.*, 1993).

Es interesante señalar que en el 2014 en Luisiana (EE. UU.) había 500 productores familiares con 178.000 ha de caña de azúcar. El 10% del área todavía se cosechaba con estas cortadoras “tipo soldado” de dos surcos para luego ser quemada y cargada para llevar al ingenio. El 20% de esta superficie se quema “en pie” y se cosecha con integrales. El 70% se cosecha “en verde” con máquinas integrales y

ron diversos modelos de agavilladoras, cortadoras-hileradoras simples y otros sistemas de corte por “empujado” (tipo Hawái) que se probaron sin demasiada difusión (Fogliata, 1995).

⁴Aún hoy es posible ver una cosechadora «tipo soldado» Thomson (modelo 1963) modificada, realizando cosecha en verde en lotes donde no hay suficiente piso para una cosechadora integral. Famaillá, Tucumán, Argentina (EEAOC, 2016) (<https://www.youtube.com/watch?v=KK421ekTvqg>).

se quema el rastrojo posteriormente. Es decir, que el 100% de la superficie es quemada en algún momento del ciclo (Legendre, 2014).

3. Cosecha mecanizada integral

En la cosecha totalmente mecanizada, conocida también como “integral”, se usan máquinas que hacen todo el proceso que realizaba manualmente el obrero del surco, agregándole el troceado de los tallos. La caña pasa por varias etapas dentro de la máquina, hasta que es descargada sobre el transporte del que se disponga.

La cosecha mecanizada integral tipo australiana comenzó en Argentina en 1972 con las máquinas que introduce el Ingenio Ledesma de Jujuy, y el cambio se trasladó a Tucumán a los pocos años. Olea *et al.* (1993) presentan el número de máquinas (nacionales e importadas) existentes en la provincia en los distintos períodos en que el autor clasifica la mecanización del cultivo (tabla 2).

Aparentemente, la gran cantidad de integrales que se adquirieron en la década 1972-1982 no habrían logrado demostrar su superioridad respecto de la cosecha semimecánica. La dificultad principal pasaba por un bajo rendimiento operativo (t/hora) debido a la falta de coordinación con la logística del transporte, que quedaba demorado en el “canchón” de recepción en el ingenio y muchas veces obligaba a las cosechadoras a parar de trabajar. En otros casos, la materia prima era resistida por el ingenio por su alto contenido de trash, y la facilidad con la que se deterioraban los jugos en la caña troceada y estacionada. Además, sus rendimientos sacarinos resultaban muchas veces inferiores a los de una caña entera estacionada. (Olea *et al.*, 1993). Esos problemas, sumados a la mano de obra barata, el tipo de cambio devaluado, los altos niveles de pérdida de materia prima durante la operación de cosecha, y las importaciones limitadas frenaron el avance de la tecnología por una década.

Durante los años 90, sin embargo, el sector se desreguló totalmente. El Plan de Convertibilidad elevó el costo de los salarios en dólares, y la apertura de las importaciones con la política de “un dólar igual a 1 peso” facilitó la adquisición de maquinaria a precios mucho más accesibles para el

sector. El Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2002 revela la existencia de 218 unidades en Tucumán, ya con tecnología que había superado algunos de los problemas de la década anterior.

Durante 2011, se realizó en la provincia de Tucumán el Censo Provincial de Medianos y Grandes Productores Cañeros relevando solamente a aquellas explotaciones con más de 40 hectáreas de caña. Los resultados muestran que la estrategia de cosecha más empleada era la integral en verde⁵ y en menor medida la semimecánica con quema acordonada. En la tabla 3 se muestran los datos. Debe notarse que la suma del número de productores en cada tipo de cosecha supera el total de casos (844) dado que en algunos emplean diferentes estrategias en distintas parcelas de la misma explotación.

De acuerdo con este relevamiento, ya en 2011 el 86% de los productores de más de 40 hectáreas utilizaba la cosechadora integral sin quema previa, representando el 93% de la superficie de los productores medianos y grandes.

En 2014, el 93,2% de la superficie con caña de azúcar se habría cosechado mecánicamente (Ostengo *et al.*, 2015). En efecto, el avance reciente de la mecanización se puede visualizar claramente en las cifras de importaciones de cosechadoras integrales en el período 2003 hasta julio del 2015 (tabla 4).

Estas cifras de máquinas nuevas incorporadas en el sector (no necesariamente en Tucumán) superan con creces los valores anteriormente presentados para las décadas precedentes, lo que indica una clara reafirmación de la tendencia a la incorporación de este paradigma tecnológico de cosecha.

Los objetivos fundamentales de la mecanización agrícola son aumentar la productividad de la mano de obra, y reducir los costos operacionales (Ripoli y Mialhe, 1987), además de mantener el nivel de competitividad de los productos y facilitar el gerenciamiento de las tareas intrínsecas a la actividad (Braunbeck y Oliveira, 2006).

⁵En la cosecha en verde, las cañas son cosechadas sin ningún método de preacondicionamiento como ser la quema o remoción de las hojas.

Período	Número de unidades	
	Cosechadoras tipo Luisiana	Cosechadoras integrales
1961–1964	35	
1972–1982		240
1979–1982	38	16
1992		15– 20

Tabla 2. Número de máquinas de diferentes tipos, de fabricación nacional e importadas utilizadas para la cosecha total de la caña de azúcar en Tucumán.

Fuente: Olea *et al.*, 1993.

	Integral en verde	Integral con quema previa	Semimecanizada con quema en pie	Semimecanizada con quema acordonada	Manual con quema acordonada	Total
Productores	726	20	19	120	19	844
Superficie involucrada (ha)	176.460	1.473	1.014	9.401	1.050	189.400
Maquinaria existente	96 cosechadoras		101 cargadoras + 43 cortadoras y despuntadoras		-	-

Tabla 3. Distribución de productores según tipo de cosecha empleada.

Fuente: Dirección de Estadísticas de Tucumán, 2011.

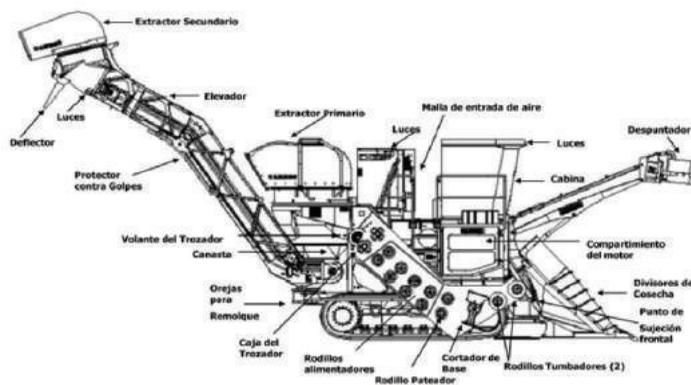


Figura 1. Diagrama de una cosechadora integral de caña de azúcar con sus diferentes componentes y sistemas.

Año	Cantidad
2003	14
2004	34
2005	30
2006	28
2007	45
2008	25
2009	16
2010	40
2011	48
2012	41
2013	22
2014	24
2015	19
Total	386

Tabla 4. Cosechadoras Caña de Azúcar. Importaciones entre los años 2003 a 2014 y enero-junio de 2015.

Fuente: Elaboración de Jaldoy Rabaglio, Instituto de Economía del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) sobre datos proporcionados por Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), 2015.

3.1 La cosechadora integral

Una cosechadora integral trabaja de la siguiente forma: una vez que la máquina se coloca frente al surco de caña⁶ y comienza a avanzar, la primera acción que realiza es cortar las puntas de la planta (que tienen muy bajo contenido de sacarosa) a través de un mecanismo llamado “despuntador” (ver figura 1). Ese “despunte” se desprende hacia un costado y va quedando disperso en el suelo a lo largo del surco.

Por detrás, comienza a actuar el sistema de alimentación de la máquina, compuesto por los divisores de líneas y rolos alimentadores que van direccionando la caña. El rolo tumbador inclina la caña para que su base quede expuesta al sistema de corte. Los divisores de cosecha introducen la caña hacia el centro de la máquina y contribuyen a levantar las cañas que están caídas o cruzadas.

El corte de base es una de las funciones principales de la cosechadora y de su eficiencia de operación depende en gran medida la cantidad y calidad de la caña que va al ingenio. Todo lo que sea material contaminante (suelo y partes de la planta principalmente) que entre en el sistema, reduce la capacidad de molienda y aumenta las pérdidas

⁶La mayoría de las máquinas disponibles en Tucumán cosechan un surco a la vez, aunque existen máquinas en el mercado que levantan dos surcos simultáneamente.

de sacarosa en las etapas de producción de azúcar. La operación de corte basal es realizada por dos discos rotativos con cuatro o cinco cuchillas de corte cada uno, que giran a velocidad variable.

A pesar del desarrollo de esta tecnología, todavía existen restricciones para el ajuste del corte basal que permitan un funcionamiento óptimo. El objetivo es cortar los tallos lo más al ras del suelo posible para aprovechar al máximo el rendimiento de la planta. En condiciones ideales para la cosechadora, los tallos de la caña están en una superficie prácticamente uniforme y sin ondulaciones, lo que no provocaría preocupación con los ajustes. Sin embargo estas no son generalmente las condiciones que se dan en las fincas de los productores, que muchas veces tienen imperfecciones en el suelo como desniveles, depresiones, presencia de piedras, tocones de raíces, etc. Para evitar que las condiciones adversas de operación terminen dañando las partes más sensibles de la máquina, los fabricantes buscan medios mecánicos y electrónicos de ajuste de la altura del sistema de corte. Aun así, la habilidad del operador de la cosechadora resulta esencial: incluso en medio de la operación de cosecha el maquinista puede ir realizando ajustes que permiten una minimización de las pérdidas de materia prima y preservar el equipamiento. Lamentablemente, cuando se trata de empresas de servicio de cosecha las prioridades pasan más por cuidar los equipos antes que por extraer el máximo de caña posible de cada hectárea del cañaveral.

Luego de pasar por el sistema de alimentación de la cosechadora, el tallo entra en el proceso de troceado que pica la caña en fracciones gracias a seis u ocho cuchillas

montadas en dos rodillos. Este sistema es graduable a diferentes tamaños. Su función es preparar la caña para la limpieza del material extraño, especialmente de las hojas, ya que con el picado de los tallos también se pican las hojas que quedan más livianas y son susceptibles de ser extraídas más fácilmente por su menor peso al igual que los trozos de cogollo y brotes. Este sistema a la vez que pica la caña, la lanza hacia la tolva para facilitar la extracción del material extraño.

El sistema de limpieza o extractor primario consiste en una tolva con un extractor o ventilador ubicado en la parte superior, que succiona la materia extraña y la expulsa nuevamente al campo. La velocidad de giro de las aspas es graduable según se requiera extraer menor o mayor cantidad de materia extraña de la materia prima. El sistema debe ser graduado adecuadamente para que las pérdidas de caña sean las menores posibles. En esta parte del proceso es cuando se logra la mayor limpieza de los tallos troceados.

Los trozos de caña limpios entran luego en un sistema elevador, un conductor metálico que los lleva al sitio más alto de la máquina para cargar a los medios de transporte del producto al ingenio. Al momento de lanzar la caña, un sistema de extracción más pequeño (de menor diámetro) expulsa algunos materiales que se desprendieron a lo largo del conductor, y estos caen finalmente al campo.

Las cosechadoras integrales operan en el campo junto con equipos autovolcables (8 a 10 toneladas) que reciben inicialmente los trozos de caña, para el trasbordo posterior de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, traccionados por tractores y/o camiones

Variable	Cosecha manual	Cosecha mecanizada
Materia extraña	En caña verde: 2 a 4%	En caña verde: 10 a 12%
	En caña quemada: 1,5 a 2%	En caña quemada: 8 a 10%
Corte en verde	Mayor dificultad » costos	Menor dificultad
Eficiencia	Rendimiento del cortador:	Rendimiento de la cosechadora:
	Caña semilimpia: 2-4 t/hombre/día	Caña semilimpia: 30 t/hora
	Caña quemada: 5-7 t/hombre/día	Caña quemada: 45 t/hora
Transporte	Menor eficiencia por transporte de cañas enteras	Mayor eficiencia al incrementar un 30% del peso por viaje por mejor acomodamiento de los trozos
Otros	Requiere mayor supervisión para garantizar calidad y evitar accidentes	Requiere supervisión para garantizar menores pérdidas y materias extrañas
	Mayor extensión en el tiempo con los riesgos asociados	Más rápida lo que permite una mejor organización
	Menos dependiente de factores del cultivo	Muy dependiente de distintos factores del cultivo: espaciamiento, variedades apropiadas, etc.
	Adaptación a cualquier tipo de lote	Exige adecuación de los lotes para el movimiento de la maquinaria
	La caña entera acepta un estacionamiento mayor	La caña troceada no se puede almacenar por periodos largos

Tabla 5. Comparaciones entre los sistemas de cosecha de caña de azúcar manual vs. mecanizado.

Fuente: Adaptación sobre cuadro de Mantilla (2010) y datos de Rodríguez *et al.* (2010).

según la distancia a la fábrica. En otros casos, la cosechadora carga directamente sobre el equipo de transporte, que entra al lote junto a la cosechadora, evitando el costo intermedio del autovuelco, pero con mayor riesgo de daño sobre el cañaveral y compactación del suelo por el ingreso de los pesados equipos a la superficie de cultivo. En la mayoría de los años, en los inicios de la zafra, gran cantidad de lotes solo pueden ser cosechados con autovolcables porque la carga directa es muy difícil debido a las condiciones del suelo.

3.2 Las ventajas y desventajas de la cosecha mecanizada

La implementación de la cosecha mecanizada tiene factores a favor y en contra, que se presentan en la tabla 5.

Como puede verse entre los aspectos mencionados, la mecanización de la cosecha dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina. Podría decirse que para realizar una operación eficiente de cosecha mecánica integral debe tenerse en cuenta una ecuación que incluye el diseño del lote, los atributos de las variedades, la máquina en sí misma, el operario y la logística del corte y transporte.

El tipo de máquina para utilizar condiciona ciertamente las características del lote que se va a cosechar. Por un lado, el espaciamiento entre surcos debe estar adecuado a las medidas de la cosechadora de manera de evitar el pisoteo de las cepas lo que constituye un problema para el rebrote del ciclo siguiente. Una mayor densidad de plantas podría asegurar un mejor rendimiento por hectárea de la caña, pero no podría cosecharse mecánicamente. El diseño de los surcos debe ser parejo y deben estar paralelos entre sí, ya que la cosechadora no puede ir avanzando en líneas irregulares, lo cual condiciona la tecnología utilizada en la plantación. Cuanto más largos sean los tablones, la eficiencia de la máquina es mayor, lo que representa un inconveniente en fincas muy pequeñas. De la misma manera, es deseable que no existan obstáculos para la circulación de las máquinas como tranqueras, caminos internos, acequias o cables eléctricos. El movimiento de toda la logística de la cosecha mecánica integral exige una superficie de desplazamiento –para evitar pérdidas de tiempo con maniobras excesivas– que debe restarse a la de producción y que no todas las fincas disponen. Deberían además eliminarse todas las irregularidades posibles en el terreno como surcos, barrancos, agujeros, tocones, etc. que puedan desequilibrar a las cosechadoras. Además, un terreno desperejado haría que el corte de los tallos no se hiciera correctamente en la base, con el riesgo –además de reducir la cantidad de caña cosechada– de introducir impurezas minerales y vegetales que serían transportadas para a la industria juntamente con la materia prima o de romper piezas del sistema de corte. Las cosechadoras tienen un centro de gravedad alto, por lo que no pueden trabajar en terrenos con una inclinación mayor a 12% para evitar posibles accidentes, y esta es una situación que se presenta en algunas áreas del pedemonte cañero tucumano.

Por otro lado, las variedades de caña más adaptadas para la cosecha mecánica deben presentar algunas características fenotípicas deseables como tener un porte erecto, una buena resistencia al corte mecánico para que no haya un desgajado del tallo y un daño a la cepa que queda en el campo para rebrotar en el ciclo siguiente, y en lo posible un deshojado natural que facilite la limpieza disminuyendo el grado de impurezas vegetales en la industria. La curva de maduración de las variedades y su período útil de industrialización son claves para garantizar un buen patrón de maduración en toda la superficie cosechada.

En cuanto a las máquinas, resulta difícil proponer características deseables ya que el mercado es reducido y las opciones son pocas. Para el caso de Tucumán, salvo el intento de fabricación local de cosechadoras de caña de azúcar en 1975 por Indal S.R.L., no se utilizan máquinas de industria nacional y las marcas más comunes son Toft, Class, Cameco, Massey Ferguson, Case y John Deere (que compró Cameco) (Vicini y Vicini, 2010). Todas ellas son de caña troceada. Las dos últimas marcas son las únicas que continúan vendiéndose en la actualidad, y desde hace pocas campañas John Deere desarrolló un modelo (conocido como Cobra), que se encuentra disponible en la provincia, que tiene una articulación que permite “quebrar” la máquina en dos partes y realizar un giro en un radio reducido (3 metros) lo que, sumado a la tracción en las cuatro ruedas, le otorgaría mayor adaptabilidad a condiciones de lotes pequeños con surcos cortos y cabeceras angostas, aun en condiciones de suelos saturados con agua (Fernandez de Ullivarri *et al.*, 2015).

Con el proceso de mecanización de la cosecha de caña, han surgido nuevos puestos de trabajo que requieren un cierto grado de capacitación y de habilidades que antes no se necesitaban en el sector (operadores, mecánicos especializados, diversos servicios). Los operadores de cosechadoras, por ejemplo, manejan una máquina de un valor de entre 200 y 500 mil dólares y su responsabilidad es muy grande. En los últimos años, los concesionarios de las empresas de cosechadoras han comenzado a dar entrenamientos específicos que efectúan mediante simuladores que hacen todos los movimientos de la cosechadora, además de poseer pantallas electrónicas que facilitan el conocimiento de todas las partes de la máquina, incluyendo sus tableros y funciones.

El operador, además de un total conocimiento técnico y funcional de la máquina, debe estar capacitado sobre el posicionamiento del despuntador porque es él quien define la posición de corte, buscando reducir el índice de impurezas vegetales llevadas para la industria. De la misma forma, deberá saber cómo conducir el corte de base de los tallos, resolviendo el compromiso entre cosechar lo más posible y –a la vez– evitar el daño a las cepas lo que comprometería la producción en el año subsiguiente.

La logística de corte y transporte constituye uno de los puntos críticos del sistema integral, siendo uno de los factores de mayor incidencia en la eficiencia de las cosechadoras. Esto está relacionado con los problemas de des-

carga en los ingenios, que pueden afectar directamente todo el diseño y funcionamiento del sistema, influyendo directamente en la capacidad operativa de las cosechadoras e incremento de los costos. Consecuentemente, un ordenamiento eficiente de la recepción de la caña integral resulta esencial para disminuir los tiempos de espera. Este aspecto es prioritario en la materia prima proveniente de este sistema de cosecha porque al trabajar con caña troceada es más susceptible al deterioro por estacionamiento.

Por lo tanto, la capacidad de trabajo de la cosechadora se incrementa cuando es mayor la experiencia y destreza del operador, el diseño de la plantación se adapta a la cosechadora, y se mejora la logística de traslado, además de considerar el estado de funcionamiento de la máquina en general, disminuyendo el tiempo de mantenimiento o reparación dedicado a estas.

4. Los problemas de la cosecha mecanizada integral

Probablemente sea la falta de otras propuestas tecnológicas para la cosecha de la caña de azúcar que ha llevado a que los sectores vinculados a este cultivo en los países más mecanizados se hayan, en cierta manera, insensibilizado frente a los problemas que las cosechadoras integrales generan: la agresividad hacia las plantas, el daño a las cepas con el corte y el pisoteo, la compactación de los suelos y las pérdidas en la misma operación de cosecha y dentro del proceso del ingenio (Norris, 2014).

4.1 Las pérdidas en la cosecha mecanizada integral

El cambio de la cosecha manual a la modalidad de cosecha mecanizada integral determina que el componente de pérdidas se vea incrementado con respecto a los otros tipos de cosecha, debido a que la potencia de los elementos de limpieza incorporados a la máquina es elevada, en la medida también que los residuos de cosecha –especialmente hojas y cogollos– cubren o enmascaran a las que se consideran pérdidas visibles y que tal vez sean evitables.

Las pérdidas en la cosecha de caña de azúcar pueden catalogarse como visibles e invisibles. Las visibles son fácilmente detectadas en el campo con métodos de muestreo y conteo a campo, mientras que las invisibles son astillas o fragmentos de tallo y jugo que se desprenden durante la acción de los mecanismos de corte y picado dentro de la cosechadora, que se mezclan con los residuos reales (hojas, cogollos, etc.) y son lanzados hacia el campo por los ventiladores. Estos pequeños trozos, que podrían ser molidos en el ingenio ya que contienen azúcares, son muy difíciles de detectar a simple vista en el conjunto de la malhoja que queda en el suelo luego del paso de la máquina⁷. Las pérdidas visibles están constituidas por caña entera no recolectada, tocones cortados por arriba de lo normal, porciones maduras adheridas al cogollo, trozos enteros y trozos desmenuzados (Rodríguez *et al.*, 2010).

⁷Por malhoja nos referimos a todas las hojas y restos de la caña que quedan en las fincas tras la cosecha.

Las pérdidas invisibles suelen tener relación con un mal funcionamiento, mantenimiento o regulación de los órganos de corte y su importancia es aún mayor si se tiene en cuenta que implican daños a la cepa que probablemente disminuya su productividad en el ciclo siguiente (Rodríguez *et al.*, 2010).

Ninguna máquina es 100% eficiente, y muchos factores influyen en el aumento de pérdidas durante la operación de cosecha. Teóricamente, las pérdidas son aceptables hasta el 2,5% del rendimiento cultural, y todo lo que esté por encima de esos valores requiere revisar el funcionamiento del proceso en su totalidad. Para evitar pérdidas, resulta fundamental que el operador se familiarice con los controles, ajustes y regulaciones que posee una máquina, para poder usarlos correctamente y lograr así la mejor calidad de cosecha posible. Con respecto al cañaveral, se necesita tener una apreciación clara, a campo, del lugar donde se está trabajando para ajustar el trabajo a esas condiciones. Una de las problemáticas más importantes es el vuelco de la caña de azúcar previo a la cosecha; se manifiesta generalmente en suelos húmedos cuando ocurren vientos arremolinados, muy fuertes y temporarios acompañados por lluvias abundantes que hacen caer gran parte de las cañas de un lote. Esto trae complicaciones y pérdidas de calidad de todo tipo, fundamentalmente por entrada de agentes patógenos y deterioros bioquímicos del tallo, pero en lo que respecta a cosecha se manifiesta en la imposibilidad a veces de que la máquina realice la tarea correspondiente.

La experiencia en Tucumán de la aplicación de un método objetivo y ajustado para estimar las pérdidas y a la vez definir límites de tolerancia admisible o aceptable es escasa (Rodríguez *et al.*, 2010). La agroindustria y los productores independientes no efectúan una valoración objetiva de las pérdidas generadas en la tarea de recolección de la caña. Se pueden citar como excepción a unos pocos ingenios que poseen personal técnico especializado en cosecha, que conducen algún equipo de monitoreo durante la campaña.

En el estudio de Rodríguez *et al.* (2010), las pérdidas totales de la cosecha mecánica integral en la campaña 2008/2009 fueron de 4,46% de rendimiento, valor muy por encima de lo aceptable. En esa campaña Tucumán procesó más de 9.200.000 toneladas provenientes de cosecha mecanizada integral. Las pérdidas por arriba del límite permitido representaron un valor cercano a 180.000 toneladas, lo que al precio de aquel momento mostró que 5,5 millones de dólares habían dejado de entrar en el circuito sectorial.

4.2 Las pérdidas en la interface campo-ingenio

La articulación de las operaciones logísticas de cosecha y transporte hacia los ingenios representa un problema escasamente resuelto. Se entiende que el objetivo de un ingenio es obtener el mayor beneficio de su inversión en el proceso fabril, y para eso debería funcionar cerca de su capacidad de molienda durante el mayor período posible en el año. Eso requiere de una adecuada provisión de materia

prima, que debería ir llegando a medida en que el ingenio la necesite.

Los ingenios de Tucumán controlan alrededor de 20% de la superficie cañera de la provincia, pero el 80% restante está en manos de productores independientes⁸. Los productores buscan cosechar cuando consideran que el rendimiento de su cañaveral es el mayor que pueden obtener evitando arriesgarse ante eventuales heladas y los ingenios procuran asegurar la entrada de materia prima en forma continúa priorizando el funcionamiento de la molienda. Por lo tanto, al momento de la cosecha, la articulación de intereses de los productores con los de la planta industrial no siempre resulta fácil.

La cosecha como proceso presenta tres etapas que deben resultar coordinadas: operaciones en el campo, transporte a fábrica y operaciones en el ingenio. En la cosecha mecanizada, la integral va llenando con la caña troceada un medio de transporte (autovuelco, camión, carro transportador, etc.) que va acompañando su movimiento a lo largo de los surcos. Cuando este se llena, debe rotar con otro vacío para –idealmente– poder mantener la tarea sin detenerse. En los casos en que se usan medios de transbordo, como el autovuelco, luego estos deben descargar sobre el camión que transportará la caña al ingenio en un área determinada del campo donde estos deben estar listos para recibirla.

Una vez que se termina la carga, el camión parte para la fábrica recorriendo una distancia variable, sobre caminos de muy variada calidad. Mucha de la red caminera en el área central cañera de Tucumán todavía es de tierra, con diversos grados de mantenimiento, y eso tiene gran influencia en la eficiencia de esta etapa.

En el ingenio, finalmente, estos transportes deben descargarse. Cuando están nuevamente vacíos, estos vehículos deben volver al “frente de cosecha”⁹. Es preciso tener en cuenta que puede haber varios frentes de cosecha, a distancias variables, que alimentan de caña al ingenio diariamente.

Uno de los problemas en Tucumán –así como en muchos países– es la falta de coordinación sea entre productores como entre ellos y el ingenio. Como consecuencia de esta carencia, se producen grandes filas de camiones y todo tipo de transportes en el llamado “canchón” de las fábricas que pueden durar desde horas a días. Estos tiempos de espera reducen la capacidad de transporte de cada uno de los camiones individualmente. Por lo tanto, se necesitan más camiones para abastecer la capacidad de molienda del ingenio y el costo total de la logística se incrementa.

Para el caso de la cosecha mecánica integral estas esperas representan un problema adicional: la evaporación y el crecimiento de bacterias a partir de los extremos de los

trozos de tallo hacen que el contenido de azúcar se degrade considerablemente a medida que pasa el tiempo. En definitiva, el rendimiento de azúcar por hectárea disminuye.

Para la caña cosechada manual o semimecánicamente en tallos enteros el problema no es tal, ya que pueden pasar varios días luego de cortados sin pérdidas significativas.

4.3 El potencial de compactación de los suelos

La compactación, considerada como uno de los factores causante de degradación del suelo, se debe a efectos naturales y al tránsito de equipos, que afecta la calidad del suelo y la sostenibilidad porque interfiere el flujo de agua y aire, el desarrollo de las raíces y finalmente disminuye la productividad.

En el cultivo de la caña los problemas de compactación se magnifican durante la cosecha por la alta intensidad de tráfico que demanda la labor y por el tránsito directo sobre la cepa (pisoteo). Una cosechadora integral pesa entre 15 y 18 toneladas, y a eso debe sumarse el tránsito de camiones y carros autovuelco que circulan por los lotes cargados de caña cosechada. El sistema utiliza aproximadamente 50 toneladas de equipo para retirar del campo unas 80 toneladas de biomasa por hectárea (Braunbeck y Graziano Magalhães, 2014).

Con la conciencia de este riesgo, la secuencia de trabajos culturales que abarca la actual tecnología de cultivo incluye, entre otros, la remoción profunda de los entresurcos con cinceles o subsoladores. Con esta labor se busca mitigar la compactación de la trocha ocasionada por el tránsito de la maquinaria, principalmente, la provocada durante el período de cosecha. Sin embargo, los estudios realizados por investigadores del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-INTA) en establecimientos ubicados en los departamentos de Cruz Alta y Leales (Tucumán) indican que ese objetivo dista mucho de ser alcanzado. Por un lado, los resultados obtenidos demuestran que, por el contrario, se produce un efecto inverso evidenciado por una mayor resistencia mecánica en la zona periódicamente laboreada respecto de las líneas de cultivo que no son alteradas durante todo el ciclo productivo (Tesouro *et al.*, 2011). Este efecto contraproducente de la labranza puede ser explicado por la pérdida de la capacidad que sufre el suelo al ser disturbado, que lo hace más vulnerable a las altas cargas normales a la que es luego sometido como consecuencia del tránsito. Se inicia así un proceso cíclico de roturación y recompactación que provoca una paulatina densificación del suelo. Este proceso representa una restricción mecánica al desarrollo radicular de los cultivos con un probable efecto sobre el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, los altos coeficientes de labranza observados en Tucumán (esto es la relación entre la fuerza requerida y la sección de suelo disturbada en una labor de preparación del suelo para plantar la caña) explican en gran medida los elevados consumos de combustible registrados durante la etapa agrícola. En otras palabras, el grado de compactación que presentan muchos suelos cañeros de Tucumán que llevan ya 20 años de cosecha mecánica in-

⁸En los ingenios integrados de Salta y Jujuy la proporción es inversa, así como en Brasil, donde los productores independientes poseen la proporción menor de caña.

⁹Un frente de cosecha es un grupo de fincas geográficamente cercanas, aunque no necesariamente contiguas.

tegral, no solo están limitando el crecimiento de los cultivos, sino incrementando los costos de producción por el excesivo consumo de gasoil en las labranzas (Tesouro *et al.*, 2011).

Lejos de ser el epílogo del desarrollo tecnológico de la cosecha de caña de azúcar, el sistema mecanizado integral es probablemente apenas un capítulo más. El mismo concepto de la máquina va evolucionando y, por ejemplo, los últimos modelos han visto incrementada su capacidad en respuesta a la necesidad de ir reduciendo costos comparativos, la velocidad de cosecha también ha aumentado, el tamaño del troceado se ha reducido, y se han ido aceptando mayores niveles de trash. (Norris, 2014).

4.4. El problema de la quema

El uso del fuego es un tema de debate público en todo el mundo y una constante fuente de desacuerdos que se plantean a partir de su uso —supuestamente controlado— en actividades tanto urbanas como agropecuarias, y de la amenaza que supone para la salud, las vidas y las propiedades de las personas.

Profusas legislaciones y reglamentaciones provinciales y nacionales hacen frente a este problema, pero la realidad indica que los objetivos de estas normas todavía están lejos de poder cumplirse. En el caso de la caña de azúcar, la continuidad del uso de esta práctica, es una de las principales amenazas a la sostenibilidad del sector sucroalcoholero en la medida en que lo enfrenta crecientemente con el resto de la sociedad.

La quema en Tucumán se realiza en tres tipos de situaciones: las fincas que aún cosechan de manera semimecanizada, los casos que queman la caña antes de la cosecha integral y la quema la maloja que queda en el campo antes de la siguiente campaña.

Si en una cosecha semimecanizada la caña tuviera que “pelarse” en forma manual como se hacía en el pasado, el rendimiento del trabajo caería entre 3,6 y 1,8 veces, dependiendo de la variedad cortada, y eso significaría que la ganancia diaria del trabajador se reduciría entre 32 y 40% (Rípoli y Rípoli, 1995)¹⁰. Por lo tanto, para equiparlo con lo que gana un cosechero con el corte de caña quemada en el sistema semimecanizado, el jornal diario debería aumentar entre 60 y 68% provocando un aumento de costos demasiado expresivo. Por lo tanto, la exigencia de no quemar caña induce a la mecanización integral.

Los productores que realizan la zafra con integral reconocen que la cosecha mecánica es facilitada por una quema previa, porque se pueden reducir costos y se evitan castigos en el precio por exceso de suciedad (trash) en la materia prima, aunque también expresan que el fuego

alcanzado en un cañaveral en pie puede ser inmanejable (sobre todo si ocurre un viento inesperado). La quema de la caña en pie, sin embargo, se ha reducido al mínimo.

El uso del fuego, sin embargo, es mucho más común posterior a la cosecha. Muchos agricultores cañeros queman, sea para facilitar las labores posteriores, o —si se trata de zonas con exceso de humedad— para evitar una cobertura que demora el secado del suelo y complica el desarrollo de las plantas. Además, los residuos de cosecha se constituyen en material combustible ante eventuales quemaduras accidentales o inducidas por terceros, que son muy frecuentes.

La combustión del material vegetal contamina la atmósfera con elevadas emisiones de gases efecto invernadero y hollín, favorece las pérdidas de carbono y nitrógeno del suelo por volatilización y causa la acumulación de carbono en el suelo como carbón inerte (Graham *et al.*, 2002; Acreche y Valeiro, 2011). También resultan importantes los daños en la infraestructura rural, eléctrica, etc. como consecuencia de incendios accidentales originados en las quemaduras de cañaverales.

La conciencia cada vez mayor de la población urbana y rural respecto de las consecuencias de la contaminación ambiental ha aumentado sustancialmente la presión social sobre el sector y las autoridades gubernamentales en pos de soluciones al problema de la quema de cañaverales (Valeiro y Acreche, 2014).

CONCLUSIONES

El tipo de cosecha de caña de azúcar influencia una cantidad de aspectos que hacen al desempeño productivo del cultivo, a su resultado económico, a la generación de empleo sectorial y regional, a la evolución de la tecnología industrial y al impacto ambiental de la producción (Giarraca *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2009).

En efecto, la modalidad utilizada condiciona de forma importante la productividad y la longevidad de los cañaverales y tiene consecuencias sobre los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo. El diseño de la plantación debe concordar con las características de la máquina que hará la cosecha, y este diseño solo puede realizarse cada 5 o 6 años porque se trata de un cultivo semiperenne.

Además, define la cantidad y calificación de la mayor parte de la mano de obra que ocupa el cultivo y condiciona —y es condicionada a su vez por ella— la tecnología utilizada en el ingenio para la recepción y para el primer tratamiento de la caña. Si la cosecha incluye la práctica de quema, puede aumentar la concentración de CO₂ en la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero, disminuir el tenor de materia orgánica en el suelo y contaminar el aire con partículas sólidas que afectan la salud pública.

Por lo tanto, la mecanización integral de la cosecha dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina. Más bien representa un cambio que

¹⁰Si bien los cálculos de Rípoli (1995) son realizados para las condiciones del estado de Sao Paulo en Brasil, entendemos que el criterio es absolutamente válido para las de Tucumán.

lleva implícito un nuevo ordenamiento de la actividad, que se caracteriza por la notable reducción del tiempo necesaria para la zafra.

Los problemas todavía pendientes de solucionar –la falta de adaptación a plantaciones de poco tamaño; las pérdidas de cosecha a campo y en la interface campo; el potencial de compactación de los suelos/decaimiento de los cultivos y la quema del rastrojo– indican que el sistema mecanizado integral no es el fin del camino del desarrollo tecnológico de la cosecha de caña de azúcar y que todavía resulta necesaria una mayor oferta tecnológica para esta etapa productiva.

Las exigencias de no usar fuego durante el proceso productivo reglamentadas en la provincia de Tucumán, y que son el objetivo de gran parte de las zonas cañeras en otros países, inducen al único camino posible: la cosecha mecánica integral en verde. Esto implica necesariamente la valorización del Residuo Agrícola de Cosecha (RAC) y un nuevo manejo tecnológico de esta biomasa, considerando probablemente innovaciones tecnológicas y el acceso a herramientas para una importante cantidad de productores de la provincia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACRECHE, M.; VALEIRO, A. 2011. Balance energético y emisiones de gases de efecto invernadero de la agroindustria sucroalcoholera de Tucumán. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*. Caña de azúcar, 1(1), 34-39.
- ALVES, F. 2006. Por que morrem os cortadores de cana? *Saúde e Sociedade*, 15(3), 90-98.
- BENEDETTI, P. 2018. Primer relevamiento del cultivo de caña de azúcar de la República Argentina a partir de imágenes satelitales para la campaña 2018. EEA INTA Famailá. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/primer-relevamiento-del-cultivo-de-cana-de-azucar-de-la-republica-argentina-a-partir-de-imagenes-satelitales-para-la-campana-2018> verificado: 15 de enero de 2018).
- BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, J.T. 2006. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. *Engenharia Agrícola*, 300-308.
- BRAUNBECK, O.; GRAZIANO MAGALHÃES, P. 2014. Technological Evaluation of sugarcane mechanization. En: BARBOSA CORTEZ, L. (Coord.). *Sugarcane bioethanol- R&D for Productivity and Sustainability*, Sao Paulo, Brasil. Editora Edgard Blücher, 451-464.
- DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS DE TUCUMÁN. 2011. Censo Cañero Provincial 2011. (Disponible: http://estadistica.tucuman.gov.ar/archivos/8Sector%20Agropecuario/CensoCanero/REPORTE_final_Censo_C2011.pdf verificado: 11 de noviembre de 2017).
- FELIPE, N. 2013. Diagnóstico de los procesos comunicacionales desarrollados en la Mesa de Gestión Ambiental de Cruz Alta (Tesis de maestría). Facultad de Periodismo y Comunicación Social. Universidad Nacional de La Plata, 181 p.
- FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J.; PÉREZ TABOADA, S.; COUREL, G.; ROMERO, E.R.; LEGGIO NEME, F.; CASEN, S.; SANCHEZ DUCCA, A. 2015. Evaluación de la nueva cosechadora de caña de azúcar John Deere CH330 "Cobra". *Revista Avance Agroindustrial*, EEAOC. (Disponible: <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/563/20151228133537000000.pdf> verificado: 03 de diciembre de 2017).
- FOGLIATA, F.A. 1995. *Agronomía de la caña de azúcar: tecnología, costos y producción* (N.º F01 FOG 17001). Ed. El Graduado.
- GIARRACCA, N.; BIDASECA, K.; MARIOTTI, D. 2001. Trabajo, migraciones e identidades en tránsito: los zafreros tucumanos en Argentina. En: GIARRACCA, N. (Coordinadora). *¿Una nueva ruralidad en América Latina?* Buenos Aires, Ed. EUDEBA-CLACSO, 307-337.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. 2002. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science*, 53(4), 589-598.
- HEMSY, V.; ZUCCARDI, R.B. 1967. Zonas para el cultivo del maíz en la provincia de Tucumán. *Miscelanea-Facultad de Agronomía y Zootecnia*. Universidad Nacional de Tucumán (Argentina). (1967). (N.º 18), 3-12.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INDEC). Censo Nacional Agropecuario 2002.
- JALDO ALVARO, M.; ORTIZ, J.; BIAGGI, C. 2016. La trayectoria socio-técnica de la mecanización de cosecha de caña de azúcar en Tucumán. ix Jornadas de Sociología de la UNLP 5 al 7 de diciembre de 2016 Ensenada, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología. (Disponible: <http://jornadassociologia.fahce.unlp.edu.ar/ix-jornadas/actas-2016/PONmesa28JaldoAlvaro.pdf/view?searchterm=None> verificado: 04 de diciembre de 2017).
- LEGENDRE, B.L. 2014. *Sugarcane Harvesting in Louisiana*. Audubon Sugar Institute. St. Gabriel, Louisiana. (Disponible: http://hcsugar.com/wp-content/uploads/2014/04/2014_HCS_Open_House_Sugarcane_Harvesting_in_Louisiana.pdf verificado: 05 de diciembre de 2017).
- MANTILLA, L. 2010. Los sistemas de corte mecanizados de caña de azúcar. *Equipos de cosecha*. *Revista Tecnicaña*, 26, 21 p.
- MURMIS, M.; WAISMAN, C. 1969. Monoproducción agroindustrial, crisis y clase obrera: la industria azucarera tucumana. *Revista Latinoamericana de Sociología*, 5(2), 349-350.
- MURMIS, M. 1998. Agro argentino: algunos problemas para su análisis. En: GIARRACA, N.; CLOQUELL, S. (Eds.). *Las agriculturas del Mercosur. El papel de los actores sociales*, 205-248.
- NORRIS, C. 2014. *Mechanised Sugarcane Production: Forgotten Lessons*. (Disponible: <http://www.assct.com.au/media/Mechanised%20Sugarcane%20Production%20Forgotten%20Lessons-web-part%201.pdf> verificado: 12 de diciembre de 2017).
- OLEA, I.; ROMERO, E.; SCANDALIARIS, J. 1993. Mecanización total de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán. 30 años de historia. *Avance agroindustrial* (Argentina). (Mar, 13(52), 7-11.
- OSTENGO, S.; ESPINOSA, M.A.; DÍAZ, J.V.; CHAVANNE, E.R.; COSTILLA, D.D.; CUENYA, M.I. 2015. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: Campaña 2013-2014. *Gac. Agroindustrial EEAOC* (78): 19.
- RIPOLI, T.; MIALHE, L. 1987. Colheita manual vs. colheita mecanizada da cana de açúcar. *STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 5(3), 212.
- RIPOLI, M.; RIPOLI, T. 1995. Caracterização dos principais constituintes da biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). *Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo*, 4, 463.
- RODRIGUEZ, R.A.; SOPENA, R.A.; SALEME, P.M.; VICINI, L.E. 2010. Pérdidas de cosecha en caña de azúcar durante los años 2009 y 2010 en la provincia de Tucumán. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*. Caña de azúcar, 1(1), 55-58.
- ROMERO, E.R.; DIGONZELLI, P.A.; SCANDALIARIS, J. 2009. *Manual del cañero*. Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. 232 p.
- SANTOCHI, E.; AGÜERO GÓMEZ, L.R.; BUSTOS, J.C.; ÁVILA, O.E.; SQUASSI, R.J. 2015. Costo de producción e indicadores de

resultados económicos de la producción de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, Argentina-Zafra 2015. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 35(2), 59-72.

TESOURO, M.O.; ROBA, M.A.; FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, E.; DONATO DE COBO, L.B.; ROMITO, A.; VALLEJO, J.; D'AMICO, J.P. 2011. Avances en el estudio de la demanda energética de las labores en caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales. Caña de azúcar*, 1(1), 48-54.

TORT, M. 1982. La mecanización de la cosecha de caña de azúcar (Informe de beca de perfeccionamiento). CONICET.

VALEIRO, A.; ACRECHE, M. 2014. Mejora de la eficiencia energética a partir de residuos de caña de azúcar. En: PASCALE MEDINA, C.; ZUBILLAGA, M.; TABOADA, M. (Coord.). *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

VICINI, L.E.; VICINI, C.L. 2010. Mecanización del cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) Con especial mención a la Provincia de Tucumán. Centro Regional Tucumán - Santiago del Estero, Estación Experimental Agropecuaria Famaillá. 27 p.

Producción y persistencia de una mezcla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) bajo intensidades y frecuencias de pastoreo contrastantes

KLOSTER, A.M.¹; ZURBRIGGEN, G.A.¹

RESUMEN

La mezcla binaria de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) tiene amplia difusión en la región pampeana debido a su buena productividad y complementariedad. No obstante el manejo de la frecuencia e intensidad de defoliación resulta clave para mantener un balance estable entre especies. El objetivo del trabajo fue analizar la producción y persistencia de la mezcla bajo distintas frecuencias e intensidades de pastoreo, e identificar estrategias que mejoren el aporte otoño-invernal de festuca. La experiencia se llevó a cabo en la EEA INTA Marcos Juárez, sobre un suelo argiudol típico, sin limitantes. La pastura, sembrada con 10 kg de alfalfa y 8 kg de festuca alta por hectárea, fue sometida durante 23 meses a cuatro tratamientos resultantes de la combinación de dos intensidades (I) y dos frecuencias de defoliación (F), con tres repeticiones. Las I fueron asignaciones de 34,5 y 23,0 g MS/kg de p.v. para I1 e I2 respectivamente y las sumas térmicas de 350°Cd y 450°Cd correspondieron a F1 y F2. Las combinaciones I2/F1; I1/F1; I2/F2 e I1/F2 generaron I+F+, I-F+, I+F- e I-F-, respectivamente. Se realizó un pastoreo "put and take" de 7 días de ocupación y se estimó la biomasa pre y postpastoreo mediante 10 cortes manuales, con separación de especies. Se calculó para otoño-invierno (OI) y primavera-verano (PV) el consumo/ha de MS de cada componente. Se estimó cobertura basal (CB) otoñal anual utilizando un retículo metálico sobre transectas con seis estaciones de lectura. Para el análisis estadístico se utilizó el GLM de SAS. Durante OI, la biomasa de alfalfa fue superior en I+F- e I-F- en ambos ciclos. Para festuca alta fue consistente su mayor biomasa en I-F+ y hubo menores relaciones alfalfa/festuca en I+F+ e I-F+. En consumo/ha, en OI, existieron diferencias para alfalfa a favor de I+F-, pero no para festuca alta ($p=0,27$) ni para la mezcla ($p=0,12$). Durante PV, la biomasa de festuca fue mayor en I-F+ en ambos ciclos. Para alfalfa, en el segundo ciclo, no hubo diferencias en biomasa, aunque para el periodo completo fue mayor en I-F-. En consumo/ha, existieron diferencias a favor de I+F+ para alfalfa y para la mezcla, mientras que en festuca este no presentó diferencias entre I+F+, I-F+ y I+F-, siendo más bajo en I-F-. Para el periodo completo tomando ambas estaciones, el consumo/ha fue mayor en I+F+ ($p<0,01$). Respecto a CB, hubo diferencias en alfalfa a partir del primer año, con menores valores en I+F+ e I-F+ ($p=0,03$). En festuca, las diferencias aparecieron al final del periodo, superando I-F+ a I+F- ($p<0,01$). Se concluye que pastoreos frecuentes y laxos lograron una buena participación de la gramínea en la biomasa prepastoreo. El uso de diferentes intensidades y frecuencias de pastoreo tuvo bajo impacto sobre la producción primaria en OI. Durante PV y el periodo total, I+F+ generó el mayor consumo/ha en ambas especies, mostrando una adaptación de la festuca a pastoreos intensos.

Palabras clave: pasturas mixtas, gramíneas, leguminosas, defoliación, biomasa, consumo, cobertura basal.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Marcos Juárez, CC.21, 2580 Marcos Juárez (Córdoba). Correo electrónico: kloster.andres@inta.gob.ar

ABSTRACT

The mixture of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) is widely adopted in the Pampas Region due to its good productivity and complementarity. However, the management of the frequency and intensity of defoliation is critical in order to maintain a stable balance between species. The objectives of this work were to analyze the production and persistence of the mixture under different frequencies and intensities of grazing, and to identify strategies that might improve the autumn-winter fescue production. The experimental work was carried out at the EEA INTA Marcos Juárez (Córdoba, Argentina), on a typical argiudol soil, without limitations. The pasture, sown with 10 kg of alfalfa and 8 kg of tall fescue per hectare, received during 23 months four treatments resulting from the combination of two intensities (I) and two frequencies (F) of grazing, with three plot replications. The I were allowances of 34.5 and 23.0 g DM.kg⁻¹ of l.w. for I1 and I2 respectively and the thermal sums of 350°Cd and 450°Cd were F1 and F2. The combinations I2/F1; I1/F1; I2/F2 and I1/F2 conformed I+F+, I-F+, I+F- and I-F-, respectively. A put and take grazing system of 7 days of occupation was performed and the pre and post grazing biomass was estimated by 10 manual cuts, with species separation. The intake of DM.ha⁻¹ of each component was calculated for autumn-winter (AW) and spring-summer (SS) grazing seasons. Basal cover (BC) was estimated in autumn of each year using a metal reticule on transects with six observation stations. SAS GLM was used for statistical analysis. During AW, alfalfa biomass was higher in I+F- and I-F- for both cycles. For tall fescue, the highest biomass was reached in I-F+, and the lowest alfalfa/fescue ratios were in I+F+ and I-F+. Regarding intake.ha⁻¹, in AW, differences were detected for alfalfa in favor of I+F-, but not for tall fescue ($p=0.27$) or the mixture ($p=0.12$). During SS, the biomass of fescue was higher in I-F+ for both cycles. Although for alfalfa no differences were observed in the second cycle, I-F- was higher during the whole period. In intake.ha⁻¹, there were differences in favor of I+F+ for alfalfa and the mixture, whereas fescue did not show differences between I+F+, I-F+ and I+F-; however, I-F- values were lower than the others. For the whole period considering both seasons, intake.ha⁻¹ was higher in I+F+ ($p<0.01$). In regards to BC, there were differences for alfalfa early in the first year, with the lowest values for I+F+ and I-F+ ($p=0.03$). On the other hand, for tall fescue, differences appeared at the end of the period, I-F+ overcoming I+F- ($p<0.01$). It was concluded that frequent and lax grazing achieved good grass participation in pre-grazing biomass. The use of different intensities and frequencies of grazing had low impact on primary production in AW. During SS and the total period, I+F+ generated the highest biomass intake.ha⁻¹ in both species, showing good plasticity of tall fescue to intensive grazing.

Keywords: mixed pastures, grass, legume, defoliation, biomass, consumption, basal cover.

INTRODUCCIÓN

El uso de pasturas mixtas de gramíneas y leguminosas es una estrategia muy apropiada para lograr sistemas sustentables gracias a la sustitución de fertilizantes por la fijación biológica de N, a la reducción del riesgo de lixiviación debido a su captación por parte de las gramíneas (Laidlaw y Teuber, 2001), a su buena adaptación frente a la mayor variabilidad climática (Lüscher *et al.*, 2014) y al aporte a las propiedades físicas del suelo por parte del sistema radical de las gramíneas. En la región pampeana norte, la mezcla binaria de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) tiene amplia difusión debido a su buena productividad y complementariedad (Romero, 2011), atribuibles a la ocupación de diferentes nichos ecológicos (Haynes, 1980). Además, la inclusión de festuca constituye una medida para reducir el riesgo de meteorismo espumoso, aunque debe combinarse con otras alternativas de control (Bretschneider, 2010).

A pesar de dichas ventajas, la diferente respuesta a la defoliación de ambas especies afecta la estabilidad de

la composición botánica de la mezcla, transformando al manejo de la intensidad y frecuencia de pastoreo en una herramienta clave para mantener un balance estable entre gramíneas y leguminosas (Haynes, 1980). Para tales fines, Hoveland (1997) propone el uso de estrategias que favorezcan al componente más frecuentemente perjudicado. En este sentido, se han realizado trabajos orientados a evaluar los efectos de distintas frecuencias de defoliación en diferentes estaciones que permitan mejorar el aporte de las gramíneas a la producción primaria (Scheneiter *et al.*, 2006; Kloster *et al.*, 2013). No obstante, es escasa la información acerca del efecto combinado de frecuencias e intensidades de pastoreo en ensayos de larga duración con este tipo de asociación.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la producción estacional por especie y la evolución de la cobertura basal (CB) de una mezcla de alfalfa y festuca alta durante dos años de aprovechamiento bajo diferentes combinaciones de frecuencias e intensidades de defoliación. A su vez, se propuso identificar estrategias de manejo del pastoreo que

aumenten la producción otoño invernal de festuca, en un intento de mejorar su aporte durante dicha estación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la EEA INTA Marcos Juárez sobre un suelo argiudol típico, serie Marcos Juárez, franco-limoso, profundo, bien drenado y sin limitaciones de uso. El clima es templado con una temperatura media anual de 17 °C y precipitaciones medias anuales de 885 mm (INTA-SEAG Córdoba, 1978).

La mezcla, compuesta por 10 kg/ha de alfalfa grupo 10 de latencia (cv CW1010) y 8 kg/ha de festuca alta tipo Norte de Europa (cv El Palenque Plus), fue sembrada en otoño de 2009 bajo un sistema de siembra directa con un arreglo espacial en líneas por especie, cruzadas a 90° y con 19 cm de distancia entre surcos. La pastura fue dividida en 12 parcelas de 0,25 ha y cumplido el año de implantación, en otoño de 2010, fue sometida durante 23 meses (ciclos 2010-11 y 2011-12) a cuatro tratamientos resultantes de la combinación de dos intensidades (I) y dos frecuencias de defoliación (F), con tres repeticiones espaciales. Las I se fijaron como asignaciones de 34,5 y 23,0 g MS/kg de peso vivo animal para I1 e I2 respectivamente, mientras que las F correspondieron a sumas térmicas en grados días (^aCd) de 350°Cd y 450°Cd para F1 y F2, tomando 5 °C como temperatura base. Las combinaciones I2/F1; I1/F1; I2/F2 y I1/F2 constituyeron I+F+, I-F+, I+F- e I-F-, respectivamente (tabla 1).

Los pastoreos fueron realizados bajo un sistema "put and take", en donde cada parcela fue una unidad indivisa en la cual se realizó un pastoreo intermitente con periodos de ocupación de alrededor de una semana, previendo el retiro de los animales con precipitaciones superiores a los 10 mm. Los animales utilizados fueron novillos del rodeo general de la EEA Marcos Juárez, pesados previo al ingreso a la parcela, definiendo el número de cabezas acorde a la asignación definida por el tratamiento.

	I+F+	I-F+	I+F-	I-F-
Asignación (g MS/kg pv)	23	34,5	23	34,5
Frecuencia (°Cd)	350	350	450	450

Tabla 1. Resumen de tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

En cada parcela (unidad experimental), de 0,25 ha, se estimó la biomasa previa y posterior al pastoreo mediante muestras compuestas por 10 cortes manuales, de 0,25 m², a 3-4 cm del suelo con separación *in situ* de ambos componentes. Por diferencia entre la disponibilidad previa al pastoreo y el remanente a la salida de los animales, se estimó el consumo/ha de MS de cada especie y de la mezcla. A su vez, este valor fue utilizado como medida de rendimiento de la pastura, ya que el nivel de consumo representa la biomasa efectivamente aprovechada por el animal y por lo tanto la performance predecible de distintas estrategias o sistemas de utilización de pasturas (Orr *et al.*, 1988).

Adicionalmente, durante el otoño de cada año (2010, 2011 y 2012) del ensayo se realizó la estimación de la CB de alfalfa y de festuca, por combinación de lectura visual y palpación manual utilizando un retículo metálico de 60x60 cm con cuadrantes de 10x10 cm colocados sobre transectas con seis estaciones equidistantes de lectura por parcela.

Las precipitaciones ocurridas durante el ensayo y las temperaturas medias se presentan en la tabla 2.

El análisis de las variables se realizó dividiendo cada ciclo anual en otoño-invierno (OI, media 176 d) y primavera-verano (PV, media 170 d). Para I+F+ e I-F+ se realizaron cuatro pastoreos durante OI y cinco durante PV, mientras que en I+F- e I-F- fueron tres y cinco para OI y PV, respectivamente. Debido a la falta de sincronismo exacto entre pastoreos, la variable de consumo/ha estacional fue ajustada por un factor de corrección en función de los días de diferencia entre cortes. Las variables fueron sometidas al ANVA utilizando el PROC GLM de SAS (SAS, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo OI (tabla 3), la biomasa media pre-pastoreo de alfalfa presentó diferencias significativas entre tratamientos en los dos ciclos ($p=0,05$ y $0,03$), siendo superior en los tratamientos con descansos largos (I+F- e I-F-). Por un lado, este comportamiento fue esperable por la mayor duración del periodo de expansión del canopeo y la cantidad de radiación interceptada (Mendoza Pedroza *et al.*, 2010), y por otro lado, por la mayor cantidad de C y N trasladado hacia las coronas que permiten una mayor velocidad inicial de rebrote (Teixeira *et al.*, 2007c).

Para festuca alta, fue consistente su mayor biomasa media pre-pastoreo en I-F+, lo que responde a la recomendación de pastoreos frecuentes y laxos para esta especie (Romero y Juan, 1997; Scheneiter *et al.*, 2006), cuyo re-

Ciclo	Registro	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
2010-2011	Precip. (mm)	49	92	47	3	1	1	83	47	49	118	117	129	736
	Temp. (°C)	23,6	17,4	10,6	11,3	9,5	10,8	14,9	16,5	21,3	23,9	24,6	22,6	17,3
2011-2012	Precip. (mm)	66	78	107	14	1	5	15	153	81	18	70	135	743
	Temp. (°C)	21,4	18,9	14,4	10,5	10,5	10,9	17	17,5	23	23,3	25,2	25,7	18,2

Tabla 2. Precipitaciones (mm) y temperaturas medias (°C) durante el periodo del ensayo. Fuente: Agrometeorología EEA Marcos Juárez, INTA.

brote depende principalmente de la fotosíntesis inicial del área foliar remanente (Davies, 1988), alcanzando mejores rebrotes totales a partir de mayores remanentes (Matches, 1966).

Considerando la mezcla en su conjunto, en el primer año no se observaron diferencias significativas en biomasa ($p=0,27$). No obstante, en el segundo ciclo, se observó una tendencia a menores biomásas para el tratamiento I+F+ ($p=0,09$), que se tornó significativa al considerar el periodo completo. Esta menor biomasa prepastoreo de la mezcla para I+F+ se podría deber a la menor acumulación de radiación interceptada y a la eventual pérdida de individuos (Teixeira *et al.*, 2007b).

En consumo/ha de alfalfa, considerando ambos ciclos, hubo diferencias significativas ($p<0,01$) entre tratamientos,

a favor de I+F-. Esto indicaría que las mayores biomásas prepastoreo alcanzadas con menores frecuencias, combinadas con una baja asignación de forraje que permita elevadas eficiencias de aprovechamiento (alta intensidad) favorecen la productividad de esta especie durante OI, a pesar de tener un evento de pastoreo menos en cada ciclo con respecto a los tratamientos de mayor frecuencia.

No obstante, en este estudio, no se observaron diferencias significativas en el consumo/ha tanto para festuca alta como para la mezcla, excepto en el primer año que el consumo/ha de festuca mostró una tendencia a ser mayor en I+F+ ($p=0,09$). En condiciones similares, Kloster *et al.* (2013) tampoco encontraron diferencias a nivel de mezcla en la acumulación neta otoño-invernal de tres años al variar la frecuencia de pastoreo durante esta estación. A pesar de esta falta de diferencias productivas, merecen

Otoño-Invierno						
Item	I+F+	I-F+	I+F-	I-F-	EEM	p valor
2010-2011						
Biom. alfalfa	759 b	839 ab	972 ab	1.044 a	112	0,05
Biom. festuca	648 ab	776 a	567 b	514 b	72	<0,01
Biom. mezcla	1.407	1.615	1.539	1.558	122	0,27
Rel. alf/fes	1,19 bc	1,09 c	1,73 ab	2,05 a	0,29	<0,01
Cons. alfalfa	1.802	1.524	2.083	1.711	336	0,30
Cons. festuca	1.448 a	1.343 ab	933 ab	856 b	289	0,09
Cons. mezcla	3.250	2.867	3.016	2.567	485	0,42
2011-2012						
Biom. alfalfa	760 b	747 b	1.064 a	1.002 a	127	0,03
Biom. festuca	470 b	749 a	394 b	638 ab	132	0,04
Biom. mezcla	1.230 b	1.496 ab	1.458 ab	1.639 a	165	0,09
Rel. alf/fes	1,65 b	1,02 b	2,86 a	1,68 b	0,54	0,02
Cons. alfalfa	2.106 b	1.549 b	2.830 a	2.204 ab	347	<0,01
Cons. festuca	859	867	559	765	370	0,72
Cons. mezcla	2.965	2.416	3.399	2.968	470	0,16
2010-2012						
Biom. alfalfa	759 b	793 b	1.018 a	1.023 a	79	<0,01
Biom. festuca	559 b	763 a	480 b	576 b	94	0,03
Biom. mezcla	1.319 b	1.555 a	1.498 a	1.598 a	89	0,02
Rel. alf/fes	1,37 bc	1,05 c	2,17 a	1,84 ab	0,36	0,02
Cons. alfalfa	3.908 b	3.073 c	4.924 a	3.915 b	346	<0,01
Cons. festuca	2.307	2.210	1.492	1.621	567	0,27
Cons. mezcla	6.215	5.283	6.416	5.536	579	0,12

Tabla 3. Biomasa prepastoreo de alfalfa, de festuca y de la mezcla promedio de los eventos de pastoreo durante otoño-invierno (kg MS/ha), relación alfalfa/festuca de la biomasa prepastoreo; y consumo/ha de alfalfa, consumo/ha de festuca, consumo/ha de la mezcla acumulados en los eventos de pastoreo de la estación (kg MS/ha) en función de los tratamientos para otoño-invierno. Tratamientos: I+F+=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I-F+=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I+F-=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd e I-F-=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd.

Fuente: elaboración propia.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p\leq 0,10$). EEM=Error estándar de la media.

destacarse las menores relaciones alfalfa/festuca alcanzadas con pastoreos frecuentes, que combinadas con otras estrategias puede reducir el riesgo de meteorismo (Davies *et al.*, 2001).

En el periodo PV (tabla 4), la biomasa de festuca fue significativamente mayor en I-F+ en ambos ciclos ($p < 0,01$), evidenciando la mejor respuesta de esta especie a pastoreos frecuentes y laxos (Scheneiter *et al.*, 2006), tal como ya fuera mencionado para el periodo OI. Respecto a la biomasa de alfalfa, a pesar de no existir diferencias significativas en el segundo ciclo ($p = 0,31$), al considerar el periodo completo (2010-2012) estas fueron significativas ($p < 0,01$) a favor de I-F-. Por su parte, la mezcla presentó mayores valores de biomasa para los tratamientos de ligera intensidad (I-F+ e I-F-).

Por un lado, en relación con los niveles de consumo primavera-estival, al tomar ambos ciclos (ciclo 2010-11 + ciclo 2011-12) existieron diferencias significativas a favor de I-F+ tanto para alfalfa ($p < 0,01$) como para la mezcla ($p < 0,01$), aun ante una disminución de su CB (tabla 6), lo cual muestra cierta capacidad de compensación de los componentes de rendimiento de la especie (Teixeira *et al.*, 2007a; Gosse *et al.*, 1988). Por otro lado, el consumo/ha de festuca no presentó diferencias entre I-F+, I-F+ e I-F-, alcanzando su menor valor en I-F-. Esta similitud en la producción de festuca resulta destacable ya que indicaría cierta plasticidad de la especie ante pastoreos primavera-estivales de relativa intensidad.

La adaptación de las gramíneas a pastoreos intensos depende principalmente de respuestas morfológicas que

Primavera-Verano						
Item	I-F+	I-F+	I-F-	I-F-	EEM	p valor
2010-2011						
Biom. alfalfa	1.811 b	1.970 b	1.993 b	2.293 a	118	<0,01
Biom. festuca	378 b	694 a	407 b	399 b	87	<0,01
Biom. mezcla	2.189 c	2.664 a	2.399 b	2.693 a	77	<0,01
Rel. alf/fes	5,01 ab	2,89 b	5,17 ab	5,84 a	1,28	0,10
Cons. alfalfa	7.904	6.965	8.175	8.024	573	0,11
Cons. festuca	1.121 ab	1.588 a	1.409 ab	753 b	371	0,10
Cons. mezcla	9.024	8.552	9.584	8.776	472	0,12
2011-2012						
Biom. alfalfa	1.492	1.355	1.343	1.551	150	0,31
Biom. festuca	356 c	620 a	299 c	472 b	59	<0,01
Biom. mezcla	1.848 ab	1.975 a	1.642 b	2.023 a	162	0,08
Rel. alf/fes	4,26 a	2,20 b	4,61 a	3,32 ab	0,69	<0,01
Cons. alfalfa	7.381 a	5.709 b	5.136 b	4.892 b	795	0,02
Cons. festuca	1.305 a	1.337 a	824 b	590 b	255	<0,01
Cons. mezcla	8.686 a	7.046 ab	5.961 b	5.482 b	981	<0,01
2010-2012						
Biom. alfalfa	1.652 b	1.662 b	1.668 b	1.922 a	77	<0,01
Biom. festuca	367 b	657 a	353 b	436 b	54	<0,01
Biom. mezcla	2.019 b	2.319 a	2.021 b	2.358 a	69	<0,01
Rel. alf/fes	4,52 a	2,54 b	4,92 a	4,47 a	0,8	0,03
Cons. alfalfa	15.285 a	12.674 b	13.311 b	12.916 b	715	<0,01
Cons. festuca	2.425 a	2.925 a	2.234 ab	1.343 b	519	0,03
Cons. mezcla	17.710 a	15.598 b	15.545 b	14.259 b	776	<0,01

Tabla 4. Biomasa prepastoreo de alfalfa, de festuca y de la mezcla promedio de los eventos de pastoreo durante primavera-verano (kg MS/ha), relación alfalfa/festuca de la biomasa prepastoreo; y consumo/ha de alfalfa, consumo/ha de festuca, consumo/ha de la mezcla acumulados en los eventos de pastoreo de la estación (kg MS/ha) en función de los tratamientos para primavera-verano. Tratamientos: I-F+=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I-F-=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I-F+=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd e I-F-=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd.

Fuente: elaboración propia.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$). EEM=Error estándar de la media.

generen un cambio en su estructura (Chapman y Lemaire, 1993), la cual permita el escape al pastoreo de macollos que a su vez proporcionen un flujo de foto-asimilados hacia macollos defoliados tal como ya fuera sugerido por Matches (1966).

En este sentido, por un lado, existen antecedentes que informan una mayor producción de festuca con pastoreos intermitentes intensos. Hamilton *et al.* (2013) evaluaron 6 alturas de remante para festuca alta (entre 2,5 y 15 cm) y obtuvieron los mayores rendimientos con remanentes menores a 7,5 cm. Coincidentemente, Brink *et al.* (2010) registraron mejor producción de festuca alta con 5 cm de altura de remanente respecto a 10 cm, independientemente de la frecuencia de defoliación. Ambos ensayos tuvieron buena persistencia luego de dos años de utilización. Sin embargo, estos trabajos se realizaron sobre pasturas puras, lo cual obvió el efecto de la competencia interespecífica.

Por otro lado, el bajo consumo de festuca en I-F- podría atribuirse a la acumulación de forraje senescente (Parsons, 1988), la pérdida de digestibilidad propia del envejecimiento de las hojas (Insua *et al.*, 2012), el aumento de la relación vaina/lámina durante el verano (Insua *et al.*, 2013)

y el crecimiento de estructuras reproductivas, que en su conjunto disminuyen la eficiencia de cosecha del animal (Parsons y Penning, 1988). Además, la mayor disponibilidad media de alfalfa alcanzada en este tratamiento y la alta asignación propia de este pudieron favorecer la selección en detrimento de la festuca, generando áreas subpastoreadas y acentuando el efecto de selección en los pastoreos subsiguientes.

Para el periodo completo considerando ambas estaciones (tabla 5), el consumo/ha de la mezcla fue significativamente mayor en I+F+ ($p < 0,01$), traccionado por un mayor consumo/ha primavero-estival de alfalfa. Esto permite sostener que el patrón de respuesta a la defoliación de esta especie es determinante del comportamiento de pasturas base alfalfa (Hernández Garay *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 1996). Hernández Garay *et al.* (2012) obtuvieron resultados similares para una mezcla de alfalfa y pasto ovillo, donde los mayores rendimientos globales se alcanzaron con pastoreos de mayor intensidad y frecuencia. Sin embargo, estos autores encontraron que las mayores intensidades de defoliación generaron una mayor abundancia de malezas, coincidiendo con lo informado por Refi y Martín (2001). Esto también pudo evidenciarse indirectamente en

Periodo Completo (2010-2012)						
Item	I+F+	I-F+	I+F-	I-F-	EEM	p valor
Cons. mezcla total	23.925 a	20.882 bc	21.960 b	19.795 c	879	<0,01

Tabla 5. Consumo/ha de la mezcla (kg MS/ha) en función de los tratamientos para el periodo completo del ensayo (Otoño-Invierno+Primavera-Verano del 2010 al 2012). Tratamientos: I+F+=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I-F+=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I+F-=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd e I-F-=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd.

Fuente: elaboración propia.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$). EEM=Error estándar de la media.

Item	I+F+	I-F+	I+F-	I-F-	EEM	p valor
2010						
CB Alfalfa (%)	5,83	7,49	5,94	7,78	1,45	0,29
CB Festuca (%)	8,28	7,10	7,17	6,59	2,05	0,78
2011						
CB Alfalfa (%)	4,70 ab	3,82 b	6,28 a	6,42 a	0,96	0,03
CB Festuca (%)	7,07	8,90	6,21	5,40	2,81	0,50
2012						
CB Alfalfa (%)	2,44 b	2,17 b	5,53 a	5,95 a	1,22	<0,01
CB Festuca (%)	6,22 bc	9,38 a	3,42 c	6,58 ab	1,61	<0,01

Tabla 6. Cobertura basal (CB) otoñal de alfalfa y festuca. Tratamientos: I+F+=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I-F+=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 350°Cd; I+F-=Asignación 23 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd e I-F-=Asignación 34,5 g MS/kg peso vivo y frecuencia 450°Cd.

Fuente: elaboración propia.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$). EEM=Error estándar de la media.

el presente trabajo a través de los menores valores de CB en I+F+ (tabla 6).

Asimismo, resulta importante destacar los similares niveles de consumo/ha que sostuvieron I-F+ y I+F-, a pesar de contrastar tanto en intensidad como en frecuencia de pastoreo, lo que indica una considerable plasticidad de la mezcla. Romero y Juan (1997) también obtuvieron producciones totales similares en pasturas consociadas de alfalfa con festuca alta, frente a manejos contrastantes en intensidad y frecuencia de pastoreo, con una importante compensación entre sus componentes específicos.

Para analizar el efecto de los tratamientos sobre la persistencia de la pastura, se presentan en la tabla 6 los valores de CB otoñal de cada año, incluyendo el final del ensayo. Para el caso de alfalfa, se observaron diferencias entre tratamientos luego del primer año ($p=0,03$) mientras que para festuca alta estos solo se diferenciaron al final del periodo total estudiado ($p<0,01$).

Como puede observarse en la tabla 6, todos los tratamientos mostraron una reducción en la CB de alfalfa lo cual responde a la dinámica poblacional normal de la especie (Teixeira *et al.*, 2007a). De todas maneras se destaca una caída más pronunciada frente a defoliaciones frecuentes, lo que indicaría un menor número de coronas, una reducción de su tamaño o efectos combinados de ambos factores. Esto podría explicarse por la menor asimilación y translocación hacia las raíces de C y N, consecuencia de la menor interceptación acumulada de radiación durante periodos de descanso cortos (Teixeira *et al.*, 2007c, Gramshaw *et al.*, 1993). Este menor nivel de reservas pudo generar plantas más susceptibles a enfermedades de raíz y corona y al estrés causado por la competencia por luz (Teixeira *et al.*, 2007a, Lodge, 1991). Hoveland *et al.* (1995) también indicaron una disminución en el número de tallos de alfalfa por superficie al aumentar la frecuencia de defoliación en pasturas consorciadas con festuca alta. Con este tipo de mezclas, Romero y Juan (1997) señalaron una menor persistencia de alfalfa bajo pastoreos frecuentes y laxos, respecto a infrecuentes e intensos.

Por lo tanto, se reafirma que la frecuencia de defoliación resulta el componente de manejo más crítico para lograr una adecuada persistencia de la alfalfa (Lodge, 1991; Mendoza Pedroza *et al.*, 2010; Gramshaw *et al.*, 1993).

Al considerar la festuca alta, su CB no presentó diferencias significativas entre tratamientos luego del primer año de utilización. Sin embargo, finalizado el segundo ciclo, existió un significativo contraste entre I-F+ (9,38%) e I+F- (3,42%). Esta diferencia de cobertura entre pastoreos frecuente/laxo e infrecuente/intenso, también fue resaltada por Romero y Juan (1997) y respondería a una mejor respuesta frente a defoliaciones laxas de las gramíneas templadas, como ya fue presentado, en ambas estaciones.

La pérdida de festuca alta en mezcla con alfalfa también fue reportada por Smith *et al.* (1973), quienes indicaron una pérdida casi total de festuca alta en el tratamiento con menor altura de remanente y menor frecuencia, coincidente con un estado reproductivo avanzado de la gramínea aun-

que este efecto pudo verse exacerbado por la defoliación mecánica de la pastura en contraposición con cierto beneficio de una defoliación más selectiva del animal.

Por lo tanto, frente a una reducción del área foliar remanente bajo defoliaciones intensas, se afectaría el crecimiento pospastoreo de festuca (Matches, 1966) que, sumado a un probable efecto de competencia lumínica, debido a las mayores tasas de crecimiento inicial de la alfalfa en pastoreos menos frecuentes (Teixeira *et al.*, 2007c) pueden generar mortandad de macollos o reducción de su tamaño.

CONCLUSIONES

- Para las condiciones del presente ensayo, pastoreos frecuentes y laxos lograron una buena participación de la festuca alta en la biomasa prepastoreo tanto en OI cómo en PV. A su vez, este manejo permitió alcanzar los mayores valores de CB de esta especie al finalizar el ensayo.
- Los niveles de consumo/ha de la pastura no fueron modificados por las diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo durante OI. Por lo tanto, como herramienta de manejo resulta de bajo impacto sobre la producción primaria en dicha estación para pasturas con predominio de alfalfa, no así sobre su persistencia.
- Durante PV como en el periodo total, la mayor intensidad y frecuencia de pastoreo (I+F+) generó los mayores valores de consumo/ha en ambas especies, mostrando una adaptación de la festuca alta a los pastoreos intensos, habitualmente impuestos a la alfalfa. Sin embargo, este tipo de manejo puede comprometer la persistencia futura de la pastura por pérdida de individuos e invasión de malezas. Aun así, esta mayor producción es promisoría para zonas agrícolas donde las rotaciones suelen incluir ciclos pastoriles relativamente cortos.
- La mayor frecuencia de defoliación, independientemente de su intensidad, provocó una mayor disminución de la CB de alfalfa por lo cual el manejo de los periodos de descanso resulta una herramienta clave para sostener su persistencia.
- Considerando la importante plasticidad productiva hallada, la elección de una estrategia de pastoreo en particular dependerá del tipo de sistema productivo, la duración objetivo de la pastura en la rotación y los requerimientos de los animales.

BIBLIOGRAFÍA

- BRETSCHNEIDER, G. 2010. Una actualización sobre el meteorismo espumoso bovino. Archivos de medicina veterinaria, 42(3), 135-146.
- BRINK, G.E.; CASLER, M.D.; MARTIN, N.P. 2010. Meadow fescue, tall fescue, and orchardgrass response to defoliation management. Agronomy Journal, 102(2): 667-674.
- CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. International Grassland Congress. Vol. 17, 95-104 pp.

- DAVIES, A. 1988. The regrowth of grass swards. *The Grass Crop*. Springer Netherlands, 85-127 pp.
- DAVIES, P.; DILLON, A.; MÉNDEZ, D.G. 2001. Control del estape en invernada. Publicación técnica N.º 34. EEA INTA Gral. Villegas, 14 p.
- GOSSE, G.; LEMAIRE, G.; CHARTIER, M.; BALFOURIER, F. 1988. Structure of a Lucerne population (*Medicago sativa* L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 25, 609-617.
- GRAMSHAW, D.; LOWE, K.F.; LLOYD, D.L. 1993. Effect of cutting interval and winter dormancy on yield, persistence, nitrogen concentration, and root reserves of irrigated Lucerne in the Queensland subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. Vol. 33, 847-854.
- HAYNES, R.J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy*, 33, 227-261.
- HAMILTON, S.A.; KALLENBACH, R.L.; BISHOP-HURLEY, G.J.; ROBERTS, C.A. 2013. Stubble height management changes the productivity of perennial ryegrass and tall fescue pastures. *Agronomy Journal*, 105(3): 557-562.
- HERNÁNDEZ GARAY, A.; MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, P.A.; ZARAGOZA ESPARZA, J.; VAQUERA HUERTA, H.; OSNAYA GALLARDO, F.; JOAQUÍN TORRES, B.M.; VELAZCO ZEBADÚA, M. 2012. Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad del pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3): 259-266.
- HOVELAND, C.S.; DURHAM, R.G.; BOUTON, J.H. 1995. Management effects on productivity of Alfagrazo alfalfa-tall fescue mixtures. *Journal of Production Agriculture*, 8(2); 244-248.
- HOVELAND, C. S. 1997. Problems in establishment and maintenance of mixed swards. *International Grasslands Congress*, Vol. 18, 411-416 pp.
- INSUA, J.R.; AGNUSDEI, M.G.; DI MARCO, O.N. 2012. Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2): 190-195.
- INSUA, J.R.; DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G. 2013. Calidad nutritiva de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) en rebrotes de verano y otoño. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(3): 267-272.
- INTA-SEAG CÓRDOBA. 1978. Carta de suelos de la República Argentina; Hoja 3363-17 Marcos Juárez, INTA. Buenos Aires, 96 p.
- JUNG, G.A.; SHAFFER, J.A.; EVERHART, J.R. 1996. Harvest frequency and cultivar influence on yield and protein of alfalfa-ryegrass mixtures. *Agronomy Journal*, 88(5): 817-822.
- KLOSTER, A.; BERTRAM, N.; CHIACCHIERA, S.; AMIGONE, M.; GARIS, M. 2013. Efecto del intervalo de defoliación otoño invernal y de la fertilización con N sobre la productividad de forraje de una asociación de alfalfa y festuca alta. Informe de Investigación N.º 8. EEA Marcos Juárez, INTA, 17 p.
- LAIDLAW, A.S.; TEUBER, N. 2001. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives. *International Grassland Congress*. Vol. 19, São Paulo. Brasil. 85-92 pp.
- LODGE, G.M. 1991. Management practices and other factors contributing to decline in persistence of grazed Lucerne in temperate Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. Vol. 31, 713-724.
- LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J.F.; REES, R.M.; PEYRAUD, J.L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69(2): 206-228.
- MATCHES, A.G. 1966. Influence of intact tillers and height of stubble on growth responses of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Crop Science*. Vol. 6, 484-487.
- MENDOZA PEDROZA, S.I.; HERNANDEZ GARAY, A.; PÉREZ PÉREZ, J.; QUERO CARRILLO, A.R.; ESCALANTE ESTRADA, J.A.S.; ZARAGOZA RAMÍREZ, J.L.; RAMÍREZ REYNOSO, O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(3): 287-296.
- 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 and Forage Science*, Vol. 43. 199-207.
- PARSONS, A.J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. *The Grass Crop*. Springer Netherlands, 129-177 pp.
- PARSONS, A.J.; PENNING, P. D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*. Vol. 43. 15-27.
- REFI, R.O.; MARTIN, B. 2001. Structural stability of short latency alfalfa-based pastures in the humid Pampa, Argentina. *Proc. XIX International Grassland Congress*, São Paulo, Brasil, 11-21 pp.
- ROMERO, N.A. 2011. Producción y persistencia de gramíneas perennes de invierno asociadas con alfalfa. Publicación técnica N.º 83. EEA Anguil INTA, 15 p.
- ROMERO, N.A.; JUAN, N.A. 1997. Efecto del manejo del pastoreo, distancia entre hileras y grado de latencia sobre la producción y persistencia de pasturas de alfalfa y festuca alta. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 17 (Supl. 1): 135.
- SAS. STAT 9.2. 2013. SAS User's Guide. SAS Inc, Cary, NC.
- SCHENEITER, O.; CARRETE, J.; AMÉNDOLA, C. 2006. Utilización de pasturas de alfalfa-festuca alta con dos sistemas de pastoreo. I. Disponibilidad, composición y digestibilidad del forraje. *Revista Investigaciones Agropecuarias*. Vol. 35(3): 3-18.
- SMITH, D.; JACQUES, A.V.A.; BALASKO, J.A. 1973. Persistence of several temperate grasses grown with alfalfa and harvested two, three, or four times annually at two stubble heights. *Crop Science*, 13(5): 553-556.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; FLETCHER, A.L. 2007a. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *European Journal of Agronomy*, 26(4): 394-400.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; POLLOCK; K.M. 2007b. How does defoliation management impact on yield, canopy forming processes and light interception of Lucerne (*Medicago sativa* L.) crops? *European Journal of Agronomy*, 27(1): 154-164.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; MICKELBART, M.V. 2007c. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *European Journal of Agronomy*, 26(1): 10-20.

Transición agroecológica en producciones extensivas de la región semiárida pampeana argentina

GABELLA, J.I.¹; LÓPEZ, F.²; ÁLAMO, M.³

RESUMEN

En Argentina existen escasas referencias de producciones agroecológicas extensivas en regiones semiáridas, por lo que muchas veces son consideradas inviables. El escaso apoyo institucional, los conflictos generados por intereses económicos y políticos y la falta de investigación de los organismos de Ciencia y Tecnología nacionales dificultan la continuidad y difusión de prácticas alternativas al sistema de producción predominante. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo analizar una experiencia de transición hacia sistemas con enfoque agroecológico en el suroeste de la región pampeana argentina, sistematizar la información y documentar un antecedente bajo condiciones extensivas para esta área. Durante el año 2016 se realizaron entrevistas semiestructuradas a diversos actores sociales involucrados en la experiencia. La transición agroecológica presentó importantes diferencias con el sistema productivo actual, como el aumento de la ganadería y mayor complejidad de los sistemas productivos. Esta mayor complejidad se basa en la consociación de cultivos, inclusión de ganadería de ciclo completo, modificación de sistemas parcelarios, inclusión de apicultura, disminución de uso de antiparasitarios y mayor consideración de los ciclos naturales de nutrientes.

Palabras clave: agroecología, agricultura de bajos insumos, zonas de exclusión de agroquímicos.

ABSTRACT

In Argentina there are few references on extensive agroecological productions in semi-arid regions, this is why most of them are often considered unfeasible. The lack of institutional support and the conflicts generated by different economic and political interests make it difficult to continue and disseminate alternative practices to the traditional production system. Therefore, this paper aims to analyze an agroecological transition experience in the southwest of the Argentinean pampean region, to systematize the information and to generate a scientific background of extensive agroecological transition for this area. During the year 2016, semi-structured interviews were carried out with different social actors involved in the experience. The agroecological transition presented important differences with the current productive system, such as the increase of livestock production and a greater complexity of the productive systems in relation to the dominant system. This greater complexity is based on the consociation of crops, the inclusion of full-cycle livestock, the modification of farm systems, the inclusion of beekeeping, the reduction of the use of antiparasitic agents and greater consideration of natural cycles.

Keywords: agroecology, low-input agriculture, agrochemicals exclusion zone.

¹Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geografía y Turismo, 12 de Octubre 1198. Bahía Blanca, Argentina. Correo electrónico: julitagabella@gmail.com

²Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Agronomía, San Andrés 800, 8000 Bahía Blanca, Argentina. Correo electrónico: fmlopez@criba.edu.ar.

³Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geografía y Turismo, 12 de Octubre 1198. Bahía Blanca, Argentina. Correo electrónico: malamo74@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, al igual que en otras partes del mundo, el modelo agropecuario actual, basado en el paradigma industrial asociado a la revolución verde, ha generado importantes transformaciones territoriales y ambientales (Gabella y Álamo, 2015). El escaso acceso a la tierra, las amenazas a la seguridad y soberanía alimentaria, a la salud de las poblaciones rurales y el impacto medioambiental por el uso elevado de agroquímicos son algunas de ellas (Souza Casadhino, 2014). Además, se produjo un reemplazo de los sistemas de producción tradicionales, ganadero-agrícolas con gran proporción de trabajo familiar (López Castro, 2013; Picardi y Giaccherio, 2015), por sistemas de producción de commodities agrícolas a gran escala (Alessandria *et al.*, 2001), aparejado a un proceso simultáneo de concentración de recursos productivos y agriculturización. Esta primarización, extractivismo y exportación de recursos naturales, basados en un enfoque de agronegocios y escala, ha desplazado a pequeñas y medianas empresas agropecuarias potencialmente sustentables (Loewy, 2015).

Los sistemas productivos del suroeste bonaerense (SOB) presentan algunas de estas transformaciones relacionadas con un proceso de agriculturización que se intensificó en las últimas décadas (Iermanó y Sarandón, 2016; Ministerio de Agroindustria, 2016). Esta región comprende parte de las regiones semiárida y subhúmeda seca de la Argentina, con características climáticas y edáficas que la diferencian del resto de la pampa húmeda. Un informe realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Krüger, 2013), que evalúa la sostenibilidad de estos sistemas en el SOB, ha reportado la aparición y permanencia de problemas de orden ambiental y socioeconómicos en estos territorios. En dicho informe se determinó que algunos de estos problemas incluían la dificultad para la adaptación de paquetes tecnológicos por falta de escala productiva, la escasez de alternativas, los bajos conocimientos técnicos, el desmonte y sobrepastoreo, la degradación de suelos, la baja productividad y rentabilidad, la emigración con la consecuente pérdida de capital social y cultural y la falta de políticas explícitas para el sector. De esta manera, a partir de la expansión de la agricultura, las actividades agropecuarias en la región se asociaron a prácticas cada vez menos relacionadas con los ciclos naturales, con un aumento de la dependencia de insumos externos (Gabella y Álamo, 2015).

A partir de los cambios observados en la región y sus implicancias para el desarrollo territorial, se plantea la necesidad de pensar en cambios en la agricultura actual que puedan solucionar las externalidades de la agricultura industrial basada en el uso de agroquímicos. En este contexto, surgen desde iniciativas privadas y ámbitos públicos algunas líneas y políticas de acción con una nueva mirada (Sarandón y Flores, 2014). Actualmente, tanto desde el ámbito científico (Kremen *et al.*, 2012) como del político (FAO, 2007; 2014), se acepta a la agroecología como una disciplina capaz de ofrecer una respuesta frente a los problemas del modelo agropecuario actual. Esta provee los principios ecológicos básicos para el estudio,

diseño y manejo de agroecosistemas productivos, que conserven los recursos naturales y sean culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables (Altieri, 1999). Esta disciplina es aceptada por consenso internacional como capaz de equiparar o aumentar la producción de alimentos a nivel mundial y con menor efecto sobre el ambiente (Altieri, 2002; FAO, 2014). Su enfoque teórico y metodológico utiliza varias disciplinas para poder estudiar la actividad agropecuaria desde una perspectiva integradora, realizando un estudio holístico, que involucra aspectos ambientales y humanos (Altieri, 1999).

La agroecología suele definirse como adecuada para pequeños productores de zonas marginales (Altieri, 2002), y es en muchos casos desconocida por los productores de cultivos extensivos a nivel mundial. En el SOB en particular, la implementación de sus principios solo se realiza de forma aislada, de manera alternativa y complementaria al modelo tradicional de producción (Gabella y Álamo, 2015). Sin embargo, desde abril de 2014 un grupo de productores del partido de Guaminí, provincia de Buenos Aires, inició las primeras experiencias en agroecología extensiva promovidas por el Municipio. A través de este proyecto se planteó una transición hacia sistemas productivos agroecológicos, basado en las demandas sociales por el impacto del uso de agroquímicos en la región. Se entiende por transición al proceso en el cual los productores cambian de un manejo del establecimiento con baja diversidad de especies y alta dependencia de insumos externos, a un sistema organizado a través de los principios agroecológicos (Blesh y Wolf, 2014).

En Argentina existen escasas referencias de producciones agroecológicas extensivas en regiones semiáridas, por lo que muchas veces son consideradas inviables. Por un lado, es necesario recuperar algunas técnicas que se han perdido en los sistemas agropecuarios actuales, como el control cultural de arvenses¹ o la inclusión de rotaciones con pasturas polifíticas. Por otro lado, es necesario generar nuevas tecnologías y adaptarlas a las características locales y regionales, de manera que permitan la implementación de sistemas agroecológicos extensivos. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo analizar la experiencia de transición agroecológica del grupo de productores de Guaminí, sistematizar la información y documentar el antecedente de la transición agroecológica extensiva en el área semiárida del SOB. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos: (i) determinar las características de los agroecosistemas en el área de estudio; (ii) caracterizar los actores involucrados en la experiencia; (iii) detallar las prácticas agronómicas implementadas durante la transición; y (iv) analizar la adaptabilidad de los principios agroecológicos a los productores de la región. Esta información servirá de insumo para futuros productores, proyectos e

¹Se prefiere la utilización del término "arvense" (que crece en los sembrados, Real Academia Española (RAE)) a diferencia de "malezas" (mala hierba, RAE) ya que este último término enfatiza solo el aspecto negativo de las plantas espontáneas, a pesar de la importancia de estas para la cobertura, protección del suelo y otras funciones en el enfoque agroecológico.

investigaciones que deseen involucrarse en actividades agroecológicas en producciones extensivas.

Los comienzos de la experiencia de transición agroecológica en Guaminí

En mayo de 2013 se creó la Mesa de Salud Ambiental Municipal del partido de Guaminí. Esta presentó un anteproyecto de ordenamiento local sobre el uso de agroquímicos, ante una mesa agropecuaria que nucleaba a las principales entidades y sectores relacionados con la actividad del partido. En este espacio se consensuó el desarrollo de un debate público, con la participación de especialistas de diferentes disciplinas, con el fin de proteger la salud de la población y la integridad de los recursos naturales en el partido. En noviembre del mismo año, comenzó el ciclo de conferencias públicas sobre el uso de agroquímicos, tratando en las dos primeras reuniones sus implicancias en la producción y el ambiente. A raíz de la charla brindada por el Ing. Agr. Eduardo Cerdá se evidenció el interés de un grupo de productores sobre este sistema de producción. Esta situación fue advertida por el director de Medio Ambiente y Recursos Hídricos el cual inició gestiones para la conformación del Grupo de Productores Agroecológicos del partido de Guaminí, garantizando el acompañamiento profesional necesario para llevar adelante esta transición (Schwerdt y Cerdá, 2015).

El grupo que emprendió las primeras experiencias en agroecología se integró originalmente por siete productores de la zona sur del partido, los cuales continúan en la actualidad. La experiencia resultó exitosa. La superficie de producción agroecológica se incrementó un 500% el segundo año respecto al primero y aparecieron varios interesados en el enfoque agroecológico a nivel regional. Conjuntamente, surgió un proyecto de valor agregado e inclusión de los granos producidos y se puso en funcionamiento el Molino de Harina Integral Agroecológico "La Clarita". Este fue desarrollado por la Dirección de Medio Ambiente y Recursos Hídricos en forma conjunta con productores agropecuarios, la Escuela de Educación Especial N° 502 y la Asociación Pro Ayuda del Hospital Joaquín Llambías, con el objetivo de que el producto llegue a todas las familias del distrito a un bajo costo.

Luego de tres años de negociaciones, en las que el Grupo participó activamente, en junio de 2016 se aprobó la ordenanza municipal para la regulación en el uso de productos fitosanitarios en el partido de Guaminí. Esta consta de 39 artículos y entre sus principales objetivos se destaca la regulación en el transporte de productos y maquinarias, establecimiento de locales y depósitos, registro de equipos, distancias de aplicación, carga y lavado de equipos y disposición de residuos (<https://www.facebook.com/renamanet/>).

Área de estudio

La región del SOB (figura 1) está integrada por los partidos de Adolfo Alsina, Bahía Blanca, Coronel Dorrego, Coronel Rosales, Patagones, Puán, Saavedra, Tornquist, Villarino y parte de los partidos de Coronel Pringles, Coronel Suárez y Guaminí (Ministerio de Agroindustria, 2016).

El SOB se encuentra bajo la influencia de un clima templado de transición, caracterizado por una gran variabilidad climática interanual, principalmente en las precipitaciones (Glave, 2006; Campo *et al.*, 2009; Gil *et al.*, 2008; Gabella *et al.*, 2009, 2010). Los volúmenes de precipitación disminuyen de noreste a suroeste, evidenciándose los rasgos de continentalidad y cercanía a la Diagonal Árida Argentina (Gabella y Campo, 2016) (figura 2). La ausencia total o parcial de precipitaciones durante períodos prolongados conduce a la ocurrencia de sequías, lo cual restringe la diversidad de cultivos y determina un menor potencial de producción respecto a la región pampeana central. Las lluvias se producen en dos estaciones definidas, otoño y primavera, interrumpida por una estación seca en los meses invernales, y otra semiseca en verano (enero a febrero) con alta evapotranspiración (Zotelo, 2011).

La experiencia de transición agroecológica analizada en este trabajo se localiza en diversos establecimientos agropecuarios dentro del partido de Guaminí (ver figura 1). Este se ubica en el extremo norte del SOB. El partido presenta una franja deprimida en su parte central, conocida como Sistema de Las Encadenadas, ocupada por un rosario de lagunas conectadas entre sí que configuran un sistema de drenaje endorreico con declive hacia el SO (Marini, 2007). Los establecimientos de los productores relevados en este trabajo, que actualmente están llevando a cabo la transición hacia el manejo agroecológico, se ubican dentro de la zona semiárida del partido de Guaminí.

MATERIALES Y MÉTODOS

En cuanto a la recopilación de datos se recurrió a fuentes de información primaria y secundaria. Las primarias incluyeron el trabajo de campo, la observación directa e indirecta y entrevistas². Se usó la aproximación cualitativa de triangulación de las fuentes (Paul, 1996; Gaber y Gaber, 2007), bajo el enfoque de estudios de casos (Yin, 2003). Las fuentes de información secundarias incluyeron: búsqueda y recopilación bibliográfica, datos estadísticos y cartografía específica del área.

Durante los meses de abril y junio de 2016 se realizaron salidas al terreno donde se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con diversos tipos de actores sociales involucrados en la experiencia de transición: productores agropecuarios y funcionarios municipales. Durante estas, se aplicó un cuestionario que permitió conocer las características del modo de vida y del manejo de los establecimientos. Para ello se seleccionaron diversos indicadores socioproductivos relacionados con la superficie del predio, tenencia de la tierra, actividades productivas, lugar de residencia, grupo familiar, formación académica, actividades extraprediales, acceso a la información, asesoramiento, tenencia de maquinarias y tiempo desde el comienzo de la transición agroecológica.

²Los autores se reservan el derecho de exponer a los entrevistados. Sin embargo, frente a cualquier consulta de los lectores es posible la vinculación de los interesados con los entrevistados.

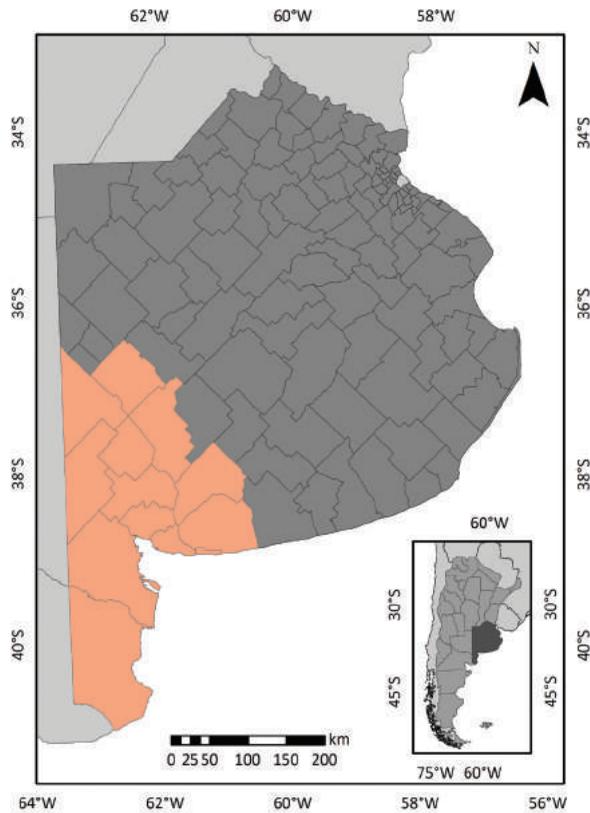


Figura 1. Partidos administrativos del Suroeste Bonaerense (SOB).
Fuente: Gabella, 2014

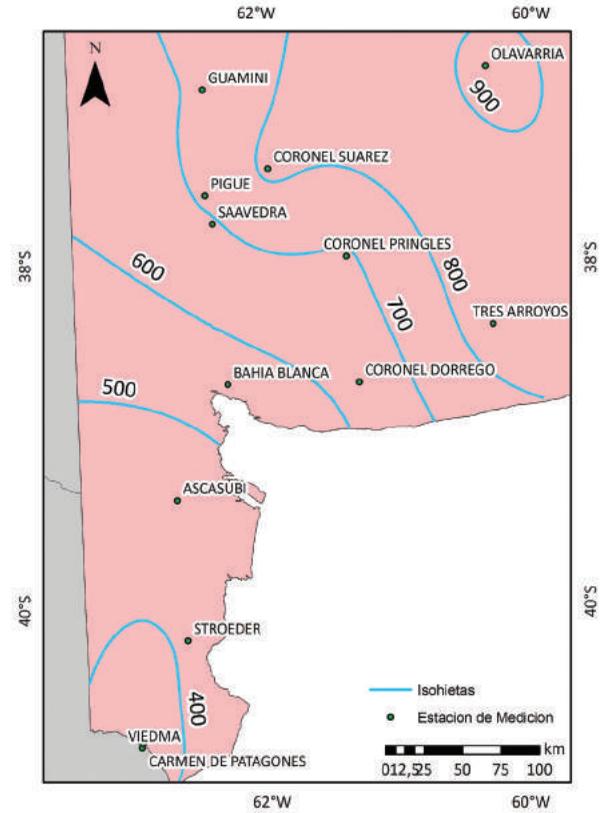


Figura 2. Isohietas medias anuales (en mm) del SOB (1971-1990).
Fuente: Gabella, 2014.

RESULTADOS

Caracterización de los productores rurales asociados a la transición agroecológica extensiva en el partido de Guaminí

En la tabla 1 se observa el resultado de las entrevistas realizadas a los productores que conforman el grupo en transición hacia la agroecología en el partido de Guaminí (ver cuestionario anexo). De los 7 productores involucrados en la transición, se entrevistaron solo a aquellos cuyas explotaciones agropecuarias se localizan dentro de la región semiárida del partido.

Es interesante destacar que ninguno de los productores que emprendieron la transición agroecológica se encuentra dentro de la zona de exclusión de uso de agroquímicos delimitada por el municipio. En todos los casos el planteo de la transición surgió de intereses propios de cada productor, en la búsqueda de una forma de producción con menor efecto sobre el medioambiente. A través de las entrevistas fue posible establecer que los productores comenzaron esta transición motivados por generar un cambio en sus modelos de producción. Su búsqueda estuvo relacionada con revalorizar sus sistemas productivos, mediante una mirada holística en la cual la naturaleza vuelva a ser la protagonista.

En cuestiones de género todos los productores son hombres, jefes de familia y sus edades varían entre 40 y 62 años. Excepto uno de los productores que reside en su explotación agropecuaria, el resto lo hace en la ciudad de Guaminí. La proximidad de los establecimientos a esta localidad hace posible el trabajo diario en los campos. El cuanto a la tenencia de la tierra todas las explotaciones son de propiedad familiar, aunque hay casos donde se presentan distintas formas y responsabilidades jurídicas. En algunos casos, los productores cumplen el papel de empleados compartiendo la administración de los establecimientos con otros miembros de sus familias. La mayoría de los entrevistados sustentan sus explotaciones agropecuarias con actividades extraprediales, propias y del grupo familiar.

Respecto a la demanda de trabajo por la producción agropecuaria predomina el empleo de mano de obra propia y la contratación de empleados es temporaria, en función de las labores requeridas. El nivel de formación también es dispar. Este varía entre productores con formación universitaria y otros que poseen educación primaria. Solo dos de los entrevistados señalaron su participación en grupos, redes y asociaciones rurales. Los productores entrevistados señalan un bajo nivel de capacitación en temas vinculados a la agroecología, y la mayoría realiza prácticas autodidactas basadas en prueba y error.

Productor	Superficie (ha)	Tenencia de la tierra	Residencia	Actividades productivas	Mano de obra	Actividades extraprediales	Participación en redes, grupos y asociaciones
1	730	Propia	Ciudad	Ganadero-agrícola	1 empleado permanente	Sí	Sí
2	550	Propia	Campo	Ganadero-agrícola	2 empleados. 1 permanente y 1 temporal.	Sí	No
3	250	Propia	Ciudad	Ganadero-agrícola	2 empleados temporales.	Sí	No
4	100	Propia - arrendada	Ciudad	Chacra mixta	No posee	No	Sí
5	750	Propia - arrendada	Ciudad	Ganadero-agrícola	2 empleados. 1 hijo y un empleado permanente.	Sí	No

Tabla 1. Características de los productores rurales asociados a la transición agroecológica extensiva en el partido de Guaminí.

Fuente: elaboración propia.

Prácticas agroecológicas adoptadas en la transición

Los establecimientos involucrados en la transición presentaron sistemas de producción mixtos, ganadero-agrícolas, con planteos de ciclo completo: cría, recría y terminación (o “engorde”) de ganado bovino. Dentro de las prácticas adoptadas por los productores se destaca el aumento significativo en la implantación del cultivo de vicia (*Vicia villosa* Roth), el que por tratarse de una leguminosa todos los productores asocian con el incremento en la fertilidad del suelo. Otra de las prácticas realizadas es la consociación de cultivos: trigo con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y sorgo (*Sorghum* sp.) con vicia. En contraposición al proceso de agriculturización y simplificación de los agroecosistemas observado en la mayoría de la región pampeana (Alessandria *et al.*, 2001; Pengue, 2009), los establecimientos analizados presentaron mayor diversificación productiva. En este sentido se identificaron tres aspectos claves que se contraponen al modelo agropecuario dominante: aumento de la diversidad y complejización de los sistemas, aumento de la actividad apícola y disminución de la aplicación de antiparasitarios (Ivermectinas) (tabla 2).

Respecto a la heterogeneidad de establecimientos donde se está aplicando el enfoque agroecológico se observan distintas realidades productivas, desde un sistema de chacra mixta³ hasta sistemas ganadero-agrícolas extensivos, con diferentes planteos. Cada productor ha adoptado los principios agroecológicos de acuerdo a sus condiciones

prediales y según su visión, pero ninguno reportó problemas de adaptación de los principios generales de la agroecología.

En cuanto a la complejización, se identificaron: mayor relevancia de las tecnologías de procesos y menor importancia de las tecnologías de insumos; mayor necesidad de mano de obra y presencia del responsable del establecimiento para la toma de decisiones en tiempo y forma; modificación de los diseños parcelarios con aumento de subdivisiones necesarias para el pastoreo racional intensivo; mayor consideración de los ciclos naturales en los casos donde se plantea la integración de principios biodinámicos⁴; y mayor capacidad innovadora en las estrategias de manejo. En los casos de transición evaluados, es notable la necesidad de recuperación de antiguas prácticas (ej. adaptación y utilización de maquinaria desarrollada por los productores, control cultural de malezas) o generación y adaptación de nuevas prácticas que permitan la producción agroecológica en producciones extensivas de la región.

En cuanto al aumento de la actividad apícola, este es un sector que viene enfrentando graves problemas debido al avance de la frontera agropecuaria en el SOB (Tourn *et al.*, 2012). Varios productores remarcaron el potencial aumento de la carga con colmenas en los campos que emprendieron la transición, debido a la mayor presencia de flora apícola, y en algunos casos la existencia de corredores biológicos. El aumento de la actividad apícola en la región

³Chacra mixta es un planteo productivo de pequeña escala en tamaño que combina, en proporciones disímiles, la agricultura con la ganadería (INTA, 2015). Normalmente involucra varias actividades agropecuarias como el tambo, avicultura, porcicultura, agricultura, entre otras donde la mayor parte del trabajo es aportado por la familia.

⁴La agricultura biodinámica es un método de agricultura ecológica basado en las teorías de Rudolf Steiner, fundador de la antroposofía. Tiene como objetivo revitalizar la tierra, y en consecuencia a los cultivos, los animales y al ser humano, produciendo alimentos de la más alta calidad. Como en otras formas de agricultura ecológica, se evita el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas industriales (Asociación para la Agricultura Biológico-Dinámica, 2017).

Sistema de producción	Sistema actual dominante	Sistema de transición
Uso del suelo	Predomina agricultura Pocos cultivos en la secuencia Presencia de monocultivos Malezas	Predomina ganadería Rotaciones o modificaciones de secuencias de cultivos Consociación de cultivos Arvenses o "Buenazas"
Utilización de agroquímicos	Control químico de malezas Utilización creciente de insecticidas y fungicidas	Disminución del uso de agroquímicos Control mecánico de arvenses Se admite cierta presencia de malezas Control mediante pastoreo de arvenses No se controla la vegetación espontánea de zonas aledañas
Utilización de mano de obra	Desplazamiento de la mano de obra por máquinas de mayor ancho, de alto costo Pocas horas de mano de obra por hectárea	Proceso de producción con elevado uso de mano de obra (Ej.: intensificación del sistema parcelario)
Consideración de los ciclos naturales	Artificialización de la naturaleza	Mayor consideración de los ciclos naturales (Ej.: utilización de calendarios biodinámicos)
Actividades complementarias	Disminución de la apicultura	Aumento de la apicultura
Utilización de antiparasitarios	Aplicación de antiparasitarios por calendario	Mínimo uso de antiparasitarios y utilización según diagnóstico
Sistema parcelario	En caso de ganadería: pastoreo extensivo	Modificación del sistema parcelario para pastoreo intensivo

Tabla 2. Comparación del manejo actual dominante en la región y el sistema adoptado por los productores analizados.

Fuente: modificado a partir de Sarandón y Flores, 2014.

podría tener importantes beneficios por ser una actividad productiva con escaso efecto sobre el ambiente.

La disminución en el uso de antiparasitarios fue nombrada por varios productores. A pesar de que la mayoría los sigue utilizando, se plantea un uso racional de estos para llegar a la no aplicación.

DISCUSIÓN

Dificultades y desafíos en la transición agroecológica

Según Guzmán Casado y Alonso Mielgo (2007), las dificultades en la transición agroecológica se deben a la complejidad del proceso articulado en distintas escalas: establecimiento, sociedad local y sociedad mayor. Asimismo, según estos autores, este proceso se ve afectado por factores sociales, económicos, tecnológicos, culturales y ecológicos. Para el análisis de los factores que afectaron el proceso de transición en el área de estudio se procedió a su separación según dichas categorías.

En cuanto a los factores económicos, según Schwerdt y Cerdá (2015) la principal dificultad que poseían los productores que emprendieron la transición era la escala de producción y el acceso a la maquinaria para poder concretar algunas experiencias. La falta de maquinarias muchas veces dificulta las labores en los momentos precisos, factor de gran importancia en el manejo agroecológico. Sin em-

bargo, la mayor preocupación expresada por los productores en las entrevistas fue que no existen antecedentes de producciones agroecológicas extensivas en zonas subhúmedas o semiáridas que permitan tener información acerca del resultado económico de algunas experiencias concretas. Esta escasez de referencias y conocimientos al aplicar la propuesta agroecológica ya ha sido citada como una barrera a la implementación de la agroecología (Blesh y Wolf, 2014). Al respecto, varios productores resaltan la importancia de los establecimientos "La Aurora" y "Naturaleza Viva" (ambos fuera del suroeste bonaerense) como antecedentes de sistemas de producción agroecológica extensiva reconocidos a nivel internacional (FAO, 2015, 2016).

Respecto a los factores tecnológicos-ecológicos dos productores se vieron preocupados por la incidencia del "gramón" o "gramillón" (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) debido a la dificultad para su control y el aumento de su incidencia. Sin embargo, el "gramón" es considerado una arvense de difícil control también en sistemas de agricultura asociados al uso de agroquímicos, donde aumentó su dificultad de control, su incidencia y su resistencia a herbicidas (Ustarroz *et al.*, 2012). Según Schwerdt y Cerdá (2015) existe una tendencia en el grupo de productores a la utilización de la siembra directa, por lo que esta práctica podría ayudar a contrarrestar el avance de esta maleza. Una característica del "gramón" es que ocupa lugares con bajo contenido de materia orgánica, por lo que todas las prácticas de con-

servación que tiendan a aumentar el contenido de materia orgánica del suelo también ayudarían a contrarrestar la incidencia de esta especie espontánea.

Entre los factores culturales se puede nombrar la persistencia de la mirada del modelo agropecuario dominante, aún en productores con gran convencimiento de los principios agroecológicos. Dentro de los factores sociales el principal aspecto nombrado es que la transición agroecológica se está llevando a cabo mayoritariamente sin el respaldo de la gestión pública. Son escasas las experiencias o técnicos formados en la producción agroecológica y se han perdido muchos saberes de los productores locales, producto de la concentración de la tierra y desplazamiento de las producciones agropecuarias familiares. Un productor en particular nombró que otra debilidad para la adopción del manejo agroecológico a nivel regional sería la concentración de la tenencia y propiedad de la tierra.

Como aspectos positivos, los productores señalaron que ninguno de ellos abandonó el grupo. Asimismo, en la actualidad existen nuevos actores interesados en formar parte de esta experiencia. Al respecto, Schwerdt y Cerdá (2015) remarcan la importancia de mantener el grupo unido en el período de transición para evitar el desánimo frente a la dominancia del modelo industrial de producción y la falta de experiencias. Estos autores relataron el primer año de experiencias como positivo debido a rendimientos satisfactorios y análisis de costos favorables. Cada uno de los entrevistados resaltó el papel de la Municipalidad y en particular el compromiso del director de Medio Ambiente del partido de Guaminí.

Según Sevilla Guzmán *et al.* (2006) la consolidación de la transición dependerá de dos factores: en primer lugar, de un mayor conocimiento del funcionamiento de los agroecosistemas y validación de alternativas tecnológicas y, en segundo lugar, de la resolución de conflictos de intereses que dinamicen los procesos de resistencia, confrontación y finalmente adaptación social. Respecto al primer punto, en el suroeste bonaerense se cuenta con varias instituciones de educación e investigación como la Universidad Nacional del Sur (UNS), la Universidad Provincial del Sudoeste, la Universidad Tecnológica Nacional, el INTA, el CONICET y la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC) que podrían aportar el marco adecuado para la producción de conocimientos y adaptación de tecnologías que permitan el desarrollo de la agroecología en la región. Sin embargo, cabe destacar que para la investigación en agroecología sería importante un cambio radical en el enfoque de las investigaciones, con el desarrollo de otras metodologías como la Investigación Acción Participativa (IAP) (Guzmán y Alonso, 2007). Además, se resalta la importancia de la creación de organizaciones de productores ya que, en la mayoría de los casos, donde estas formas alternativas de producción prosperan es gracias al acompañamiento entre ellos. Así, para avanzar en un proceso de transición son necesarias políticas públicas y redes institucionales que estimulen y generen una estructura de sostén para la permanencia y sustentabilidad de estas experiencias. Respecto a este tema, en el año 2015

se comenzó a esbozar la idea de la formación de una red de agroecología en el sudoeste bonaerense (López y Duval, 2015). Sin embargo, hasta la actualidad no se ha avanzado en dicho proceso a pesar de que existen iniciativas de varios productores e instituciones de la región. Como antecedente se puede nombrar la Diplomatura en Agroecología dictada por la Facultad Regional de Trenque Lauquen (Universidad Tecnológica Nacional), donde asisten productores del SOB.

En cuanto a la necesidad de generar y recuperar conocimiento, sería necesario el estudio y recopilación de técnicas de aumento de la biodiversidad ya que se han perdido muchas estrategias de manejo debido a la simplificación de los agroecosistemas. Para el aumento de la biodiversidad sería necesaria la revisión de antiguas prácticas que actualmente se han dejado de utilizar así como la adaptación de nuevas técnicas de cultivo. Dentro de estas técnicas se puede nombrar: recupero de variedades, técnicas de siembra con cultivos acompañantes, mezcla de variedades, policultivos, distribución de lotes, fechas de siembra, secuencias de cultivos, entre otras. Otro aspecto muy importante en la transición agroecológica es la sustitución de insumos (Gliessman *et al.*, 2007). Dicha sustitución puede ser por otros insumos que son generados en la región o en el establecimiento o por tecnologías de procesos. Estas últimas tendrían una dificultad mayor de aplicación ya que más que un costo económico tienen un costo intelectual, siendo su adopción más dificultosa (Resch, 2003). Ejemplos de estas prácticas pueden ser: espaciamento y densidad de cultivos, rotaciones y adaptación de nuevos cultivos, desarrollo de nueva maquinaria, monitoreo de plagas, mejorar el momento de las labores, etc. Si bien estas prácticas no significan una conversión del sistema, se debe reconocer que, en la agricultura actual, este paso representaría una modificación fundamental para iniciar cambios a otros niveles.

CONCLUSIONES

El planteo de la transición agroecológica en el partido de Guaminí fue un importante impulso para sentar un precedente en la región de producciones extensivas en regiones semiáridas. La transición agroecológica presentó importantes diferencias con el sistema productivo actual, como el aumento de la ganadería y una mayor complejización de los sistemas productivos respecto al sistema dominante. Los casos analizados en esta experiencia fueron muy diferentes unos de otros, por lo cual no fue posible asociar una tipología de productor a la transición agroecológica observada. Sin embargo, la permanencia en el grupo de todos los actores que emprendieron la transición demuestra la posibilidad de incorporar los principios agroecológicos en producciones extensivas del SOB. Estos principios serían aplicables en diferentes situaciones productivas, desde una chacra mixta de 100 ha hasta producciones ganadero-agrícolas de 700 ha.

Las principales dificultades para el desarrollo de planteos agroecológicos en la región semiárida pampeana serían en primer lugar la escasez de antecedentes y, en segundo lugar, el acceso a maquinaria y tierra. En estas experiencias

sería necesario y prioritario un mayor apoyo del Estado, así como el avance en nuevas líneas de investigación y acción participativa. En este sentido, el Estado debería cumplir un rol fundamental durante el período de transición, incentivando estas prácticas y desalentando la implementación de prácticas no sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ALESSANDRÍA, E.; LEGUIA, H.; PIETRARELLI, L.; SÁNCHEZ, J.; LUQUE, S.; ARBORNO, M.; ZAMAR, J.L.; RUBIN, D. 2001. La agrodiversidad en sistemas extensivos. El caso de Córdoba. *LEISA* 16, 0-11.
- ALTIERI, M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19-31.
- ALTIERI, M. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93, 1-24.
- ASOCIACIÓN PARA LA AGRICULTURA BILÓGICO-DINÁMICA. 2017. Calendario biodinámico para la planificación del agricultor. (Disponible: www.aabda.com.ar verificado: abril 2018).
- BLESH, J.; WOLF, S. 2014. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. *Agric Hum Values* 31, 621-635.
- CAMPO, A.; RAMOS, M.; ZAPPERI, P. 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste bonaerense, Argentina. *xii* Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo.
- FAO. 2007. La agricultura y el Desarrollo rural sostenible y la Agroecología. (Disponible: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/336200/> verificado: abril 2017).
- FAO. 2014. Scaling up agroecological approaches: what, why and how? *Oxfam-Solidarity*. Bélgica. 83 p.
- FAO. 2015. Final Report for the International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition. (Disponible: <http://www.fao.org/publications/card/es/c/4e651e91-f75d-4599-9dde-f70e3f26e1de/> verificado: abril 2017).
- FAO. 2016. 52 Profiles on Agroecology: La Aurora. (Disponible: <http://www.fao.org/3/a-be861s.pdf> verificado: junio 2017).
- GABELLA, J. 2014. Gestión territorial y degradación ambiental en áreas rurales de la Diagonal Árida Templada Argentina. Partido de Patagones, provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca. 233 p.
- GABELLA, J.; ÁLAMO, M. 2015. La agroecología como alternativa productiva en el suroeste bonaerense: una mirada crítica al modelo agropecuario argentino. *ix* Jornadas interdisciplinarias de estudios agrarios y agroindustriales argentinos y latinoamericanos, Buenos Aires. 13 p.
- GABELLA, J.; CAMPO, A. 2016. Fragilidad y degradación ambiental en áreas rurales de la diagonal árida templada argentina. *Estudios Geográficos* 281, 491-519.
- GABELLA, J.; GIL, V.; DEL POZO, O. 2009. Historia Ambiental del área rural de Pelicurá, sobre la base de registros pluviométricos. Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía* 18, 81-104.
- GABELLA, J.; ZAPPERI, P.; CAMPO, A. 2010. Distribución estacional de las precipitaciones en el Suroeste Bonaerense. *vii* Jornadas Nacionales de Geografía Física de la República Argentina, Posadas. 87-94 pp.
- GABER, J.; GABER, S. 2007. Qualitative analysis for planning & policy. Beyond the numbers. *Planners press*, American Planning Association. Chicago, Illinois, 165 p.
- PAUL, J. 1996. Between Method Triangulation. *The International Journal of Organizational Analysis*. Vol. 4, N.º 2, 135-153 pp.
- GIL, V.; ZAPPERI, P.; CAMPO, A. 2008. Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense. *vii* Jornadas de Geografía Física de la República Argentina, Santiago del Estero. 12 p.
- GLAVE, A. 2006. Influencia climática en el sudoeste bonaerense y sudeste de la pampa. (Disponible: www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/29_clima_sudoeste_bonaerense.pdf verificado: febrero de 2014).
- GLIESSMAN, S.; ROSADO-MAY, F.; GUADARRAMA-ZUGASTI, C.; JEDLICKA, J.; COHN, A.; MENDEZ, V.E.; COHEN, R.; TRUJILL, L.; BACON, C.; JAFFE, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16 (1), 13-23.
- GUZMÁN CASADO, G.; ALONSO MIELGO, A. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas* 16 (1), 24-36.
- IERMANÓ, M.; SARANDÓN, S. 2016. Rol de la agrobiodiversidad en sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril en la Región Pampeana, Argentina. Su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Brasileira de Agroecologia* 11(2), 94-103.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC). 1988. Censo Nacional Agropecuario. INDEC: Buenos Aires.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC). 2002. Censo Nacional Agropecuario. INDEC: Buenos Aires.
- INTA. 1988. Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires, Escala 1:500.000. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA: Buenos Aires. 533 p.
- INTA. 2015. Somos la Tierra: Historias y retratos de la agricultura familiar en la Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires. 320 p.
- KREMEN, C.; ILES, A.; BACON, C. 2012. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. *Ecology and Society* 17 (4), 44.
- KRÜGER, H. 2013. Sustentabilidad. Interpretación conceptual y problemas observados en el Centro y Sur de la provincia de Buenos Aires. *Publicaciones Regionales INTA* 19, 29.
- LOEWY, T. 2015. Ruralidad y Desarrollo en Argentina. *Estudios Rurales* 5 (9), 141-150.
- LÓPEZ, F.; DUVAL, M. 2015. Propuesta de Formación de una Red de Experimentación en Agroecología Extensiva en el Sudoeste Bonaerense. *Memorias del v Congreso Latinoamericano de Agroecología*. La Plata.
- LÓPEZ CASTRO, N. 2013. La producción familiar en el SO bonaerense de las últimas décadas: claves productivas de su persistencia (Puán y Adolfo Alsina, 1988-2012). *Huellas* N.º 17, 187-193.
- MARINI, F. 2007. Determinación del uso de la tierra en el partido de Guaminí (Argentina) mediante un estudio multitemporal con imágenes Landsat. *Revista de Teledetección* 27, 80-88.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2016. (Disponible: http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/ar_eas/estimaciones/distribucion/cf201516/buenosaires/pigue.php verificado: mayo de 2016).
- PENGUE, W. 2001. Impactos de la expansión de la soja en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: un modelo para armar. *Biodiversidad* 29, 7-14.
- PENGUE, W. 2009. Cuestiones económico ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. *Problemas del Desarrollo*, *Revista Latinoamericana de Economía* 40 (157), 137-161.
- PICARDI, M.S.; GIACCHERO, A. 2015. Productividad de la tierra agrícola en el sudoeste bonaerense. *Estudios Económicos* xxxii (65), 73-95.

RESCH, G. 2003. La sustentabilidad como contexto productivo. Ediciones INTA. Córdoba.

SARANDÓN, S.; FLORES, C. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

SCHWERDT, M.; CERDÁ, E. 2015. Desarrollo de las primeras experiencias en cultivos agroecológicos extensivos impulsadas desde el estado municipal en Guaminí, provincia de Buenos Aires. Memorias del v congreso latinoamericano de agroecología. La Plata.

SEVILLA GUZMÁN, E.; OTTMANN, G.; GONZALEZ DE MOLINA, M. 2006. Los marcos conceptuales de la Agroecología. Ed. Bagaço. Recife. 156 p.

SOUZA CASADINHO, J. 2014. La agroecología: bases científicas, historia local y estrategias productivas en la construcción de un espacio de desarrollo integral, ético y humano. Ediciones INTA. Buenos Aires.

TOURN, E.; MARCONI, A.; IACONIS, D.; GALLEZ, L. 2012. Importancia socio-productiva de la apicultura en la región de influencia del INTA EEA Bordenave. AgroUNS 18,18-22.

USTARROZ, D.; MAZZINI, P.; RAINERO, H. 2012. Avances en el manejo de *Cynodon hirsutus* resistente a glifosato. Ediciones INTA. Buenos Aires.

YIN, R. 2003. Case study research: design and methods. 3.ª ed. Sage Publications, Inc. California. 166 p.

ZOTELO, C. 2011. Variabilidad Climática y Ciclos Naturales. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.

ANEXO

Entrevistas realizadas a los productores de Guaminí involucrados en la experiencia de transición agroecológica

Algunas declaraciones realizadas por los productores permiten visualizar otras motivaciones para el empleo de prácticas agroecológicas: “No me imagino vivir en el campo con olor a producto”. “No lo pensé como algo económico”. “Antes se pensaba en lo de arriba, ahora se piensa en la tierra”. “Quiero aprender a comprender un poco más los procesos de la vida del suelo”. (Entrevistas realizadas por los autores a tres productores agropecuarios en la ciudad de Guaminí y en establecimientos agropecuarios del partido, el 23 de abril de 2016). En este sentido algunos de los productores entrevistados consideraron a la agroecología como “Una forma de vida” o “una decisión que pasa a ser una filosofía de vida, estamos descubriendo cosas permanentemente”.

El grupo es heterogéneo en cuanto a las variables analizadas en este trabajo. Las situaciones personales, las motivaciones, la formación académica, el tipo de manejo, la extensión de los establecimientos, la utilización de mano de obra y el perfil productivo de cada uno de ellos fueron diferentes. A pesar de ello, todos los actores involucrados comparten algunos elementos comunes como el deseo por producir de manera diferente al modelo predominante y en función de sus orígenes, todos los entrevistados poseen un vínculo con el espacio rural, asociado a las actividades agropecuarias y caracterizado por un sentido de pertenencia que ha generado el arraigo a la tierra. A continuación un

extracto de una entrevista realizada a uno de los productores en su chacra mixta evidencia este apego por el espacio rural: “Si yo pienso en números y con la cabeza, me tengo que ir del campo, vender todo y dedicarme a otra cosa, pero no quiero hacerlo, me gusta acá, este lugar es lo que soy, lo que me gusta”. (Entrevista realizada por los autores a productor agropecuario en su explotación en el partido de Guaminí, el 25 de junio de 2016). Otro aspecto para destacar fue que todos los productores involucrados en la transición aceptaron conocer otras formas de producción llamadas normalmente “alternativas”. Este aspecto resalta la apertura de estos a nuevas ideas y la existencia de un paradigma diferente al modelo agropecuario actual.

Esto se evidencia en algunas de las citas extraídas de las entrevistas donde se expresaron incertidumbres sobre la no aplicación de agroquímicos. “Hoy no fumigo ni fertilizo pero tengo dudas”. “Es un camino el que tenés que hacer, de un día para el otro no se puede no aplicar nada”. (Entrevista realizada por los autores a dos productores agropecuarios en sus explotaciones en el partido de Guaminí, el 23 de abril y el 25 de junio de 2016). Otro aspecto para destacar es que los productores se refieren al modelo agropecuario asociado al uso de agroquímicos como el “modelo convencional” evidenciando el profundo avance de los principios de la agricultura industrial.

Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings

LLANES, A.¹; IPARRAGUIRRE, J.¹; MASCIARELLI, O.¹; MARIA, N.¹; LUNA, V.^{1*}

RESUMEN

Las fitohormonas tales como giberelinas, auxinas y citoquininas son compuestos promotores del crecimiento que, adicionados a fertilizantes foliares, podrían contribuir a mejorar el crecimiento y desarrollo de la planta. Este trabajo fue realizado para evaluar los efectos de la aplicación de fitohormonas exógenas, tanto solas como en mezclas, en leguminosas y gramíneas creciendo en cámaras con condiciones controladas de humedad, temperatura y ciclos de luz/oscuridad. La aplicación de fitohormonas ocasionó una considerable mejora en el crecimiento de plantas de soja y maíz. El formulado a base de la mezcla de fitohormonas, cada una en la concentración mínima requerida para lograr un efecto cuantificable, permitió mejorar significativamente las variables de crecimiento consideradas de importancia para aumentar la productividad. Así, la adición de esta mezcla de fitohormonas a productos comerciales utilizados como fertilizantes para aplicaciones foliares podría mejorar el crecimiento y rendimiento en leguminosas y gramíneas.

Palabras clave: fertilizante foliar, maíz, fitohormonas, crecimiento vegetal, soja.

ABSTRACT

Phytohormones such as gibberellins, auxins and cytokinins are plant growth promoting factors which added to foliar fertilizers can modulate plant growth and development of agricultural species. This work was performed to study the effects of exogenously applied phytohormones both alone and in mixtures, on a legume and a cereal growing in chambers with controlled conditions of humidity, temperature and light/dark cycle. It was found that application of phytohormones resulted in a considerable increase in growth of soybean and maize plants. The mixture of phytohormones formulated with the lowest concentration of each required to enhance plant growth, allowed a significant improvement on several growth parameters involved in productivity. Thus, the addition of this mixture to commercial products as foliar fertilizers may render potential improvement of legume and cereal yields.

Keywords: foliar fertilizer, maize, phytohormones, plant growth, soybean.

¹Universidad de Río Cuarto, Departamento de Ciencias Naturales, Laboratorio de Fisiología Vegetal, Ruta 36 km 601, (C.P. X5804ZAB) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

*E-mail: allanes@exa.unrc.edu.ar, vluna@exa.unrc.edu.ar

INTRODUCTION

The central zone of Argentina is a wide plain of fertile soils with a relatively short farming history (Restovich *et al.*, 2012). Until the early 1980s, crop production increased through expansion on uncultivated lands, but during the last three decades additional increases were achieved through more intensive use of external inputs, technology and management (Tomei and Upham, 2009). Agricultural intensification advanced via warm-season crops, specially soybean and maize. Nowadays, soybean production accounts for more than 50% of the area cultivated with grains, concentrated in the provinces of Santa Fe, Buenos Aires, Entre Ríos and Córdoba and Argentina is ranked as the third country in maize production (FAO, 2016).

The need to feed a growing global population exerts a constant pressure on crop production. One of the techniques available to increase crop production is foliar fertilization, used to complement soil supply or to correct deficiencies during crop development (Chen, 2006). The addition of plant growth regulators (“hormones”) to foliar commercial fertilizer has been available for a number of years, and recently there has been a renewed interest. Plant hormones contained in commercial foliar fertilizers are gibberellins, auxins such as indole butyric acid (IBA) and cytokinins such as benzylamino purine (BAP). Gibberellic acid (GA3) is the gibberellin most used to promote cell elongation and seed germination. Several studies have confirmed the GAs role for plant growth and development (Depuydt *et al.*, 2016). Auxins and cytokinins are similarly involved in plant development. The effects of each phytohormone may depend on the concentration or activity of another, which is known as a cross signaling (cross-talk) mechanism (Jones *et al.*, 2012). Thus, the mixture of different hormones applied as foliar fertilizers may cause detrimental or beneficial effects to the plant. Rukasz and Michalek, (2004) showed that the different plant hormones such as GAs auxins and cytokinins elicited responses such as tillering enhancement and increased developmental rate and in many cases the responses are dependent on the cultivars under study. In addition, the application of phytohormones to foliar fertilizers has the potential to complement such formulations, triggering signals cascades that allow a better availability of these nutrients and their translocation to demanding sites. However, knowledge about the appropriate doses of each compound and/or hormonal mixtures to be applied for optimum growth used in foliar fertilizer is not clear. Indeed, it is also difficult to know how a plant might respond to phytohormones applied used as foliar fertilizer at early vegetative stages, since tissue sensitivity may vary among species and limits between benefit or injury are strictly dose-dependent. Thus, the aim of this study was to help developing a foliar formulation based on the lowest concentration of phytohormones necessary to enhance growth in soybean and maize plants.

MATERIALS AND METHODS

Seeds of *Glycine max* and *Zea mays* were sown in pots (300 cm³) filled with a sterilized clay-loam substrate (200 °C

for 24 h). Six seeds of each species were sown per pot, and pots were placed in chambers with controlled conditions of humidity, temperature and cycle of light/dark (16 h light of 200 µmol m⁻² sec⁻¹ at 28 °C/ 8 h dark at 20 °C, 80% RH). Six pots, three for each species, were used as subsamples for each treatment, irrigated with nutrient solution (Hoagland 25%) throughout the growing season. Each treatment was replicated 4 times in a randomized design.

Two applications were performed by foliar spray to each plant at 15 and 22 days after sowing; physiological growth parameters were measured 72 h after the second application. Two different concentrations of each hormone were applied: GA3 at a concentration of 5 (GA+) and 0.5 mg/l (GA); IBA (indolebutyric acid) also at 5 (IBA+) and 0.5 mg/l (IBA), FAP (furfurilamino purine) at 900 ng/l (FAP+) and 90 ng/l (FAP), and BAP (benzylamino purine) at 900 (BAP+) and 90 ng/l (BAP). Plants were sprayed with distilled water (DW) as a negative control. A commercial product (CP) with a similar composition was used for comparison: it contained 5 mg/l of GA3 and 9 mg/l of FAP and BAP (Stoller, Córdoba, Argentina).

A mixture of all the hormone solutions was obtained by using the lowest concentrations employed in the individual treatments (M), i.e. 0.5 mg/l of GA3 and IBA and 90 ng/l of BAP and FAP. Hormones were obtained from Sigma Chemicals (St. Louis, USA).

Shoot height, root length, first internode length and leaf area were evaluated 72 h after the second application in both species. Roots and shoots from control and inoculated plants were separated and their fresh weight (FW) recorded. Samples were dried in an oven at 70 °C until constant dry weight (DW) was obtained. FW and DW were expressed as grams of shoot or root per plant (g plant⁻¹). Dry matter content (%) was calculated as DW/FW *100 for root and shoot per each plant.

Content of total chlorophyll in leaves of each species was assessed using a chlorophyllometer (Hansatech CL-O1, Hansatech Instruments Ltd, Norfolk, UK) and stomatal conductance with a leaf porometer (Decagon Devices, Pullman, WA, USA) in response to different treatments: hormones at each dosage, negative control (distilled water or DW), positive control (commercial product or CP) and the mixture of hormones (M).

Data were statistically analyzed using InfoStat (InfoStat software version 2016, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina). Significant effects of hormonal treatments on plant growth and biomass production were assessed by analyses of variance (ANOVA) as a completely randomized design. Significant differences among treatments were calculated by the use of pair-wise comparisons with Duncan's test ($p < 0.05$).

RESULTS

No significant differences were observed on shoot height in maize plants sprayed with the highest concen-

tration of phytohormones in comparison with the negative controls. However, when maize plants were sprayed with a low concentration, the shoot height significantly increased reaching the values of positive controls (Figure 1). The concentrations of each hormone used in this study did not show statistically significant differences in the following parameters: root length, internode first length, and leaf area in comparison with the negative controls (data not shown). Figure 1 also shows that the different treatments with

phytohormones were effective on shoot height promotion in soybean plants in comparison with the negative controls.

Regarding soybean, and independently of the GA concentration used, an increase on shoot height was observed as compared to negative controls (distilled water). On the contrary, only the lowest concentration of IBA, FAP and BAP sprayed had a significant increase on the shoot height as compared to negative controls. Soybean root length, internode first length, and leaf area were not modified with

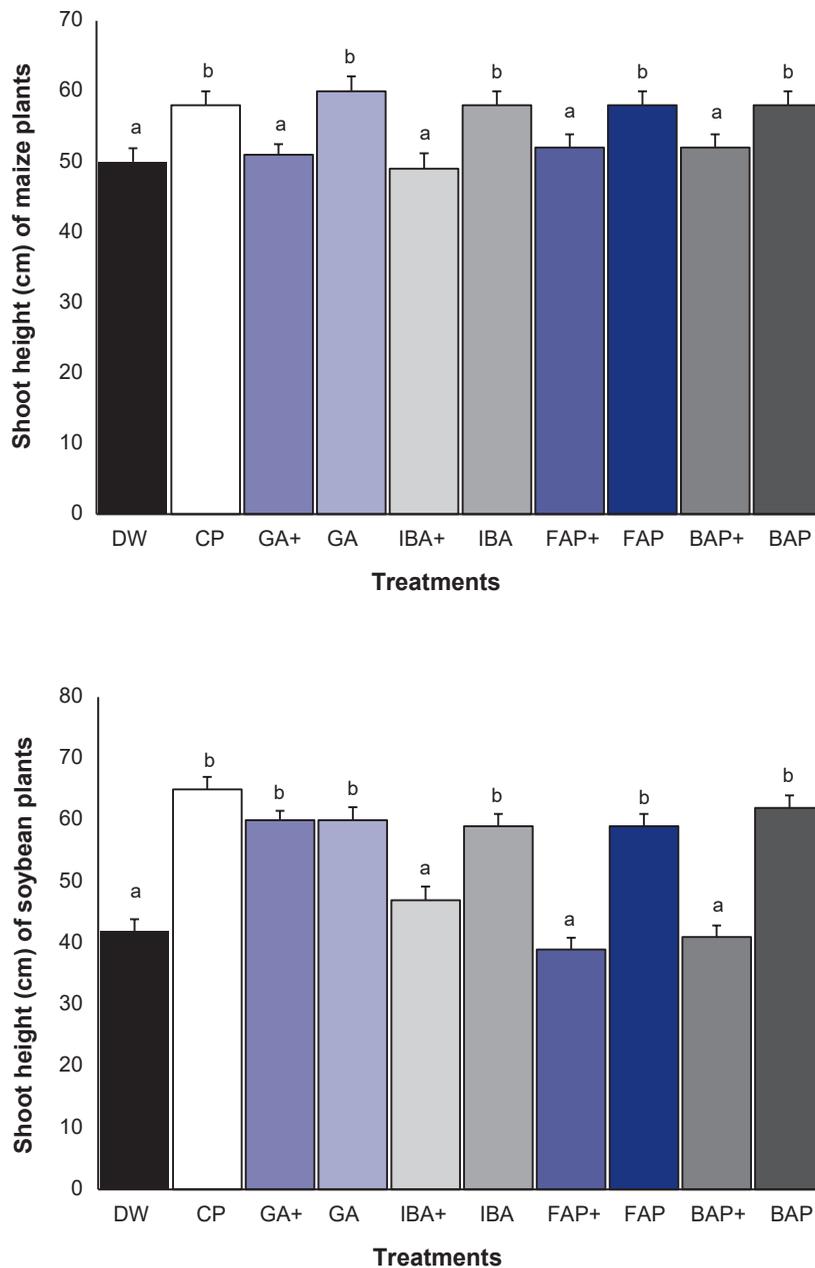


Figure 1. Effect of different phytohormones on shoot height in maize and soybean seedlings. DW (negative control, distilled water), CP (positive control, commercial product), GA+ (GA3: 5 mg/l), GA (GA3: 0.5 mg / l), IBA+ (IBA: 5 mg/l), IBA (IBA: 0.5 mg/l), FAP+ (FAP: 900 ng/l), FAP (FAP: 90 ng /l), BAP+ (BAP: 900 ng/l) and BAP (BAP: 90 ng /l). Data were from four replicated experiments (total n=30 plants per treatment), and represent means± S.E. Different letters above data indicate significant differences within species (P < 0.05).

respecto to neither concentrations of each hormone used in this study (data not shown).

The high GA concentration did not increase chlorophyll content in any of the two species as compared to negative controls, but the lowest concentration increased it, reaching the values obtained with positive controls (Table 1). Remarkably, the BAP and FAP treatments significantly increased the chlorophyll content as compared to positive controls. Stomatal conductance in both maize and soybean plants was not modified by treatments (data not shown).

As shown in Figure 2, the mixture obtained with the lowest concentrations of hormones promoted shoot growth in both species. The values obtained with the mixture exceeded those registered with positive controls.

A significant increase in dry matter content in response to the mixture of phytohormones was observed for soybean roots (Figure 3). Instead, shoot dry matter content increased in both species respective to negative controls and soybean plants also showed a significant increment as compared with positive controls. The general aspect of soybean plants treated with the mixture of phytohormones is shown in Figure 4.

DISCUSSION

Phytohormones cause physiological and morphological changes that are dependent on their concentrations, tis-

sue sensitivity and species involved. Results of this study demonstrated that foliar application of phytohormones can enhance growth in soybean and maize. Plant growth regulators can stimulate, inhibit, or otherwise alter plants' physiological processes depending on concentration (Santner and Estelle, 2009). In this study, the foliar application of phytohormones had different effects depending of their concentration, being the lowest concentration which provoked height enhancement. Furthermore, root growth of both, soybean and maize, was not affected by foliar applications of hormones whereas shoot growth was positively affected. The observed increases in shoot growth were paralleled by an increase in dry matter, suggesting a change in tissue anatomy that would make shoots as physically resistant and perhaps more tolerant to both biotic and abiotic stress. BAP and FAP treatments significantly increased the chlorophyll content as compared to positive controls, independently of the concentration sprayed. This response may be associated to the effect of cytokinins on primary metabolism. It has been shown that a useful effect of cytokinins spraying is the delay of leaf yellowing due to a postponement of leaf senescence. Therefore, this phytohormone has potential uses such as to increase crop productivity, to prolong post-harvest storage, and to increase stress tolerance (Hirayama and Shinozaki, 2010; Iqbal and Ashraf, 2013).

The addition of inorganic nutrients to complement the hormone mixture could help to achieve better availability

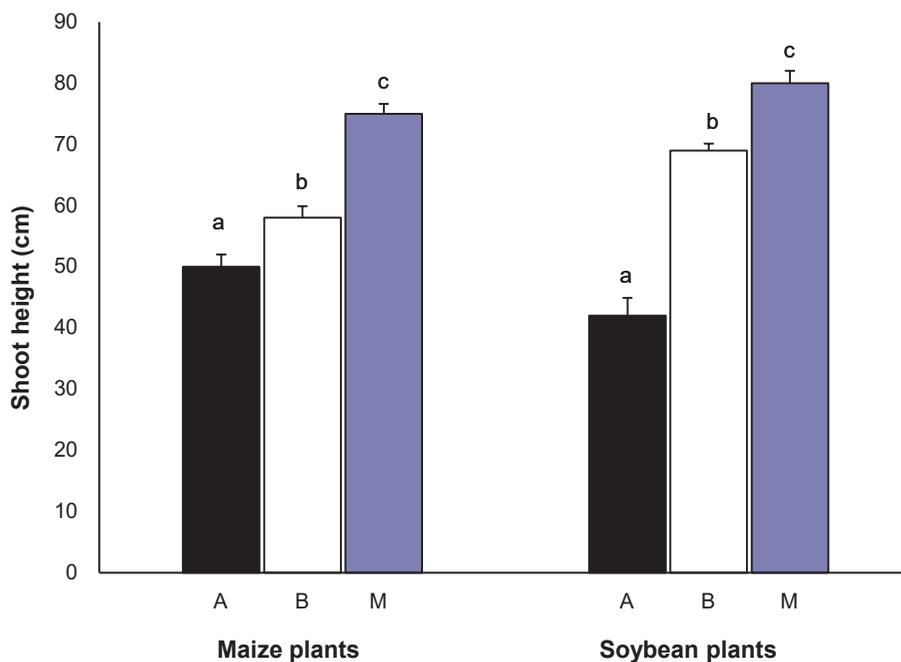


Figure 2. Effect of different treatments on shoot height in maize and soybean plants. WD: negative control (distilled water), CP: positive control (commercial product) and M: mixture of GA3, IBA, BAP and FAP in low concentrations. Bars represent means \pm S.E. Different letters above data indicate significant differences within species ($P < 0.05$).

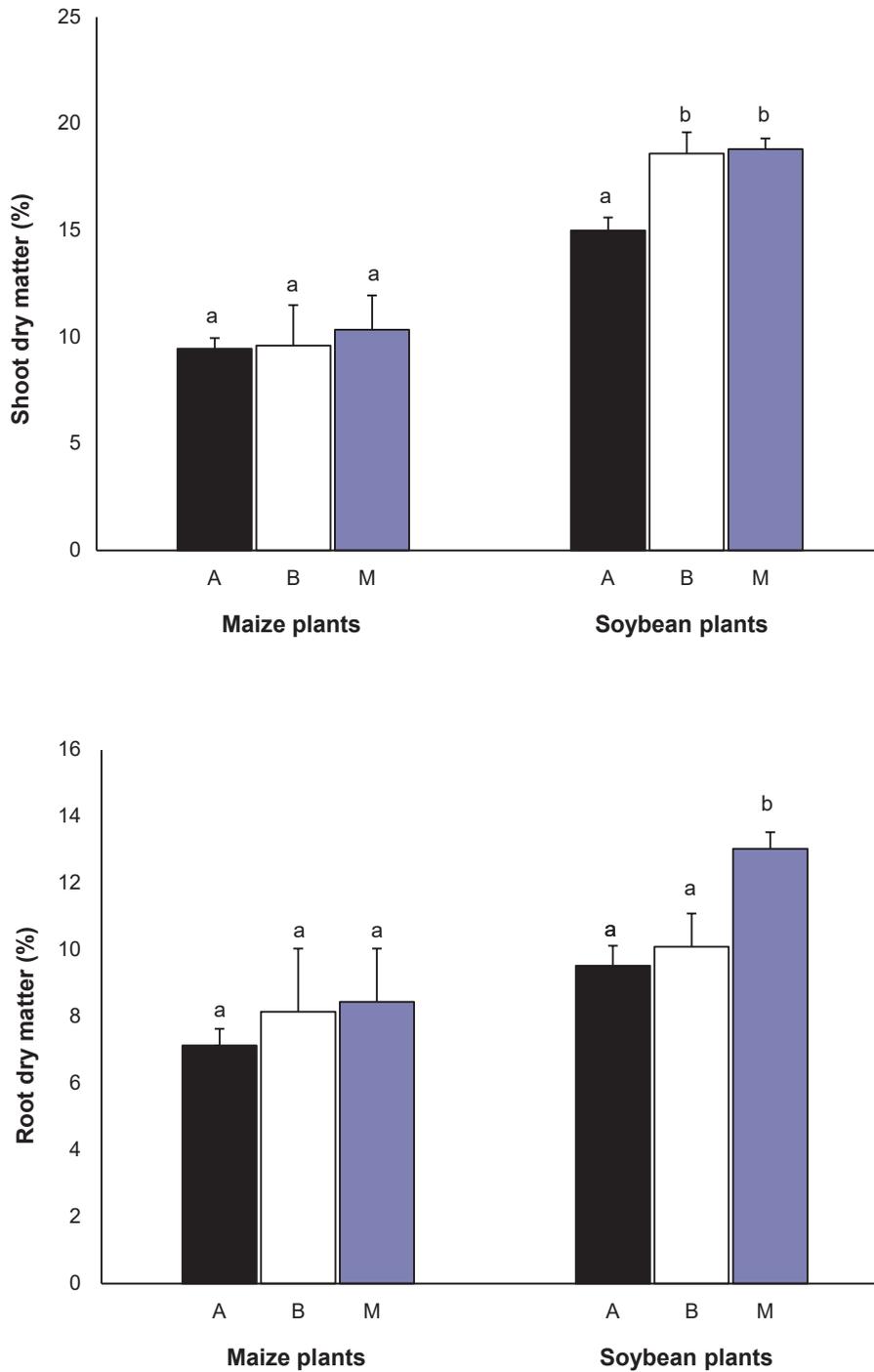


Figure 3. Shoot and root dry matter content in maize and soybean plants. Treatments: DW: negative control (distilled water), CP: positive control (commercial product) and M: mixture of selected phytohormones. Bars represent means \pm S.E. Different letters above data indicate significant differences within species ($P < 0.05$).

of nutrients favoring rapid absorption and accelerating its translocation to the sites of increased requirement. Such a fertilizer would improve plant growth by triggering specific physiological processes, increasing plant size and performance (Beaton and Nelson, 2005). Our results suggest that the formulation found to be more effective in this work

could be applied to other economically important species to increase productivity. Further studies with various horticultural species should be conducted to test this proposal. Also, the time of application within the plant life cycles, as well as responses of different cultivars are variables to be analyzed.

CONCLUSIONS

The present work was carried out to obtain a formulation based on the lowest concentration of phytohormones necessary to enhance plant growth, to be employed in foliar application. The balanced formulation applied significantly improved physiological parameters of plants that are important to enhance productivity. Thus, it would be expected that this type of fertilization could help ensuring plant establishment under field conditions, and even perhaps an increased productivity in terms of number of seeds, physiological maturity and seed filling. Finally, the use of this formulation for commercial products as foliar fertilizers provides a potential tool for legumes and grasses productivity improvement with a more efficient use of the product itself, saving money and reducing potential environmental impacts thanks to fewer losses.

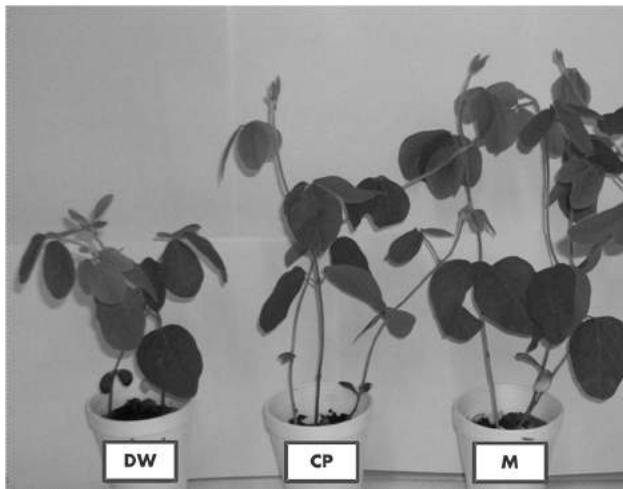


Figure 4. Effect of mixture of selected hormones on growth in soybean plants. DW: negative control (distilled water), CP: positive control (commercial product) and M: mixture of low-concentration selected phytohormones.

REFERENCES

- BEATON, J.D.; NELSON, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall Press.
- DEPUYDT, S.; VAN PRAET, S.; NELISSEN, H.; VANHOLME, B.; VEREECKE, D. 2016. How plant hormones and their interactions affect cell growth. *Molecular Cell Biology of the Growth and Differentiation of Plant Cells*, 174.
- FAO, 2016 FAO: FAOSTAT Statistical Database Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (2016) Available at: <http://faostat.fao.org>, Accessed April 2018.
- HIRAYAMA, T.; SHINOZAKI, K. 2010. Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: Past, present and future. *The Plant Journal* 61, 1041-1052.
- IQBAL, M.; ASHRAF, M. 2013. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany* 86, 76-85.
- JONES, D.L.; ROUSK, J., EDWARDS-JONES, G.; DELUCA, T.H.; MURPHY, D.V. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry* 45, 113-124.
- PANICHELLI, L.; DAURIAT, A.; GNANSOUNOU, E. 2009. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14, 144-159.
- RESTOVICH, S.B.; ANDRIULO, A.E.; PORTELA, S.I. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research* 128, 62-70.
- RUKASZ, I.; MICHALEK, W. 2004. Effect of foliar application of phytohormones on barley yielding. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio E Agricultura (Poland)*.
- SANTNER, A.; ESTELLE, M. 2009. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling. *Nature* 459, 1071-1078.
- TOMEI, J.; UPHAM, P. 2009. Argentinean soy-based biodiesel: An introduction to production and impacts. *Energy Policy* 37, 3890-3898.

Treatments	Total chlorophyll (CU) of maize plants	Total chlorophyll (CU) of soybean plants
DW	6.34 a	9.03 b
CP	8.32 b	9.13 b
GA+	6.09 a	8.7 b
GA	8.9 b	10.2 b
IBA+	11.4 c	10.4 b
IBA	11.5 c	10.5 b
FAP+	11.3 c	11.4 c
FAP	11.5 c	11.9 c
BAP+	11.4 c	10.7 b
BAP	11 c	11.4 c

Table 1. Chlorophyll content in maize and soybean plants.

Different letters above data indicate significant differences within species ($P < 0.05$).

Calidad de frutos y maduración en naranjo dulce ‘Valencia Late’ [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] cv Limeira, sobre diferentes portainjertos

CHABBAL, M.D.¹; GIMÉNEZ, L.I.²; MAZZA, S.M.²; RAMIREZ, M.D.J.¹; RODRÍGUEZ, V.A.¹

RESUMEN

Para responder a las exigencias de los mercados mundiales es necesario la búsqueda permanente de portainjertos que confieran calidad a los frutos y maduración anticipada. El objetivo de este trabajo fue caracterizar plantas de naranjo dulce ‘Valencia late’ injertadas sobre 17 portainjertos, según atributos de calidad de frutos y precocidad de la maduración e identificar grupos de similares características. En un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones, se probaron combinaciones de naranjo dulce ‘Valencia late’ con 17 portainjertos. Al momento de la cosecha se seleccionaron al azar 15 frutos y se determinaron las siguientes variables: DE, GC, PJ, SST y ATT %, también se calculó el IM. Mediante un análisis de componentes principales, gráfico biplot y análisis de la varianza multivariado se pudieron agrupar los 17 portainjertos estudiados en cuatro grupos de acuerdo con la anticipación en la maduración. El grupo que más anticipa la cosecha se caracterizó por tener frutos con altos IM y contenidos de SST y menor ATT %; el segundo presenta frutos con altos PJ y contenidos de SST y, pero también alta ATT %; el tercero contiene los frutos con los mayores GC, los menores valores de PJ, SST, ATT % y valores intermedios para IM y DE; el grupo de menor anticipación se caracterizó por frutos con mayor ATT %, menores valores de IM y DE y valores intermedios de las otras variables.

Palabras clave: cítricos, calidad, análisis multivariante.

ABSTRACT

*In order to respond the demands of world markets, the constantly searching of rootstocks is required. The aim of this study was to characterize plants of sweet orange ‘Valencia Late’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] grafted on 17 rootstocks in Entre Rios, Argentina, according to fruit quality and early harvest. In a completely randomized design with six replications, combinations of sweet orange ‘Valencia Late’ with 17 rootstocks were tested. At harvest time, on 15 randomly selected fruits, following variables: equatorial diameter, rind thickness, juice percentage, soluble solids and titratable acidity were determined, and maturity index was calculated. By Principal Component Analysis, Biplot graphic, Multivariate Analysis of Variance, the 17 rootstocks studied were classified into four groups according with the early harvest. The earliest group was characterized by fruits with larger diameter, high maturity index and contents of total soluble solids and lower acidity; the second one present fruits with high percentages of juice and soluble solids content, but also higher titratable acidity; the third one contains fruits with the largest shell thicknesses, the lowest values of percentage of juice, total solu-*

¹Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Fruticultura. Sargento Cabral 2131, CP (3400) Corrientes, Argentina. Correos electrónicos: marc.chabbal@gmail.com; ramirez.amv@gmail.com; cocorodriguez@live.com.ar

²Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Cálculo Estadística y Biometría. Sargento Cabral 2131, CP (3400) Corrientes, Argentina. Correos electrónicos: smmazza@unne.edu.ar; lauraitatigimenez@gmail.com

ble solids and titratable acidity and intermediate values for maturity index and equatorial diameter; the last one is characterized by fruits with higher titratable acidity, lower values of index of maturity and equatorial diameter and intermediate values in other variables.

Keywords: citrus, precocity, multivariate analysis.

INTRODUCCIÓN

Los mercados de la citricultura mundial son cada vez más competitivos, esto exige a los productores el incremento de la eficiencia y de la productividad de sus huertos para aumentar su rentabilidad. El uso de portainjertos le confiere al cultivar características importantes como calidad interna y externa a los frutos y anticipación o retraso en la maduración, por lo que, en las diferentes regiones cítricas se requiere la constante búsqueda de portainjertos apropiados (Palacios, 2005).

El trifolio [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] es uno de los portainjertos más ampliamente utilizados en la región del noreste argentino, induce frutos de gran tamaño y peso, alto porcentaje de jugo y de sólidos solubles (Hussain *et al.*, 2013). Sus híbridos, el citrandarin 'Sunky' [*Citrus sunki* (Hort.) ex Tan. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] y los citranges [*C. sinensis* (L.) Osb. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] se caracterizan por inducir alta producción y en la madurez frutos de buena calidad, con altos tenores de sólidos solubles (Pompeu y Blumer, 2009). El citrange 'Carrizo' produce frutos de bajo peso, firmeza y acidez, buen color, alto contenido de sólidos solubles y ratio, seguido en calidad por mandarino 'Cleopatra' [*C. reshni* (Hort.) ex Tan.] y citrumelo 'Swingle' [*C. paradisi* (Macf.) x *P. trifoliata* (L.) Raf.] (Bassal, 2009).

Los árboles injertados sobre lima de 'Rangpur' [*C. limonia* (Osb.)] dan frutos de buen tamaño y su calidad no se diferencia de la producida sobre citrumelo 'Swingle', tangelo 'Orlando' x trifolio [(*C. reticulata* (Blanco) x *C. paradisi* (Macf.)) x *P. trifoliata* (L.) Raf.] y mandarino 'Cleopatra' (Mourao Filho *et al.*, 2007). El limón 'Volkameriano' [*C. volkameriana* Ten. & Pasq.] induce frutos de calidad similar a los producidos sobre limón rugoso [*C. jambhiri* Lush.] (Aznar y Fayos, 2006). El mandarino 'Cleopatra' ofrece buena producción y calidad en los frutos, pero retrasa la maduración (González Martínez *et al.*, 2007).

Gou Tou Chen, probablemente un híbrido espontáneo de naranjo agrio [*C. aurantium* (L.)], se caracteriza por ser tolerante al virus de la tristeza utilizado en suelos fuerte y calizos, sus copas presentan mediana productividad y calidad de fruta (Aznar y Fayos, 2006).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar, según atributos de calidad de frutos y anticipación de la maduración, plantas de naranjo dulce 'Valencia late' cv Limeira, injertadas sobre 17 portainjertos e identificar grupos de similares características, en Entre Ríos, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material experimental

El ensayo de campo fue realizado en la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Entre Ríos, Argentina. El período analizado fue de 8 años a partir de 2001.

El lote experimental se ubica a 152 m s. n. m., con coordenadas 31° 22' 27.64" S y 58° 07' 01.41" W, cuenta con una superficie de 0,35 hectáreas, el suelo es arenoso, perteneciente a la familia de los Cuarzamientos óxicos ácucos¹. La temperatura media anual en la localidad es de 24,8 °C y la precipitación total es de 1300 milímetros anuales².

Los tratamientos probados consistieron en combinaciones de naranjo dulce [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] 'Valencia Late' cv Limeira, sobre 17 portainjertos y se describen en la tabla 1. Fueron conducidos en un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones de una planta por parcela.

El año de plantación varió según el portainjerto. Las plantas correspondientes a los portainjertos P3 y P15 fueron implantadas en 1990, las correspondientes a los portainjertos P1, P4, P5, P6, P7, P8, P14, P16 y P17 en 1992 y las correspondientes a los portainjertos P2, P9, P10, P11, P12 y P13 en 1994. El marco de plantación fue de 5 m x 6 m, lo que resultó en una densidad de plantación de 333 plantas por hectárea. Cada planta fue fertilizada con dos kilos de 15-6-15-6 (N-P-K-Mg) en cada año, lo que equivale a 90 kilos de nitrógeno (N), 40 kilos de fósforo (P₂O₅), 90 kilos de potasio (K₂O) y 40 kilos de magnesio (MgO) y no recibieron riego.

Variables estudiadas

Al momento de la cosecha (octubre-noviembre de cada año), esto es cuando llega a la madurez comercial con 6 de ratio³, se extrajeron 15 frutos por planta mediante un muestreo aleatorio simple de la parte media de la copa, en forma simultánea en todas las parcelas. Luego se determinaron las siguientes variables de calidad de fruta: diámetro

¹Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento de Concordia, provincia de Entre Ríos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Subsecretaría de Asuntos Agrarios. 1993.

²Servicio Meteorológico Nacional.

³Resolución SAyG 145/1983, Reglamentación de frutas frescas cítricas para el mercado interno y la exportación.

ecuatorial (DE; mm) y grosor de cáscara (GC; mm), medidos con calibre electrónico digital de 0,01 mm de precisión; porcentaje de jugo, para lo cual se pesaron los frutos con balanza digital, se extrajo el jugo con una exprimidora eléctrica y pesó el jugo total extraído, determinándose la relación entre ambos en porcentaje ($PJ = \text{peso de jugo/peso de frutos} \times 100\%$); en el jugo extraído se determinaron los sólidos solubles totales con un refractómetro de mano (SST; °Brix), la acidez total titulable mediante neutralización con hidróxido de sodio 0,1 normal (ATT %) y se calculó el índice de madurez como un cociente entre el total de sólidos solubles y la acidez ($IM = SST/ATT$; Ratio).

Análisis estadístico

Se calcularon promedios y los desvíos estándares de todas las variables y portainjertos. Luego, para describir

Código	Descripción
P1	Mandarino Cleopatra (<i>Citrus reshni</i> Hort. ex Tan) x trifolio (<i>Poncirus trifoliata</i> L. Raf).
P2	Limón Volkameriano (<i>C. volkameriana</i> Ten. & Pasq) x citrange Carrizo (<i>C. sinensis</i> L. Osb. x <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.).
P3	Naranja Ruby Blood (<i>C. sinensis</i> L. Osbeck) x trifolio Barnes (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P4	Mandarino Cleopatra (<i>C. reshni</i> Hort. ex Tan) x trifolio USDA (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P5	Mandarino Cleopatra (<i>C. reshni</i> Hort. ex Tan) x citrumelo 4475 (<i>C. paradisi</i> Macf. x <i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P6	Naranja Ruby Blood (<i>C. sinensis</i> L. Osb.) x trifolio USDA (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P7	Pomelo Triumph (<i>C. paradisi</i> Macf) x citrange Troyer (<i>C. sinensis</i> L. Osb x <i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P8	Lima Rangpur (<i>C. limonia</i> Osb) x citrange Troyer (<i>C. sinensis</i> L. Osb x <i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P9	Mandarino Cleopatra (<i>C. reshni</i> Hort. ex Tan) x trifolio 136 (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P10	Limón volkameriano (<i>C. volkameriana</i> Ten. & Pasq) x trifolio USDA (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P11	Limón Volkameriano (<i>C. volkameriana</i> Ten. & Pasq.) x mandarina Cleopatra (<i>C. reshni</i> Hort. ex Tan).
P12	Mandarino Sunky (<i>C. sunki</i> Hort. Ex Tan.) x citrumelo Swingle (<i>P. trifoliata</i> Raf. x <i>C. paradisi</i> Maca).
P13	Mandarino Sunky (<i>C. sunki</i> Hort. Ex Tan.) x trifolio Swingle (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P14	Citrange Benton (<i>C. sinensis</i> (L.) Osb x <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf)
P15	Citrumelo 4475 (<i>C. paradisi</i> x <i>P. trifoliata</i> L. Raf).
P16	Gou tou (Se considera un híbrido espontáneo de naranja agrio Aznar y Fayos, 2006).
P17	Tangelo Mineola (<i>C. reticulata</i> Blanco x <i>C. paradisi</i> Macf) x trifolio (<i>P. trifoliata</i> L. Raf).

Tabla 1. Portainjertos estudiados para naranja 'Valencia late' cv Limeira, en la localidad de Concordia, Entre Ríos, Argentina.

el comportamiento conjunto de las variables de calidad de frutos e identificar grupos de portainjertos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Este análisis consiste en el cálculo de sumas ponderadas de las variables de calidad y del índice de madurez, denominadas componentes principales de 1 a n, siendo n el número de variables analizadas (Hair *et al.*, 2005). Para seleccionar las variables que más contribuyen a cada componente se definió como límite el 70% del mayor coeficiente en esa componente. Se realizó un gráfico biplot, donde se representaron las dos primeras componentes principales sobre ejes cartesianos (Abdi y Williams, 2010). El biplot fue la base para la identificación de los grupos que se visualizaron en cada cuadrante. Luego, para confirmar diferencias entre grupos se efectuó un análisis de la varianza multivariado (MANOVA) y posterior prueba de Hotelling, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$) (Hair *et al.*, 2005).

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medidas de resumen

En la tabla 2 se presentan las medias y los desvíos estándares de las variables para cada portainjerto.

Los portainjertos P1, P11 y P12 tuvieron los mayores valores de PJ mientras que los menores valores mostraron P2 y P10. Los portainjertos P1 y P3 presentaron valores altos de SST. En cuanto a la ATT los valores más altos se observaron en los portainjertos el P17, P15, P13, P6 y P3. Respecto del IM, los valores más altos se observaron en P9 y P8 y los más bajos en P17 y P10. La variable DE obtuvo valores altos en P14, P9 y P6 y respecto del GC los mayores valores se observaron en P10, P2 y P16.

Análisis de componentes principales y biplot

El autovalor asociado a la primera componente (CP1) fue 0,371, lo que indica que esta componente conserva el 37,1% de la variabilidad total y su expresión matemática está dada por:

$$CP1 = 0,59 (ATT) + 0,43 (PJ) + 0,42 (SST) - 0,36 (IM) - 0,33 (GC) - 0,25 (DE).$$

De acuerdo con los valores absolutos de los coeficientes que ponderan cada una de las variables, se observa que ATT, PJ y SST contribuyen de manera importante en la definición de la CP1.

El autovalor asociado a la segunda componente (CP2) fue 0,269, lo que indica que esta componente conserva el 26,9% de la variabilidad total, su expresión matemática está dada por:

$$CP2 = 0,59 (IM) + 0,47 (SST) + 0,47 (DE) + 0,38 (PJ) - 0,19 (GC) - 0,16 (ATT).$$

Las variables IM, SST y DE contribuyen con mayor peso a esta componente.

Portainjerto	Resumen	PJ	SST	ATT	IM	DE	GC
		(%)	(°Brix)	(%)		(mm)	(mm)
P 1	Media	45,2	10,97	1,39	8,02	74,55	4,39
	D.E.	3,87	0,8	0,2	1,05	4,43	0,49
P2	Media	39,78	9,92	1,25	8,08	74,55	4,9
	D.E.	5,27	1,26	0,23	1	5,24	0,62
P3	Media	43,31	10,94	1,45	7,7	71,7	4,6
	D.E.	5,08	0,98	0,27	1,07	4,58	0,5
P4	Media	44,4	9,7	1,27	7,73	72,9	4,38
	D.E.	5,77	1,13	0,19	1,2	5,5	0,79
P5	Media	43,35	10,23	1,31	7,97	71,75	4,8
	D.E.	6,35	1,14	0,24	1,09	3,6	0,41
P6	Media	44,85	10,53	1,44	7,43	75,15	4,78
	D.E.	3,47	1,12	0,26	0,84	4,03	0,47
P7	Media	42,75	10,07	1,36	7,52	69,43	4,28
	D.E.	5,49	1	0,2	1,22	4,45	0,47
P8	Media	43,38	9,53	1,14	8,51	73,18	4,43
	D.E.	4,48	1	0,18	1,08	3,25	0,41
P9	Media	43,45	10,88	1,24	8,82	75,2	4,6
	D.E.	4,8	1,35	0,16	1,09	3,96	0,5
P10	Media	41,35	9,38	1,32	7,23	73,65	4,98
	D.E.	5,14	1,48	0,25	0,89	4,27	0,47
P11	Media	45,5	10,2	1,38	7,52	71,3	4,33
	D.E.	3,14	1,08	0,21	1,07	4,47	0,41
P12	Media	45	10,35	1,34	7,87	73,2	4,63
	D.E.	3,81	1,25	0,24	1,13	3,94	0,78
P13	Media	43,7	10,33	1,43	7,33	72,65	4,7
	D.E.	4,89	1,23	0,25	1,05	3,63	0,55
P14	Media	43,95	10,75	1,33	8,14	75,74	4,63
	D.E.	3,88	1,09	0,18	0,83	5,5	0,39
P15	Media	43,81	10,79	1,44	7,62	73,57	4,73
	D.E.	3,12	1,21	0,24	0,98	4,55	0,41
P16	Media	43,75	9,17	1,22	7,68	73,6	4,83
	D.E.	3,09	1,01	0,23	1,12	5,41	0,54
P17	Media	44,95	10,52	1,51	7,04	72,85	4,68
	D.E.	2,86	1	0,24	0,79	3,12	0,29

Tabla 2. Medias y desvío estándar (D.E.) de las variables de calidad porcentaje de jugo (PJ), sólidos solubles totales (°Brix), acidez total titulable (ATT) en porcentaje (%), índice de madurez (IM) y diámetro ecuatorial (DE) en milímetros (mm) y grosor de la corteza en milímetros (mm).

La representación biplot (figura 1) muestra las dos primeras componentes principales resultantes del ACP, las cuales representan el 64% de la variabilidad total entre las observaciones (Di Rienzo *et al.*, 2014). También se puede observar la asociación entre variables y portainjertos. La figura 1 muestra a la derecha los portainjertos con mayores valores de porcentajes de jugo, acidez como y contenido de sólidos solubles. En el cuadrante superior izquierdo se

ubican los portainjertos más maduros y de mayor tamaño. Se puede observar también, en el cuadrante inferior izquierdo, los portainjertos con mayores valores de grosor de la cáscara.

En función de los gradientes detectados sobre ambos ejes, se puede visualizar la conformación de cuatro grupos de portainjertos, el primero (G1) ubicado en el cuadrante su-

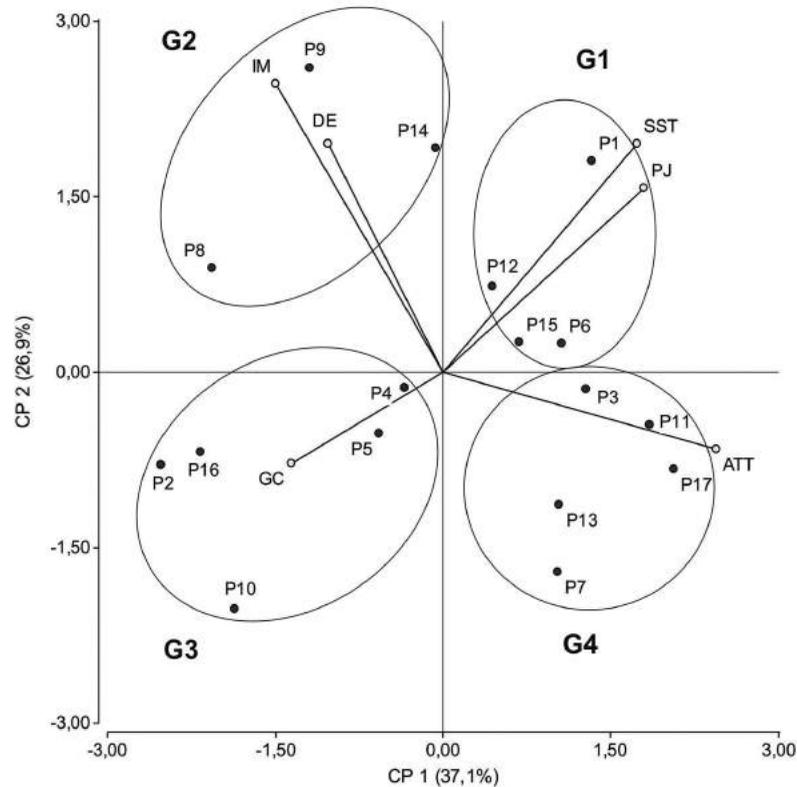


Figura 1. Biplot resultante del ACP, indicando grupos de portainjertos según la calidad de fruta definida por: diámetro ecuatorial (DE, mm), grosor de cáscara (GC, mm), porcentaje de jugo (PJ, %), acidez total titulable (ATT, %), sólidos solubles totales (SST, °Brix) e índice de madurez (IM, ratios). Entre Ríos Argentina.

perior derecho, incluye los frutos con mayores contenidos de azúcares y porcentajes de jugo; el segundo (G2) en el cuadrante superior izquierdo, contiene a los frutos con mayor índice de madurez y diámetro ecuatorial; el tercero (G3), en el cuadrante inferior izquierdo con los frutos con menores valores de porcentaje de jugo y contenido de azúcares y mayor grosor de cáscara; y el cuarto (G4) en el cuadrante inferior derecho, conformado por los frutos con alta acidez, menores tamaños y menores índice de madurez.

Caracterización de los portainjertos según los grupos formados

De acuerdo con lo que se observa en la figura 1 los cuatro grupos establecidos se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- **G1:** este grupo está integrado por los portainjertos híbridos P1, P6, P12 y P15. Los portainjertos de este grupo presentan frutos con valores altos de porcentaje de jugo y contenidos de sólidos solubles totales, pero presentan acidez elevada. Según Uribe-Bustamante *et al.* (2013) encontraron mayores valores para porcentajes de jugo, sólidos solubles totales, índices de madurez y diámetros ecuatoriales y menores valores

de acidez total titulable, en plantas de naranjo 'Valencia' injertadas sobre mandarina 'Cleopatra', citrumelo 'Swingle' y mandarina 'Sunku'. Respecto al índice de madurez, este grupo tiene un valor intermedio, coincidiendo con los resultados obtenidos por González Martínez *et al.* (2007) quienes encontraron que mandarina 'Cleopatra' retrasa la maduración.

- **G2:** está compuesto por los portainjertos híbridos P8, P9 y P14. Los frutos de este grupo presentan valores altos de sólidos solubles totales, diámetro de frutos e índice de madurez y los menores valores de acidez, con adecuado porcentaje de jugo, en este grupo se encuentran los frutos con madurez más anticipada. Estos resultados coinciden con las características establecidas por Loussert (1992) que los citrangeres y los trifolios otorgan a los frutos calidad y precocidad en la maduración. Legua *et al.* (2011) trabajaron con naranjo 'Lane Late' sobre diferentes portainjertos y encontraron que plantas injertadas sobre mandarina 'Cleopatra' dieron fruta con similar contenido de SST, aunque menor ATT.
- **G3:** está constituido por los portainjertos híbridos P2, P4, P5, P10 y P16. Los frutos de este grupo se caracterizan por poseer los mayores grosores de cáscara, los menores valores de porcentajes de jugo, sólidos

Grupos	PJ	SST	ATT	IM	DE	GC	
	(%)	(°Brix)	(%)		(mm)	(mm)	
1	44,95	10,85	1,4	7,89	74,09	4,59	B
2	43,96	10,64	1,23	8,75	74,56	4,55	A
3	42,31	9,82	1,26	7,94	73,1	4,78	C
4	44,01	10,58	1,43	7,52	71,16	4,5	D

Tabla 3. Promedio de porcentaje de jugo (PJ, %), sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez total titulable (ATT, %), índice de madurez (IM, ratios) y diámetro ecuatorial (DE, mm) y grosor de la cáscara (GC, mm). Resultados de la prueba de Hotteling entre grupos de portainjertos. Entre Ríos Argentina. (*) Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

solubles totales, y valores intermedios para acidez total titulable, índice de madurez y diámetro ecuatorial. (Monteverde *et al.*, 2005) encontraron para naranjo 'Washington Navel' mayores porcentajes de jugo, sólidos solubles totales, índices de madurez y diámetros ecuatoriales, pero menor acidez total titulable en las plantas injertadas sobre lima 'Rangpur' y mandarina 'Cleopatra'.

- **G4:** está formado por los portainjertos híbridos P3, P7, P11, P13 y P17. Los frutos del G4 presentan mayor acidez, intermedio porcentaje de jugo y contenido de sólidos solubles totales, pero bajos valores de índice de madurez y diámetro ecuatorial. Estos resultados coinciden con los encontrados por González Martínez *et al.* (2007) quienes detectaron que mandarina 'Cleopatra' retrasa la maduración. También Orduz-Rodríguez *et al.* (2011) estudiaron el comportamiento de diferentes cultivares de cítricos injertados sobre mandarina 'Cleopatra', hallando que naranjo 'Valencia Delta' presentó mayores valores de índice de madurez, pero menores porcentajes de jugo, sólidos solubles totales y acidez total titulable.

En razón de que las muestras de frutos fueron extraídas en todas las plantas en el mismo momento, se considera que las diferencias en las variables de calidad encontradas indican que las plantas injertadas sobre los diferentes portainjertos presentaron diferencias de anticipación de la maduración.

Resultados del MANOVA y prueba de Hotteling

En la tabla 3 se pueden observar para cada variable estudiada, los promedios correspondientes a cada grupo de portainjertos definido a partir del ACP y Biplot, y la comprobación de las diferencias detectadas entre ellos mediante MANOVA y prueba de Hotteling.

CONCLUSIONES

Según los atributos de calidad de fruta, los 17 portainjertos estudiados se pueden clasificar en cuatro grupos, con precocidad de maduración decreciente:

El grupo más precoz está compuesto por híbridos de trifolío con mandarina y citrange.

En segundo lugar de precocidad se encuentra un grupo integrado por híbridos de trifolío con limón, mandarina y lima, de citrange con limón, de citrumelo con mandarina y Gou Tou.

El tercer lugar en precocidad lo ocupan híbridos de trifolío con mandarina y con naranjo, citrumelo e híbridos de citrumelo.

El grupo de menor precocidad está constituido por híbridos de trifolío con naranjo, mandarina y tangelo, citrange con pomelo y mandarina con limón.

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero agrónomo (Mgter.) Miguel F. Garavello investigador del INTA Concordia, por facilitarnos los datos para realizar este trabajo, los cuales fueron generados por su equipo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. 2010. Principal component analysis. *WIREs comp stat*, 2, 433-459 pp.
- ANDERSON, C.M.; GARAVELLO, M.F.; AVANZA, M.M. 2011. Behavior of Valencia Late Orange cv. Limeira in four trials on thirteen rootstocks in Entre Ríos, Argentina. 9th International Congress of Citrus Nurserymen, Junio 13-16, San Miguel de Tucumán. Argentina.
3. AZNAR, J.S.; FAYOS, G.S. 2006. Cítricos. Variedades y técnicas de cultivo. Editorial Mundi-Prensa, 242 p.4.
- BASSAL, M.A. 2009. Growth, yield and fruit quality of 'Marisol' Clementine grown on four rootstocks in Egypt. *Scientia Horticulturae*. Vol. 119, 132-137 pp.
5. DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2014. InfoStat, versión 2014, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
6. GONZÁLEZ MARTÍNEZ, D.; MELGARES DE AGUILAR, J.; ARQUES, E.; PORRAS, I. 2007. Calidad del fruto de la Clementina Marisol/ mandarina Cleopatra. Cultivo ecológico. XI Congreso SECH. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Actas de Horticultura. Vol. 48, 554-557 pp.
7. HAIR, J.K.Jr.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. 2005. Análisis Multivariante, 5.ª Ed. Prentice Hall Iberia, Madrid, 799 p.
9. HUSSAIN, S.; CURK, F.; ANJUM, M.A.; PAILLY, O.; TISON, G. 2013. Performance evaluation of common clementine on various citrus rootstocks. *Scientia Horticulturae*. Vol. 150, 278-282 pp.
10. LEGUA, P.; BELLVER, R.; FORNER, J.; FORNERGINER, M.A. 2011. Plant growth, yield and fruit quality of

'Lane Late' navel orange on four citrus rootstocks. Spanish Journal of Agricultural Research. Vol. 9 (1), 271-279 pp.

11. LOUSSERT, R. 1992. Los Agrios. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 339 p.

12. MONTEVERDE, E.E.; LABOREM, G.; AVILÁN, W.; RUIZ, J.R.; RODRÍGUEZ, M. 2005. Evaluación del naranjo California (Washington Navel) *Citrus sinensis* Obs. sobre diez portainjertos en los Valles Altos De Carabobo-Venezuela. Agronomía Trop. Vol. 55(2), 265-288 pp.

13. MOURÃO FILHO, F.A.A.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; STUCHI, E.S.; ORTEGA, E.M.M. 2007. Plant growth, yield, and fruit quality of 'Fallglo' and 'Sunburst' mandarins on four rootstocks. Scientia Horticulturae. Vol. 114, 45-49 pp.

14. ORDUZ-RODRÍGUEZ, J.O.; CASTIBLANCO, G.S.; CALDERÓN, C.L.; HEBERTH VELÁSQUEZ, R. 2011. Po-

tencial de rendimiento y calidad de 13 variedades e híbridos comerciales de cítricos en condiciones del piedemonte llanero de Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 5 (2), 171-185 pp.

15. PALACIOS, J. 2005. Citricultura. Talleres Gráficos ALFA BETA S.A. 518 p.

16. POMPEU JUNIOR, J.; BLUMER, S. 2009. Híbridos de trifoliata como porta-enxertos para a laranjeira 'Valência'. Pesq. Agropec. Bras. Vol. 44, 701-705 pp.

17. URIBE-BUSTAMANTE, A.; CURTI-DÍAZ, S.A.; HERNANDEZ-GUERRA, C.; TICANTE-MONTERO, S.J. 2013. Calidad de naranja 'Valencia' injertado sobre 20 portainjertos. Rev. Chapingo Serie Horticultura. Vol. 19(1), 61-69 pp.

Caracterización sensorial de mieles de abeja mediante análisis multivariado a tres vías

ALTENDORFF, L.¹; WINTER, J.²; LAVALLE, A.¹

RESUMEN

El análisis sensorial consiste en la evaluación de las propiedades organolépticas de un producto mediante los sentidos humanos. Para dicha evaluación, el diseño experimental y el análisis estadístico juegan un papel fundamental. En el presente trabajo se presenta una metodología de análisis que tiene en cuenta tanto el diseño realizado en la toma de datos, como la naturaleza multivariada de estos. Para ello se combinan técnicas inferenciales con análisis descriptivos. En particular se implementa análisis de la varianza para detectar la posible interacción panelista-miel y análisis multivariado para realizar la caracterización de productos. Los datos analizados corresponden a 40 muestras de miel de la temporada 2014-2015 cosechada en distintas localidades de la provincia de Entre Ríos, que fueron evaluados por un panel formado por cuatro catadores entrenados. Los resultados permiten diferenciar las muestras de acuerdo a sus propiedades y realizar una evaluación del panel a fin de determinar sobre cuáles atributos es necesario realizar un mejor entrenamiento.

Palabras clave: análisis de la varianza, análisis factorial múltiple.

ABSTRACT

Sensory analysis is the evaluation of organoleptic properties of a product by the human senses. For this evaluation, experimental design and statistical analysis play a fundamental role. In the present work we show a methodology that takes into account both the design made in the data collection and the multivariate nature of the data. For this, inferential techniques are combined with descriptive analyzes. In particular, Analysis of Variance is implemented to detect the possible panel-honey interaction and Multivariate Analysis to perform product characterization. The analyzed data correspond to 40 samples of honey from the season 2014-2015 harvested in different localities of the province of Entre Ríos, which were evaluated by a panel formed by four trained tasters. The results allow differentiating the samples according to their properties and to perform an evaluation of the panel in order to determine on which attributes it is necessary to perform a better training.

Keywords: Analysis of Variance, Multiple Factor Analysis.

¹Universidad Nacional del Comahue, Departamento de Estadística, Buenos Aires 1400 Neuquén, Argentina. Correo electrónico: laltendorff@gmail.com

²Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

INTRODUCCIÓN

Argentina es uno de los principales países productores y exportadores de miel del mundo. Como el mercado interno no está aún ampliamente desarrollado, la mayor parte de la miel que se produce se exporta a granel, ocupando el segundo lugar como exportador y el tercero como productor a nivel mundial (Ministerio de Agroindustria, 2017).

En otros países, principalmente europeos, donde el consumo de miel por persona es mucho mayor al que se da en nuestro país, los distintos tipos de miel que se producen han sido estudiados exhaustivamente. Como ejemplo se puede citar el mercado italiano, donde las mieles monoflorales están muy desarrolladas, y el productor recibe un elevado precio por su producto (Álvarez *et al.*, 2016). A partir de estos estudios se han podido definir el origen botánico y las características sensoriales y físicoquímicas de cada tipo de miel, por lo cual son bien conocidas por los consumidores, que eligen uno u otro tipo de acuerdo a su caracterización (Galán- Sodevilla *et al.*, 2005; Makhloufi *et al.*, 2015)

En Argentina, diferentes políticas intentan maximizar los niveles de valor agregado en la cadena apícola, con el propósito de mejorar su competitividad, fortaleciendo su posicionamiento tanto en el mercado interno como externo. (Ministerio de Agroindustria, 2017). En ese sentido, se trabaja en caracterizar las mieles obtenidas en diferentes territorios de acuerdo a sus características naturales para facilitar su valorización por diferenciación o producción bajo protocolo (INTA, 2017).

Uno de los aspectos de la caracterización de las mieles es la caracterización sensorial. Se ha estudiado el perfil sensorial de mieles de la provincia de Santa Fe (Ciappini *et al.*, 2008, 2009), de la provincia de Buenos Aires (Silvano *et al.*, 2014) y de la provincia de Catamarca (Costa *et al.*, 2013). El noroeste argentino está trabajando en la caracterización de mieles monoflorales mediante el desarrollo de Protocolos de Calidad específicos para cada una de ellas (Álvarez *et al.*, 2016). En la provincia de Neuquén se realizó una caracterización de mieles de provenientes de diferentes zonas del interior de la provincia, con la finalidad de diferenciarlas y proveer valor agregado a los productos (Altendorff *et al.*, 2011).

El análisis sensorial se refiere a la medición y cuantificación de las características de los productos alimenticios evaluables por los sentidos humanos (Montenegro *et al.*, 2008). Es sabido que el análisis sensorial se emplea en el desarrollo de nuevos productos, el control de calidad, así como en la investigación de mercados (Martínez Roig, 2010). Los perfiles sensoriales evidencian su utilidad a la hora de realizar un control de calidad, desarrollar nuevos productos, establecer correlaciones sensorio-instrumentales, medir cambios en la intensidad de un atributo en función del tiempo o bien identificar cuáles son los atributos claves para incluir en un ensayo con consumidores (Lawless y Heymann, 2010).

El análisis de datos de perfiles sensoriales de mieles se realiza básicamente mediante análisis descriptivo cuanti-

tativo, análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados. En algunas ocasiones se utilizan técnicas multivariadas más complejas como, por ejemplo, análisis a tres vías (Altendorff *et al.*, 2016). Asimismo, si el objetivo es realizar una comparación entre cualidades respecto del origen geográfico o el origen floral, se utiliza el análisis de la varianza (Ciappini *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2009; González Lorente *et al.*, 2007; Montenegro *et al.*, 2008; Ciappini *et al.*, 2008; Galán Soldevilla *et al.*, 2005; Anupama *et al.*, 2003; Silvano *et al.*, 2014).

En el presente trabajo se propone un análisis en dos etapas. En principio se evalúa la performance del panel y se detectan los atributos para los cuales hay consenso entre panelistas. En segundo lugar, utilizando estos atributos seleccionados, se realiza un análisis multivariado a tres vías que permite caracterizar los productos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos analizados corresponden a 40 muestras de miel de la temporada 2014-2015 cosechada en distintas localidades de la provincia de Entre Ríos, muestreadas en el marco del proyecto "Identificación de los atributos de calidad para el fortalecimiento de las condiciones de comercialización de las mieles de la Región de Salto Grande, Entre Ríos", que lleva adelante la Mesa Sectorial Apícola de la Región Salto Grande, coordinada por la Comisión Administradora del Fondo Especial de Salto Grande (CAFESG).

Se trabajó con un panel de cata compuesto por 4 miembros perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) Centro Neuquén, según las normas IRAM Serie 20000, y se realizó el análisis sensorial según norma IRAM 15980-1 Miel - Análisis Sensorial Parte I: Guía general para establecer el perfil sensorial. Se utilizó una escala del 0 al 10 y cada producto fue evaluado por cada panelista en dos sesiones.

Para los atributos olor y aroma se evaluó la intensidad total y se discriminaron las familias y subfamilias percibidas y la intensidad de cada una de ellas. Las variables olor Frutal Frutas Cocidas, Olor Frutal Frutas Disecadas y Olor Frutal Frutas Azucaradas fueron unificadas. Se analizaron los gustos básicos: dulce, salado, ácido y amargo. Se analizaron las sensaciones trigeminales astringencia, pungencia y sensación de frío/calor, y la persistencia y presencia de gusto residual. Por último, se analizó la textura de las mieles: tamaño de los cristales percibido en la boca, tamaño de los cristales por apreciación visual y la facilidad de disolución de los cristales en la boca.

Respecto a la metodología estadística, luego del análisis de consistencia de los datos, se conformó la base a la que se aplicó Análisis de la Varianza Multivariado (MANOVA) para evaluar interacción panelista – muestra de miel, planteando un modelo de interacción multivariada y posteriormente se realizó un Análisis de la Varianza Univariado (ANOVA), utilizando el mismo modelo para cada variable:

donde

$$y_{ijk} = \mu + P_i + M_j + P_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

y_{ijk} es la k -ésima réplica de cada una de las p variables observables

μ es la media general

P_i es el efecto del i -ésimo panelista, $i = 1, 4$

M_j es el efecto de la j -ésima muestra de miel, $j = 1, 40$

$PM_{(ij)}$ es el efecto de la interacción

ε_{ijk} es el término de error

La interacción “panelista-muestra” indica si las mieles son percibidas de manera similar por los diferentes panelistas. En otras palabras, indica si existe un consenso entre los panelistas al calificarlas en el atributo de interés. Si es significativa, no se observa consenso entre los panelistas (dentro del panel): los panelistas no tienen la misma percepción de las mieles con respecto al atributo sensorial de interés. Esta interacción es por lo tanto de interés principal al evaluar el desempeño de un panel: corresponde al acuerdo entre los panelistas. El efecto “muestra” indica si las mieles se perciben como diferentes en ese atributo. Si es significativo, el panel ha discriminado las mieles con respecto al atributo sensorial de interés. Este efecto es de interés principal al evaluar el desempeño de un panel: corresponde a la capacidad de discriminación del panel. El efecto “panelista” indica si los panelistas usan la escala de notación de manera similar o no. Este efecto es de menor interés (Lê y Worch, 2015).

Por último, se procede con el análisis factorial múltiple (AFM): como método de análisis a tres vías para identificar grupos de mieles con características similares, que fueran evaluadas por los panelistas según las variables-descriptores. El análisis factorial múltiple (Escofier y Pagès, 1990) es un método de análisis multivariado adaptado al tratamiento de tablas de datos en las que un mismo conjunto de individuos se describe a través de varios grupos de variables. Cuando las variables son cuantitativas, como en este caso, el AFM se basa en la metodología de análisis de componentes principales (ACP) y consta de dos etapas: 1) a cada grupo de variables se asocia una configuración denominada nube parcial, mediante un ACP de cada grupo de variables. 2) se realiza un ACP de la tabla global que re-

sulta de yuxtaponer todos los grupos de variables. En este análisis cada tabla es ponderada por el inverso del primer valor propio obtenido en el ACP de dicha tabla. Esta ponderación mantiene la estructura de cada tabla, ya que todas las variables han recibido la misma ponderación, pero consigue equilibrar la influencia de los grupos, ya que la inercia máxima de cada una de las nubes de individuos, definida por los diferentes grupos, vale 1 en cualquier dirección.

Para este caso, la evaluación realizada por cada panelista constituye un grupo de variables, por lo tanto, las tres vías de análisis son: muestras de mieles (individuos); descriptores evaluados (variables); panelistas (grupo o condición). El AFM suministra resultados que permiten caracterizar a las muestras de mieles de acuerdo a las variables evaluadas por los panelistas. El procesamiento de datos se realizó con el software libre R (R Core Team, 2017).

RESULTADOS

1.º) Disposición de información de trabajo: la base original constaba de 97 descriptores: 41 de olor; 2 visuales; 40 de aroma; 5 de gusto; 6 de sensaciones trigeminales; 3 de textura. Sobre la base de matriz de correlaciones y el análisis de significancias, es decir, altas correlaciones y bajas probabilidades asociadas, se unificaron algunos descriptores así como se descartaron aquellos descriptores que no fueron percibidos y los que fueron percibidos por menos de 3 panelistas. Quedó así conformada una base de datos con 32 descriptores y 4 panelistas.

2.º) Sobre la base de datos se aplicó análisis de la varianza multivariado (MANOVA) con el modelo de interacción planteado, obteniéndose los resultados expuestos en la tabla 1.

Se comprueba que existe interacción significativa entre panelistas y los tipos de mieles de las observaciones multivariadas (Efecto Panel*Muestra significativo).

Posteriormente se comprobó la significancia de efectos en forma univariada, obteniéndose los resultados expuestos en la tabla 2.

En los descriptores que se evidencia interacción panelista-miel (muestra) significativa se interpreta que

Efecto	Test de significancia multivariada					
	Test	Valor	F	Grados de libertad del efecto	Grados de libertad del error	p
Panel	Wilks	0,000469	48,1390	96	387,059	0,00
Muestra	Wilks	0,000001	2,025	1248	3413,312	0,00
Panel*Muestra	Wilks	0,000000	1,389	3744	4365,061	0,00

Tabla 1. Significancia de los efectos del análisis de la varianza multivariado.

Descriptor	Panelista (P _i)	Muestra (M _j)	Interaccion (PM _{ij})
Intensidad total de olor (OLOR)	*	*	ns
Olor cálido sutil (OCS)	**	ns	ns
Olor frutal cítrico (OFC)	**	ns	ns
Olor frutal (OFF)	**	**	**
Olor frutal valeriano (OFV)	**	**	**
Olor animal valeriano (OAV)	**	**	ns
Olor animal proteico (OAP)	**	ns	ns
Olor vegetal seco (OVS)	**	**	*
Olor químico (OQH)	**	**	**
Olor aromático coumarina (OAC)	**	*	ns
Tamaño de cristales mayores (VTM)	**	**	**
Intensidad total de aroma (AROMA)	**	ns	ns
Aroma cálido sutil (ACS)	**	**	**
Aroma cálido malteado (ACM)	**	**	ns
Aroma fruta tropical (AFFT)	**	ns	**
Aroma frutal cítrico (AFC)	**	*	ns
Aroma frutal (AFF)	**	**	**
Aroma frutal vinoso (AFV)	**	**	**
Aroma animal valeriano (AAV)	**	**	ns
Aroma vegetal seco (AVS)	**	**	ns
Aroma químico (AQH)	**	**	**
Aroma aromático coumarina (AAC)	**	ns	**
Gusto dulce (DULCE)	**	*	*
Gusto ácido (ÁCIDO)	**	**	**
Gusto salado (SALADO)	**	ns	ns
Gusto amargo (AMARGO)	**	*	ns
Astringencia (ASTR)	**	*	ns
Quimiotérmica frío (QFRÍO)	**	**	ns
Gusto residual (RESIDUAL)	**	**	**
Persistencia (PERSISTENCIA)	**	ns	**

Tabla 2. Significancia de los efectos del análisis de la varianza univariado. ns: no significativo; *significativo $p < 0,05$; **altamente significativo $p < 0,01$.

los panelistas opinan diferente en esos descriptores, por lo tanto no hay consenso y dichas variables no se incluyen en el siguiente análisis multivariado a tres vías. A partir de este análisis se determinaron las variables para analizar en la siguiente etapa.

3.º) Análisis Factorial Múltiple (AFM)

La base de datos para el AFM contiene las percepciones de cuatro panelistas: el panelista 1 cuenta con 14 descriptores, el panelista 2 con 11 descriptores, el panelista 3 con 15 descriptores y el panelista 4 con 14 descriptores.

El plano principal obtenido a partir del AFM explica un 12,65% de la variabilidad total (11,82% en el eje horizontal y 9,83% en el eje vertical).

Dado que en total se cuenta con 54 variables, el círculo de correlación en donde se muestran todas ellas no permite una buena visualización. Por lo tanto, en la figura 1 se muestra el círculo de correlación destacando solamente las variables con mayor consenso que fueron utilizadas en la caracterización. En la figura 2 se muestra el plano principal en el que se representan las mieles y se indican con flechas las variables que más aportan en la caracterización de estas.

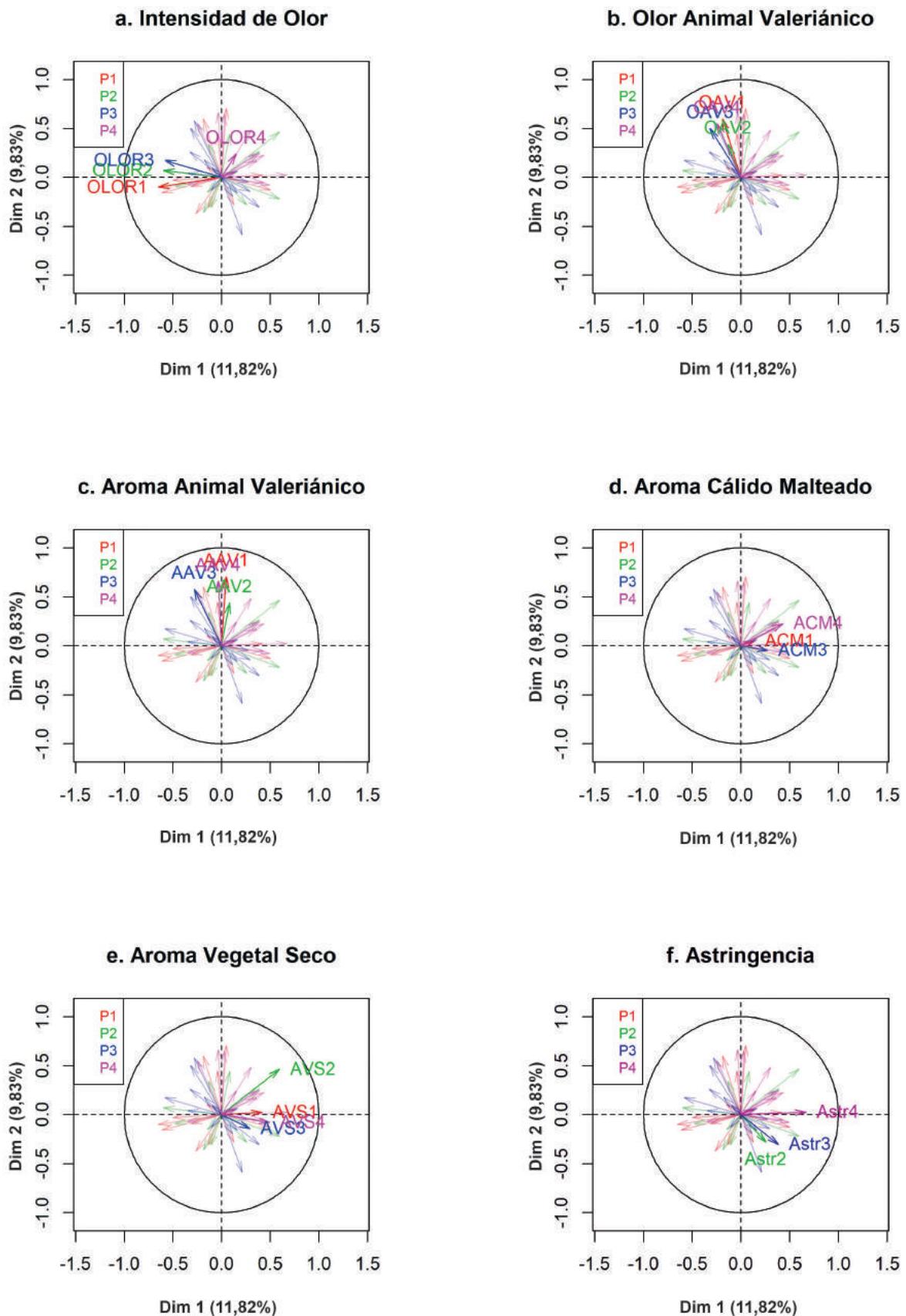


Figura 1. AFM, variables del análisis factorial múltiple utilizadas en la caracterización.

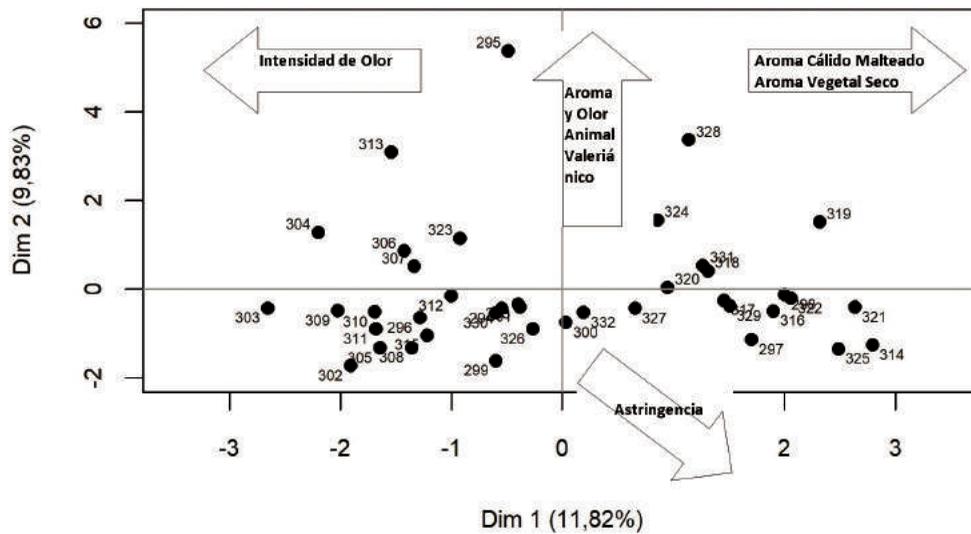


Figura 2. AFM, plano principal de individuos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del MANOVA muestran que existe interacción multivariada entre panelistas y muestras. Esto indica que existen descriptores en los cuales no hay acuerdo entre los panelistas. A partir del ANOVA sobre cada descriptor se seleccionaron aquellos en los que hubo consenso (15), con los cuales se procedió a realizar un análisis multivariado a tres vías mediante la técnica análisis factorial múltiple.

En primer lugar, y dado que existe efecto panelista en los descriptores seleccionados (tabla 2) es posible que exista divergencia en la caracterización de los productos por parte del panel. Por lo tanto, para la caracterización final se utilizan los descriptores para los cuales se observa gráficamente un comportamiento similar entre panelistas.

A partir de la figura 1, se observa que el descriptor "Olor", forma un gradiente horizontal de derecha a izquierda; los descriptores "Olor y Aroma animal valeriánico" forman un gradiente vertical de abajo hacia arriba; los descriptores "Aroma cálido malteado" y "Aroma vegetal seco" forman un gradiente horizontal de izquierda a derecha y los descriptores de "Astringencia" forman un gradiente oblicuo del segundo al cuarto cuadrante.

A partir de la figura 2, se aprecia que las mieles 295, 313 y 328 son totalmente diferentes a las demás, ya que están representadas por puntos que se encuentran alejados del resto. Estas mieles se caracterizan por tener olor y aroma animal valeriánico muy intenso y menor astringencia.

En la misma figura se observa que sobre el eje horizontal se separan dos grupos de mieles, un grupo ubicado a la

derecha que se caracteriza por tener mayor intensidad aroma vegetal seco y aroma cálido malteado. Asimismo, este grupo posee menor intensidad total de olor. Se destacan las muestras 319, 321, 314 y 325. En oposición, las mieles ubicadas a la izquierda, poseen mayor intensidad total de olor y baja intensidad de aroma vegetal seco y aroma cálido malteado. En este grupo se destacan las muestras 303, 304, 309 y 302. Las muestras que presentaron mayor astringencia son 314, 325 y 321 y las de mayor aroma frutal cítrico son 303, 302, 305, 309.

El análisis a tres vías muestra la clasificación que el panel hizo sobre las mieles, caracterizándolas por la intensidad de su aroma cálido malteado y aroma vegetal seco (eje horizontal-derecha); por la intensidad total de olor (eje horizontal-izquierda); por la intensidad de olor y aroma animal valeriánico (eje vertical-superior) y por su astringencia (eje vertical-inferior).

Al evidenciar en los datos originales inconsistencias, posiblemente por insuficiente entrenamiento de los panelistas, se recomienda poner mayor énfasis en el entrenamiento de los panelistas en aquellos descriptores en los que la interacción panelista-muestra haya resultado significativa.

La metodología utilizada combina un procedimiento inferencial que es de utilidad para seleccionar los atributos en los cuales hay consenso en el panel, separándolos de aquellos en los que es necesario realizar un mejor entrenamiento. Asimismo, el análisis factorial múltiple permite caracterizar las muestras de acuerdo a los descriptores seleccionados teniendo en cuenta la naturaleza multidimensional de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTENDORFF, L.; LAVALLE, A.; ZULIANI, P.; BARDA, N.; WINTER, J.; APABLAZA, O.; OHACO, P.; GARCÍA N. 2011. Perfil Sensorial de mieles de abeja: aplicación de técnicas de análisis multivariado. XVI Reunión del Grupo Argentino de Biometría. Salta.
- ALTENDORFF, L.; ZULIANI, P.; WINTER, J.; LAVALLE, A. 2016. Perfil sensorial de mieles de abejas y evaluación de panel mediante Análisis Multivariado a tres vías. XXI Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Corrientes.
- ANUPAMA, D.; BHAT, K.; SAPNA, V. 2003. Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. Food Research International 36, 183-191.
- ÁLVAREZ, A.; RUÍZ, A. 2016. Agregado de valor a la producción de mieles del Noa. (Disponible: <http://inta.gob.ar/noticias/agregado-de-valor-a-la-produccion-de-mieles-del-noa> verificado: febrero de 2017).
- CARVALHO, C.; SODRÉ, G.; FONSECA, A.; ALVES, R.; SOUZA, B.; CLARTON, L. 2009. Physicochemical characteristics and sensory profile of honey samples from stingless bees (*Apidae: Meliponinae*) submitted to a dehumidification process. Anais da Academia Brasileira de Ciências 81(1): 143-149.
- CIAPPINI, M.C.; GATTI, M.B.; DI VITO, M.V.; GATTUSO, S.; GATTUSO, M. 2008. Characterization of Different Floral Origins Honey Samples from Santa Fe (Argentina) by Palynological, physicochemical and Sensory data. APIACTA 43, 25-36.
- CIAPPINI, M.C.; GATTUSO, S.; GATTI, M.B.; DI VITO, M.V.; GÓMEZ, G. 2009. Mieles de la provincia de Santa Fe (Argentina). Determinación palinológica, sensorial y fisicoquímica, según provincias fitogeográficas. Primera parte. Invenio, Vol. 12, Núm. 22, 109-120 pp.
- CIAPPINI, M.C.; DI VITO, M.V.; GATTI, M.B.; CALVIÑO, A.M. 2013. Development of a Quantitative Descriptive Sensory Honey Analysis: Application to Eucalyptus and Clover Honeys Advance Journal of Food Science and Technology 5(7): 829-838.
- COSTA, M.C.; VERGARA-ROIG, V.; KIVATINITZ, S. 2013. A melissopalynological study of artisanal honey produced in Catamarca (Argentina). Journal Grana Volume 52(3).
- GALÁN-SOLDEVILLA, H.; RUIZ-PÉREZ-CACHO, M.P.; SERRANO JIMÉNEZ, S.; JODRAL VILLAREJO, M.; BENTABOL MANZANARES, A. 2005. Development of a preliminary sensory lexicon for floral honey. Food, Quality and Preference (16) 71-77.
- GONZÁLEZ LORENTE, M.; DE LORENZO CARRETERO, C.; PÉREZ MARTÍN, R. 2007. Sensory Attributes and Antioxidant Capacity of Spanish Honeys. Journal of Sensory Studies. Volume 23 Issue 3.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 2017. Estrategias para agregar valor a la producción apícola argentina. Proyecto Específico 2013-2019 PNAPI – 1112043. (Disponible: <http://inta.gob.ar/documentos/presentacion-del-proyecto-estrategias-para-agregar-valor-a-la-produccion-apicola-argentina> verificado: febrero de 2017).
- LAWLESS, H.; HEYMANN, H. 2010. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices, 2.ª Edición, Springer, Nueva York.
- LÊ, S.; WORCH, T. 2015. Analyzing Sensory Data with R CRC Press. Taylor and Francis Group, Nueva York.
- MAKHOULFI, C.; KERKVLIE, J.; SCHWEITZER, P. 2015. Characterisation of some monofloral Algerian honeys by pollen analysis. Journal Grana, Volume 54 (2), 156-166.
- MARTINEZ ROIG, D. 2010. Análisis sensorial e investigación de mercados como herramientas para el lanzamiento de nuevos productos. (Disponible: <http://www.puromarketing.com/13/7545/sensorial-investigacion-mercados-como-herramientas-para-lanzamiento-nuevos-productos.html> verificado: febrero de 2017).
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2017. Resolución 95-E/2017. Boletín Oficial de la República Argentina. (Disponible: <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/162823/20170426> verificado: febrero de 2017).
- MONTENEGRO, G.; GÓMEZ, M.; PIZARRO, R.; CASAUBON, G.; PEÑA, R. 2008. Implementación de un panel sensorial para mieles chilenas. Cien. Inv. Agr. 35(1): 51-58.
- R CORE TEAM. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (Disponible: <https://www.R-project.org/> verificado: febrero de 2017).
- SILVANO, M.; VARELA, M.; PALACIO, M.; RUFFINENGO, S.; YAMUL, D. 2014. Physicochemical parameters and sensory properties of honeys from Buenos Aires region. Food Chemistry 152, 500-507.

Estudio de la respuesta inmune frente a la vacunación con virus respiratorio sincitial bovino (VRSB) inactivado en bovinos. Evaluación de la inmunidad pasiva

MARGINEDA, C.A.^{1,2}; FERELLA, A.⁵; PEREZ AGUIRREBURUALDE, M.S.³; SAMMARRUCO, A.⁴; GONZALEZ, D.D.^{4,5}; TOLEDO, G.¹; DUS SANTOS, M.J.^{4,5}; MOZGOVOJ, M.^{4,5}

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el título y la duración de anticuerpos neutralizantes (AN) en vacas inmunizadas con una vacuna experimental inactivada para el virus respiratorio sincitial bovino (VRSB) y los niveles y la duración de los anticuerpos maternos anti-VRSB transferidos a través del calostro en los terneros nacidos. Se inoculó un grupo de seis vacas preñadas con una vacuna inactivada de VRSB 90 y 60 días antes del parto. El grupo control estaba formado por seis vacas sin vacunar. Se obtuvieron muestras de suero de las vacas a los días 90, 60, 30 antes del parto y 0, 60 y 120 días posteriores al parto. Con respecto a los terneros, se recolectaron muestras de suero de ambos grupos a las 48 horas posparto y 30, 60, 90 y 120 días luego del nacimiento. La detección de anticuerpos específicos contra el VRSB se realizó mediante seroneutralización viral. En los terneros se determinaron proteínas totales e inmunoglobulina G total a las 48 horas posparto. Solo las vacas vacunadas seroconvirtieron a los 60 días después del refuerzo y los títulos de anticuerpos permanecieron elevados 180 días después de este. Los terneros recién nacidos mostraron una transferencia pasiva efectiva de anticuerpos maternos específicos para el VRSB. En este trabajo fue posible corroborar la inducción y duración de los anticuerpos específicos contra el VRSB en vacas vacunadas con una vacuna inactivada así como en sus respectivos terneros.

Palabras clave: vacunación, virus respiratorio sincitial bovino, inmunidad pasiva.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the titer and duration of neutralizing antibodies in cows immunized with an inactivated experimental vaccine for BRSV and the levels and duration of anti-BRSV maternal antibodies in

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Marcos Juárez, ruta 12 km 3,5 (2580), Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Correo electrónico: margineda.carlos@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Veterinarias, Enfermedades Infecciosas.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), Instituto de Patobiología, Nicolás Repetto y De los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

⁴Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), Instituto de Virología, Nicolás Repetto y De los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: mozgovej.marina@inta.gob.ar

⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), Instituto de Virología, Nicolás Repetto y De los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, (CONICET). Correo electrónico: ferella.alejandra@inta.gob.ar

calves born. A group of six pregnant cows was inoculated with a inactivated BRSV vaccine, at 90 and 60 days before calving. As a control group, six animals were mock inoculated. Cows' serum samples were obtained at days 90, 60, 30 before calving and at 0, 60 and 120 days postpartum. Sera from calves were obtained at 48-72 hours postpartum, 30, 60, 90 and 120 days after birth. The kinetic of serum specific antibodies from inoculated animals and newborn calves was analyzed by a serum neutralization assay. Only the vaccinated cows seroconverted 60 days post booster and antibody titers remained high 180 days post booster. Six newborn calves showed an effective passive transfer of specific BRSV maternal antibodies. In this work, it was possible to determine antibody levels against BRSV and their duration after vaccination of cows and calves born using an inactivated vaccine.

Keywords: Vaccine, bovine respiratory syncytial virus, passive immunity.

INTRODUCCIÓN

El virus respiratorio sincitial bovino (VRSB) es un neovirus de la familia *Pneumoviridae* altamente prevalente en el ganado bovino y uno de los agentes virales más importantes del complejo respiratorio bovino (CRB) (Brodersen, 2010; Van der Poel *et al.*, 1994). El BRSV se clasifica en 4 subgrupos antigénicos, utilizando anticuerpos monoclonales dirigidos contra la proteína G: A, B, AB y sin tipificar (Furze *et al.*, 1994). EL virus fue aislado por primera vez en Argentina en el año 1998 (Bagnis *et al.*, 1999). Estudios posteriores demostraron una alta prevalencia en bovinos de cría, tampo y feedlots de diferentes provincias de nuestro país (Ferella *et al.*, 2017; Odeón *et al.*, 2001). En infecciones naturales y experimentales con VRSB se ha demostrado que el virus puede inducir un cuadro clínico grave en animales menores de un año y afecta severamente a terneros de 0 a 3 meses de vida (Brodersen, 2010; Verhoef *et al.*, 1984; Viuff *et al.*, 1996). La infección por el VRSB causa daño y disfunción de las células del epitelio traqueo bronquial, bronquiolar y alveolar (Brodersen 2010; Viuff *et al.*, 1996). Es importante destacar que, si bien la infección por el VRSB ocurre aun en presencia de anticuerpos neutralizantes, estos anticuerpos se consideran protectivos debido a que en presencia de elevados títulos disminuye significativamente la severidad de la enfermedad (Van der Poel *et al.*, 1994; Belknap *et al.*; 1991; Kimman y Westenbrink, 1990).

Para la prevención de la enfermedad por el VRSB han sido utilizadas vacunas a virus completo inactivado (solo o combinado con otros agentes del CRB) o a virus vivo atenuado (Bowland y Shewen, 2000). En Argentina las vacunas comerciales utilizadas son a VRSB inactivo, y en todos los casos vienen combinadas con otros agentes que forman parte del CRB, como virus parainfluenza bovino tipo 3, herpesvirus bovino tipo 1, virus de la diarrea viral bovina, *Mannheimia haemolytica*, *Pasterurella multocida* e *Histophilus somni*.

Estudios de eficacia en los que terneros vacunados con vacunas a VRSB inactivado fueron infectados experimentalmente con cepas patógenas del VRSB, demostraron una disminución de la excreción viral conjuntamente con una

disminución en la severidad de las lesiones pulmonares (Ellis *et al.*, 2005). El rol de los anticuerpos maternos en la protección de los terneros jóvenes contra las infecciones con el VRSB fue controversial durante mucho tiempo. Primero se postuló que los anticuerpos calostrales anti-VRSB no protegían frente a la infección (Scott y Taylor, 1985). Posteriormente, Belknap *et al.* (1991) demostraron que terneros desafiados con el VRSB previamente alimentados con calostro proveniente de vacas vacunadas antes del parto, presentaban lesiones pulmonares menos graves comparados con terneros privados de calostro (Belknap *et al.*, 1991).

Una estrategia utilizada para mejorar la calidad inmunológica del calostro consiste en la vacunación de las madres en el parto (Gorden y Plummer, 2010). El volumen de calostro consumido tiene una relación directa sobre el título de anticuerpos en el ternero lactante; un menor consumo significará, en la mayoría de los casos, una menor concentración de IgG calostrales en el plasma del ternero (Quigley *et al.*, 1995). La información respecto a la duración de la inmunidad pasiva para el VRSB en terneros que calostrian sin la intervención del hombre es escasa. Por un lado, la mayor parte de los estudios no detallan los niveles de inmunidad humoral en las vacas al momento del parto y, por otro lado, estos ensayos fueron realizados con suministro de calostro de manera artificial y alimentados en condiciones artificiales en terneros raza Holstein Friesians (Belknap *et al.*, 1991; Dudek *et al.*; 2014).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el título y la duración de anticuerpos neutralizantes (AN) en vacas inmunizadas con una vacuna experimental inactivada para el VRSB y los niveles y la duración de los anticuerpos específicos maternos anti-VRSB en los terneros nacidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Se utilizaron vacas y terneros del rodeo de cría de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Marcos Juárez (INTA). El rodeo estaba constituido por 98 vacas raza

Aberdeen Angus (AA) y 3 toros raza Charolais (C). Se seleccionaron 12 vacas preñadas para el experimento y sus correspondientes terneros nacidos (filial 1; AA x C). Durante el experimento las vacas y sus terneros fueron aislados del resto del rodeo, alojados en potreros y alimentados con una pastura consociada de alfalfa y gramíneas. Los terneros nacidos calostraron y luego se alimentaron de leche materna hasta los 180 días posparto. Durante el ensayo, la condición corporal de las vacas fue monitoreada utilizando la escala de score corporal del 1-5. En los meses de parición (julio, agosto y septiembre) las vacas fueron monitoreadas 2 veces por día (7:00 h y 17:00 h) a fin de detectar los terneros nacidos.

Virus y células

Para los ensayos (producción de virus para la vacuna experimental y seroneutralización viral) se utilizó la cepa A51908 de VRSB, adquirida de ATCC, cedida por el Laboratorio de Virus Adventicios de INTA Castelar. Las células utilizadas para ambos ensayos fueron las Madin Darby bovine kidney (MDBK). Estas se cultivaron en una mezcla de partes iguales de E-MEM (Eagle's minimal essential medium) y D-MEM (Dulbecco's minimal essential medium) (GIBCO BRL) (1:1) con un 5% de suero fetal bovino libre de anticuerpos contra el VRSB.

Vacuna experimental

El inóculo contenía DICT50/ml dosis infectivas de cultivo de tejidos 50% (DICT50/ml). El título infeccioso de las producciones virales fue determinado por efecto citopático (ECP) mediante la metodología de Reed y Muench (1938). El VRSB (10^5 DICT50/ml) fue clarificado, luego se inactivó con *binary ethyleneimine* y se formuló en adyuvante oleoso incompleto (MONTANIDE ISA 50 V2, Seppic) en una relación 40% de antígeno y 60% de adyuvante.

Diseño experimental y vacunación de grupos experimentales

Se seleccionaron 12 vacas adultas preñadas, con un título de anticuerpos neutralizantes igual o inferior a 64 por seroneutralización viral, las cuales fueron divididas en dos grupos experimentales (6 vacas por grupo): grupo vacunado (GV) y grupo control (GC). Las vacas del grupo vacunado fueron inoculadas con 5 ml por la vía intramuscular en la tabla del cuello, con la vacuna de VRSB inactivo formulada en adyuvante oleoso. Las vacas del grupo control no fueron vacunadas. Los animales fueron inoculados 90 y 60 días antes del parto.

Recolección de muestras

Las muestras de sangre fueron extraídas por punción de vena yugular usando tubos estériles sin anticoagulante. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rfc y los sueros fueron conservados a -20 °C hasta su análisis. Los tiempos

de sangría en las vacas (GV y GC) fueron: 90 (T0), 60 (T1) y 30 (T2) días antes del parto, al parto (T3) y luego a los 60 (T4) y 120 (T5) días posparto.

Nacieron un total de 12 terneros; 7 terneros (2 fueron mellizos) fueron hijos del GV (TNGV) y 5 del GC (TNGC). Los tiempos de sangría en los terneros fueron: 48-72 horas posparto (T48pp), 1 (T1m), 2 (T2m), 3 (T3m) y 4 meses (T4m) luego del nacimiento.

Ensayo de seroneutralización viral

El ensayo de seroneutralización (SN) para la detección de anticuerpos neutralizantes contra el VRSB se basó en la técnica descrita por Samal *et al.* (1993). Se empleó el método suero variable-virus fijo, donde diluciones variables de sueros problema (seriada base 4) se enfrentaron a una cantidad establecida y fija de virus (100 DICT50/ml). Brevemente, diferentes diluciones de sueros se realizaron en E-MEM: D-MEM y se sembraron por triplicado en placas de 96 pocillos. Luego en cada dilución de suero, se agregó un volumen de la dilución del virus de trabajo en una proporción 1:1. Las placas con la mezcla suero-virus se incubaron a 37 °C en atmósfera de 5% CO₂ y luego se trasvasaron 100 µl de dicha mezcla sobre una monocapa de células MDBK en placas de 96 pocillos. La lectura del ensayo se realizó por observación del ECP entre los 4-5 días posteriores a la infección. Se incluyó un control positivo fuerte, un control positivo débil, un control negativo (sueros de bovino), un control de células sin infectar y el control de la dilución del virus de trabajo. Las muestras se consideraron positivas cuando se observó la inhibición del ECP característico en una dilución determinada (título igual o mayor a 4). El título de anticuerpos neutralizantes se expresó como la inversa de la máxima dilución en la que no se observaba ECP.

Determinación de proteínas totales e inmunoglobulina G total

En las muestras de suero del tiempo T48pp de los terneros se realizó la determinación de proteínas totales (PrT) e inmunoglobulina G total (IgG). El ensayo de proteínas totales se realizó por el método de Biuret por espectrometría utilizando un kit comercial (Proti 2[®], laboratorio Wiener) y siguiendo las instrucciones del fabricante.

La determinación de IgG total se realizó con un ELISA desarrollado "in house". Brevemente, se produjo anticuerpo IgG ovino anti-IgG bovina el cual luego fue purificado por columna de afinidad utilizando resina de Sefarosa 4B activada con CNBr (GE Healthcare). Luego, se sensibilizaron placas Maxisorp fondo chato con el anticuerpo purificado (100 ng/pocillo) y diluido en buffer de pegado, se incubó 1 h a temperatura ambiente y se realizaron lavados con PBS-Tween (0,05%). Posteriormente se agregaron los sueros incógnita a cada pocillo, por duplicado y en diluciones 1/1000000 usando como diluyente PBS-Tween (0,05%). Luego, se agregó un anticuerpo comercial de ca-

bra anti IgG bovina conjugado con peroxidasa (Jakson) se incubó durante 1 h y se reveló con solución de ABTS. Los resultados fueron determinados por medio de una curva del tipo regresión logística de 4 parámetros (4PL), construida a partir de concentraciones conocidas (500 ng/ml – 0,68 ng/ml) de un suero de referencia bovino comercial (Bethyl, RS10-103).

Análisis estadístico

El análisis se realizó mediante el software estadístico GraphPad Prism 7.04 for Windows, (GraphPad Software, La Jolla California, EUA). Se presentaron las medias aritméticas y los errores estándar de AN, proteínas totales e IgG total. Las diferencias entre los valores de las medias de AN entre los grupos vacunados y grupo control (tanto en vacas como en los terneros nacidos) para cada tiempo se analizaron mediante t-Test. Un $p < 0,05$ fue considerado estadísticamente significativo en todos los casos. Posteriormente, se realizó un análisis de ANOVA de dos vías (medidas repetidas en el tiempo) para evaluar el efecto de los tratamientos en promedio, y de observarse diferencias entre tratamientos, en caso de ser constante, se consideró un $p < 0,1$.

El ternero 26, nacido en el grupo de vacas vacunadas, se excluyó del análisis estadístico debido a que se corroboró que tuvo un calostrado deficiente 48 horas posparto.

RESULTADOS

El estado corporal de todas las vacas durante el periodo de ensayo estuvo comprendido entre 3,5 y 4 de score (datos no presentados en los resultados). Los resultados de SN viral en las vacas se muestran en la tabla 1. SSe consideró que un animal seroconvirtió cuando el título de AN había variado en un total de 2 diluciones base 4. Todas las vacas del grupo vacunado seroconvirtieron 60 días posteriores a la segunda vacunación ($p < 0,05$). Los títulos de anticuerpos alcanzaron niveles máximos 90 días después de la primera vacunación y luego comenzaron a disminuir. Sin embargo, la mayoría de los animales presentaron altos títulos (> 128) de anticuerpos al día 210. Ninguno de los animales del grupo control seroconvirtió durante el ensayo ($p > 0,05$), presentado niveles basales (8-64) de anticuerpos neutralizantes durante toda la experiencia.

Los niveles de proteínas totales e inmunoglobulinas G total a las 48 horas posparto y de AN anti-VRSB en los distintos tiempos de sangría de los terneros nacidos de ambos grupos, se muestran en la tabla 2. No se encontraron diferencias significativas en los niveles de proteínas totales e IgG entre ambos grupos de terneros: terneros nacidos del GV (TNGV) y terneros nacidos de GC (TNGC). Es importante mencionar que las diferencias observadas en los títulos de anticuerpos entre los terneros número 24 y 26 se debieron a una falla en la transferencia pasiva de anticuerpos (FTP) en el ternero número 26.

Grupos experimentales	Vaca/N.º	Título de AN					
		T0 (1.ª Inoc.)	T1 (2.ª Inoc.)	T2	T3 (partos)	T4	T5
Grupo vacunado	1	64	512	512	512	512	512
	2	32	128	128	512	128	64
	3	16	16	32	512	64	32
	4	32	64	512	512	128	128
	5	16	32	64	128	64	64
	6	32	32	32	512	128	64
	X ± E.E.	32,0 ± 7,2	130,7 ± 78,0 a	213,3 ± 95,5 a	448,0 ± 64,0 a	170,7 ± 69,5 a	144,0 ± 74,7 a
Grupo control	15	16	32	64	32	16	16
	16	16	16	16	32	64	16
	17	8	8	16	16	16	16
	18	8	16	16	16	16	16
	19	32	16	64	64	64	32
	20	32	32	32	64	64	64
	X ± E.E.	18,7 ± 4,5	20,0 ± 4,0 b	34,7 ± 9,6 b	37,3 ± 8,9 b	40,0 ± 10,7 b	26,7 ± 7,9 b

Tabla 1. Títulos de anticuerpos neutralizantes (AN) anti-VRSB en grupo de vacas vacunadas y control.

Letras diferentes (a y b) indica diferencias estadísticas significativas entre los grupos en cada tiempo, $p < 0,05$, t-test.

Grupos experimentales	Ternero/N.º	T48pp-Proteínas totales (g/dL)	T48pp-IgG (mg/mL)	Título de AN				
				T48pp	T 1m	T 2m	T 3m	T 4m
TNGV	24	6,82	32,76	64	64	32	16	4
	26*	5,13	6,83	8	16	4	8	4
	62	7,89	82,80	128	64	32	16	4
	68	7,07	111,20	128	128	16	68	16
	23	10,17	42,30	128	64	128	4	ND
	77	6,63	113,50	128	64	16	4	4
	64	10,41	34,90	128	32	16	8	2
	X ± E.E.	8,17 ± 0,70	69,58 ± 15,43	117,3 ± 13,7	69,3 ± 13,7 a	40,0 ± 13,7 a	19,3 ± 13,7	6,0 ± 2,5
TNGC	9	6,35	72,90	16	8	8	4	4
	46	6,9	19,20	128	8	4	ND	ND
	36	10,77	45,69	128	64	32	2	2
	63	6,22	64,20	32	8	4	4	ND
	41	8,44	56,90	128	128	16	16	4
	X ± E.E.	7,74 ± 0,85	51,78 ± 9,29	86,4 ± 15,0	43,2 ± 15,0 b	12,8 ± 15,0 b	6,5 ± 16,7	3,3 ± 0,7

Tabla 2. Proteínas totales, Inmunoglobulina G total y anticuerpos neutralizantes (AN) anti-VRSB en los terneros nacidos.

*ternero N.º 26 excluido del análisis estadístico debido a que se corroboró un calostrado deficiente. Letras diferentes (a y b) indican diferencias estadísticas significativas entre los grupos en cada tiempo, p<0,05, t-test.

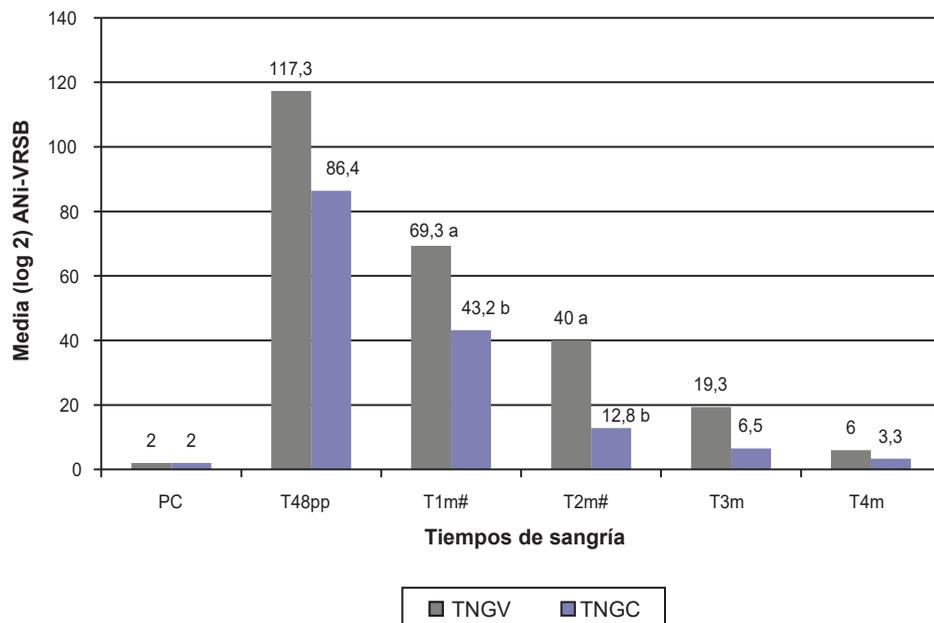


Figura 1. Título de anticuerpos neutralizantes (AN) anti-VRSB (medias) en terneros nacidos del grupo de vacas vacunadas (TNGV; barras grises) y del grupo de vacas control (TNGC; barras violetas). Las medias de anticuerpos fueron significativamente más altas en el T1m y T2m de los terneros del GV. La disminución fue más marcada en el GC. PC: precalostrado.

Los terneros nacidos del grupo de vacas control mostraron un aumento en los títulos de anticuerpos al nacer según los niveles basales de anticuerpos neutralizantes de sus respectivas vacas. Los títulos de anticuerpos maternos comenzaron a disminuir en el tiempo 60 en los terneros nacidos de vacas vacunadas ($p < 0,05$), mientras que en el grupo control los niveles de anticuerpos disminuyeron severamente, inmediatamente después del nacimiento ($p < 0,05$).

El análisis de medidas repetitivas demostró una diferencia promedio a lo largo del tiempo entre los 2 grupos experimentales ($p = 0,887$). A su vez, es importante resaltar la importancia que presenta la variabilidad de la respuesta humoral entre individuos de un mismo grupo en la justificación de la variación total del ensayo ($p = 0,908$). Estos resultados nos permiten afirmar que la curva de decaimiento de AN en los terneros nacidos de hembras vacunadas previamente al parto es diferente que la de los terneros de hembras no vacunadas que previamente habían tenido contacto con el agente viral (*no naïve*). No se pudo encontrar evidencia de correlación positiva entre los valores apareados de AN de cada hembra parto con los niveles de AN de cada ternero el primer día de vida ($p < 0,5$), dado, presumiblemente, por la alta variabilidad entre individuos y el número relativamente reducido de animales utilizado en este ensayo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron los niveles y la duración de anticuerpos maternos anti-VRSB en los terneros nacidos y se demuestra que la vacunación de las vacas en el parto con una vacuna experimental inactiva para el VRSB con 10^5 DICT50/ml es eficaz en estimular la respuesta inmune humoral, la cual es transferida vía calostro, a sus terneros. La inmunidad materna brindada por el calostro ingerido al nacimiento es esencial para prevenir las enfermedades entéricas y respiratorias en los primeros meses de vida del ternero (Hulbert *et al.*, 2016; Quigley *et al.*, 1995). Los intentos de protegerlos de infecciones alimentándolos con calostro de vacas vacunadas en el parto han sido exitosos en muchos casos (Belknap *et al.*, 1991; Makoschey *et al.*, 2012). Cabe mencionar que no solo es importante el título de anticuerpos inducidos por la vacunación, sino también la duración de estos. La inmunidad pasiva proporciona protección contra las enfermedades y es fundamental conocer cuándo descienden los anticuerpos maternos a fin de diseñar cronogramas de vacunación adecuados. En nuestro trabajo la duración de anticuerpos maternos anti-VRSB en los TNGV fue mayor comparado con los TNGC, declinando a los 60 posparto en los TNGV y a los 30 días en los TNGC.

Las infecciones respiratorias en bovinos ocurren frecuentemente en novillos en engorde a corral o terneros de guachera y recría en tambo (Brodersen, 2010). En establecimientos de cría el destete hiperprecoz (30 días de vida) es una situación de riesgo para las infecciones respiratorias virales (Gonzales *et al.*, 2013). Otra situación que hemos observado en los últimos años es la presentación de

infecciones respiratorias en terneros menores de 60 días de vida, sobre todo en rodeos de cría con un manejo intensivo. En el servicio de diagnóstico de la EEA Marcos Juárez (INTA) en el año 2015 tuvimos 2 brotes de CRB en campos de cría en terneros de 45 y 60 días de vida al pie de sus madres (información no publicada). Posiblemente, en la medida que se intensifiquen los campos de cría o se realice el destete hiperprecoz, las infecciones respiratorias podrían generar un alto impacto económico. La vacunación con agentes del CRB en parto podría ser una herramienta en los casos antes mencionados y por ello es importante realizar estudios relacionados con inmunidad calostrual en terneros de cría, ya que la mayor parte de los trabajos que evalúan la inmunidad calostrual se realizaron con terneros Holstein Friesians (Belknap *et al.*, 1991; Dudek *et al.*, 2014; Tunker y Yesilbag, 2015).

Los valores de AN anti-VRSB en los terneros de ambos grupos experimentales no fueron estadísticamente significativos a las 48 horas posparto. Esto no es coincidente con otros reportes (Dudek *et al.*, 2014; Belknap, *et al.*, 1991) donde sí observaron diferencias significativas en cuanto al nivel de anticuerpos en la primera semana de vida. Esta diferencia podría explicarse debido a que, en dichos trabajos, utilizaron como grupo control terneros alimentados con calostro proveniente de vacas seronegativas, en cambio en nuestro estudio el grupo de vacas control eran seropositivas, con niveles basales de anticuerpos ($16,0 \pm 3,6$). El hecho de haber utilizado vacas seropositivas para el GC en nuestro experimento fue lo que generó que sus terneros (TNGC) tengan AN anti-VRSB en sangre ($86,4 \pm 25,6$), incluso con niveles superiores al de sus madres al momento del parto ($34,0 \pm 8,9$).

La duración de los anticuerpos maternos en los terneros puede variar en función del estatus inmunológico de las madres y de la cantidad y calidad de calostro ingerido. Para el VRSB, IP3, DVB y HVB-1 se reporta que se requieren 6 meses o más para que los anticuerpos maternos no se detecten en circulación (Van der Pol *et al.*, 1999; Fulton *et al.*, 2004). En nuestro trabajo evaluamos la cinética de anticuerpos hasta los 120 días posparto y observamos que la duración de los AN anti-VRSB maternos en terneros nacidos de vacas vacunadas permanecieron con diferencias estadísticamente significativas entre los terneros nacidos de los grupos GV y GC hasta los 60 días posparto. Dudek *et al.* (2014) realizaron estudios sobre la durabilidad de la inmunidad calostrual en terneros Holstein Friesians utilizando calostro de vacas vacunadas en el parto con vacunas comerciales inactivas de el VRSB, IP3, y *M haemolytica*. En dicho trabajo, los anticuerpos maternos anti-VRSB fueron significativamente más altos en los terneros nacidos de vacas vacunadas y permanecieron esas diferencias hasta incluso los 84 días de vida. A nuestro entender, las diferencias encontradas se podrían deber a diferentes condiciones experimentales ya que, Dudek *et al.* (2014) administraron a los terneros artificialmente calostro a razón de 2 litros por ternero durante 3 días consecutivos, mientras que en nuestro trabajo las condiciones de calostrado fueron naturales sin intervención del hombre. Otra explicación

es que las diferencias observadas podrían deberse a las diferentes metodologías utilizadas en la medición de anticuerpos. En el trabajo de Dudek *et al.* (2014) utilizaron un ELISA mientras que en este trabajo se utilizó la SN viral. Nuestra elección de utilizar la prueba de SN viral para medir anticuerpos se basó en el hecho de que los AN serían los responsables de neutralizar la partícula viral, otorgando protección frente a la infección. Estos anticuerpos son en su mayoría anticuerpos contra las proteínas F y G del VRSB y se consideran importantes en la inducción de la respuesta inmune (Kimman y Westenbrink, 1990). En cambio, la técnica de ELISA mide anticuerpos totales, sean o no neutralizantes, y a esto se podría deber la subestimación relativa de anticuerpos circulantes entre este reporte y los resultados de Dudek *et al.* (2014).

Estudios serológicos utilizando SN viral evaluaron la dinámica de infección de VRSB, IP3, HVB-1 y DVB en rodeos lecheros de Turquía y determinaron que los títulos de anticuerpos maternos para los diferentes virus declinaban a los 60 días de vida (Tunker y Yesilbag, 2015). Sin embargo, el valor de la media del título de anticuerpo contra el VRSB en los terneros a los 30 y 60 días fue marcadamente más alto a los observados en nuestro estudio. A diferencia de lo que sucedió en nuestra experiencia, en el trabajo de Tunker y Yesilbag (2015) observaron seroconversión durante el periodo de evaluación en los primeros meses de vida, además de que no tenían un grupo control. Por ello, es difícil saber, si dichos anticuerpos fueron producto de infección natural o inmunidad pasiva transferida por el calostro. La media del título de AN anti-VRSB en el tiempo T48pp de los terneros nacidos de madres vacunadas en nuestro estudio (117,3) fue similar a lo observado por Belknap *et al.* (1991) y Fulton *et al.* (2004).

En los sueros de los terneros a las 48 horas posparto no se observaron diferencias estadísticas significativas en los niveles de PrT e IgG de ambos grupos experimentales y lo mismo fue observado por Dudek *et al.* (2014). En nuestro estudio una de las vacas parió terneros mellizos y uno de ellos fue excluido del análisis estadístico debido a que se pudo constatar FTPA. El valor de PrT (5,13 g/dL) e IgG (6,83 mg/mL) en el ternero 26 estuvo por debajo de los valores de referencia (PrT: 6-8 g/dL y IgG: 10 mg/mL). Se observó con el análisis individual del ternero 26, que este tuvo diferencias importantes en los niveles de AN anti-VRSB comparado con el resto de los animales y esta diferencia fue debido a una FTPA. La FTPA en el ternero 26 podrían adjudicarse a dos causas, por un lado, que el ternero 26 fue el último en nacer y su madre ya no tenía el calostro suficiente o que, debido al parto prolongado de ambos mellizos, los niveles de absorción de IgG en el ternero 26 fueron bajos. Es reportado que los terneros que experimentan distocia o partos prolongados tienen más baja absorción de IgG1 de calostro debido a que experimentan acidosis respiratoria (Hulbert y Moisés, 2016).

Al igual que la vacuna utilizada en nuestro ensayo, todas las vacunas de VRSB vivas o inactivadas existentes en el mercado son productos con una sola cepa viral, y actualmente no hay suficiente información epidemiológica

sobre la virulencia y la prevalencia de las cepas de VRSB para considerar la inclusión de más de 1 cepa viral en una vacuna. De hecho, datos limitados sugieren que una vacuna combinada (subgrupo A más el subgrupo B) puede no ser necesario (Schrijver *et al.*, 1998). Los anticuerpos neutralizantes protectores están dirigidos contra la proteína F, la cual, es la proteína más conservada entre las diferentes cepas circulantes de VRSB. Cabe señalar que la clasificación de subgrupos VRSB se basa en unos pocos anticuerpos monoclonales contra las mutaciones puntuales de glicoproteína G (Furze *et al.*, 1994) y no hay suficiente datos disponibles para correlacionar la virulencia con la designación de cepa o subgrupo.

Basados en nuestros resultados, concluimos que los anticuerpos maternos aportados por el calostro de vacas vacunadas en el parto comienzan a declinar a los 60 días de vida. Luego, los títulos de anticuerpos descienden significativamente. En este sentido, podría recomendarse una primera vacunación de los terneros a los 2 meses de vida, en caso de que vacunen en el parto a las vacas, ya que los niveles de anticuerpos maternos no interferirían con la respuesta a la vacunación. Debido a la naturaleza de las vacunas inactivas, sería necesaria una segunda dosis entre los 21-30 días posteriores. Sin embargo, en este contexto de vacunación queda una ventana temporal en la cual los animales pueden presentar escasa inmunidad calostroal y todavía no desarrollaron inmunidad vacunal. Esto demuestra que, en conjunto con un plan vacunal racional, debe tenerse en cuenta un manejo integral de la sanidad del rodeo donde otras intervenciones busquen reducir el riesgo de infección (reducción de las maniobras estresantes). Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian la necesidad de desarrollar nuevas vacunas capaces de aumentar los niveles y la duración de la inmunidad materna transferida por el calostro. Asimismo, resultaría interesante contar con vacunas que puedan ser aplicadas a los terneros, aun con altos títulos de anticuerpos maternos. Finalmente, consideramos importante revisar los cronogramas y estrategias de vacunación a fin de mejorar la inmunidad transferida a los terneros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales responsables del módulo de producción animal de la EEA Marcos Juárez (INTA); Andrés Kloster y Néstor Latimori y a los colaboradores en la realización de las tareas de campo; Miguel Ángel Mercado y Ariel Pérez. Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA-PNSA-1115054, INTA-PNBIO 1131034 y Fundación ArgenINTA.

BIBLIOGRAFÍA

- BAGNIS, G.; GIRAUDO, J.; SUTIL, S.; TORRES, C.; MARTIN, V.; RAVIOLO, J.; SAVORETTI, C.; SABINI, L.P. 1999. Aislamiento y detección antigénica del virus sincitial respiratorio bovino en la Argentina. *Rev Med Vet* 80 (3), 535-550.
- BELKNAP, E.B.; BAKER, J.C.; PATTERSON, J.S.; WALKER, R.D.; HAINES, D.M.; CLARK, E.G. 1991. The role of passive im-

munity in bovine respiratory syncytial virus-infected calves. *J Infect Dis* 163 (3), 470-6.

BOWLAND, S.L.; SHEWEN, P.E. 2000. Bovine respiratory disease: commercial vaccines currently available in Canada. *Can Vet J* 41, 33-48.

BRODERCEN, B.W. 2010. Bovine respiratory syncytial virus. *Vet Clin Food Anim* 26, 323-333.

DUDEK, K.; BEDNAREK, D.; AYLING, R.D.; SZACAWA, E. 2014. Stimulation and analysis of the immune response in calves from vaccinated pregnant Cows. *Res Vet Sci* 97, 32-37.

ELLIS, J.A.; WEST, K.; WALDNER, C.; RHODES, C. 2005. Efficacy of a saponin-adjuvanted inactivated respiratory syncytial virus vaccine in calves. *Can Vet J* 46, 155-162.

FERELLA, A.; PÉREZ AGUIRREBURUALDE, M.S.; MARGINEDA, C.; AZNAR, N.; SAMMARRUCO, A.; DUS SANTOS, M.J.; MOZGOVOJ, M. 2017. Bovine respiratory syncytial virus seroprevalence and risk factors in feedlot cattle from Córdoba and Santa Fe, Argentina. *Rev Argen Microbiol* 50 (3), 275-279.

FULTON, R.W.; BRIGGS, R.E.; PAYTON, M.E.; CONFER, A.W.; SALIKI, J.T.; RIDPATH, J.F.; BURGE, L.J.; DUFF, G.C. 2004. Maternally derived humoral immunity to bovine viral diarrhoea virus (BVDV) 1a, BVDV 1b, BVDV2, bovine herpesvirus-1, parainfluenza-3 virus, bovine respiratory syncytial virus, *Mannheimia haemolytica* and *Pasteurella multocida* in beef calves, antibody decline by half-life studies and effect on response to vaccination. *Vaccine* 22, 643-649. FURZE, J.; WERTZ, G.; LERCH, R.; TAYLOR, G. 1994. Antigenic heterogeneity of the attachment protein of bovine respiratory syncytial virus. *J Gen Virol* 75 (2): 363-70.

GONZALEZ, D.D.; VITTONI, J.S.; LADO, M.; BIOLATTO, A.; MOZGOVOJ, M.V.; FERELLA, A.; SAMMARRUCO, A.; MAIDANA, S.; ROMERA, A.; PARREÑO, V.G.; DUS SANTOS, M.J. 2013. Detection of antibodies against bovine herpes virus 1, bovine viral diarrhoea virus and bovine respiratory syncytial virus in early and ultra-early weaned beef calves. *Am J Anim Vet Sci* 8 (4): 210-219.

GORDEN, P.J.; PLUMMER, P. 2010. Control, management, and prevention of bovine respiratory disease in dairy calves and cows. *Vet Clin Food Anim* 26, 243-259.

HULBERT, L.E.; MOISÁ S.J. 2016. Stress, immunity, and the management of calves. *J Dairy Sci* 99, 3199-3216.

HUSBAND, A.J.; LASCELLES, A.K. Antibody responses to neonatal immunization in calves. *Res Vet Sci* 1975; 18:201-7.

KIMMAN, T.G.; WESTENBRINK, F. 1990. Immunity to human and bovine respiratory syncytial virus. *Arch Virol* 112, 1-25.

MAKOSCHEY, B.; RAMAGE, C.; REDDICK, D.; RNASER, S.; DONACHIE, W. 2012. Colostrum from cattle immunized with a vaccine based on iron regulated proteins of *Mannheimia haemolytica* confers partial protection. *Vaccine* 30, 969-973.

ODEÓN, A.C.; SPÄTH, E.J.A.; PALOMA, E.J.; LEUNDA, M.R.; FERNÁNDEZ SAINZ, I.J.; PÉREZ, S.E.; KÁISER, G.G.; DRAGHI, M.G.; CETRÁ, B.M.; CANO, A. 2001. Seroprevalencia de la diarrea viral bovina, herpesvirus bovino y virus sincicial respiratorio en Argentina. *Rev Med Vet* 82 (4), 216-220.

PATEL, J.R.; DIDLICK, S.A. 2004. Evaluation of efficacy of an inactivated vaccine against bovine respiratory syncytial virus in calves with maternal antibodies. *Am J Vet Res* 65 (4), 417-21.

QUIGLEY, J.D.; MARTIN, K.R.; BEMIS, B.A.; POTGIETER, L.N.D.; REINEMEYER, C.R.; ROHRBACH, B.W.; DOWLEN, H.H.; LAMAR, K.C. 1995. Effects of Housing and Colostrum Feeding on Serum Immunoglobulin, Growth, and Fecal Scores of Jersey Calves. *J Dairy Sci* 78 (4).

REED, L.J.; MUENCH, H. 1938. A simple method of estimating fifty percent end points. *Am J Hyg* 27: 493-97.

SAMAL, S.K.; MANOJ, K.P.; MACPHILLIPS, T.; CARMEL, D.K.; MOHANTY, S.B. 1993. Reliable confirmation of antibodies to bovine respiratory syncytial virus (BRSV) by enzyme-linked immunosorbent assay using BRSV nucleocapsid protein expressed in insect cells. *J Clin Microbiol* 31 (12): 3147-52.

SCHRIJVER, R.S.; LANGEDIJK, J.P.; MIDDEL, W.G.; KRAMPS, J.A.; RIJSEWIJK, F.A.M.; VAN OIRSCHOT, J.T. 1998. A bovine respiratory syncytial virus strain with mutations in subgroup specific antigenic domains of the G protein induces partial heterologous protection in cattle. *Vet Microbiol* 63:159-175.

SCTOTT, E.J.; TAYLOR, G. 1985. Respiratory syncytial virus; brief review. *Arch. Virol.* 84: 1-52.

STOKKA, G.L. 2010. Prevention of respiratory disease in cow/calf operations. *Vet Clin Food Anim* 26, 229-241.

TUNKER, P.; YESILBAG, K. 2015. Serological detection of infection dynamics for respiratory viruses among dairy calves. *Vet Microb* 180,180-185.

VAN DER POEL, W.H.; BRAND, A.; KRAMPS, J.A.; VAN OIRSCHOT, J.T. 1994. Respiratory syncytial virus infection in human beings and in cattle. *J Infect* 29, 215-228.

VAN DER POEL, W.H.; MIDDEL, W.G.; SCHUKKEN, Y.H. 1999. Antibody titer against bovine respiratory syncytial virus in colostrum-fed dairy calves born in various seasons. *Am J Vet Res* 60, 1098-1101.

VERHOEFF, J.; VAN DER BAN, M.; VAN NIEUWSTADT, A.P. 1984. Bovine respiratory syncytial virus infections in young dairy cattle: clinical and hematological findings. *Vet Rec.* 114, 9-12.

VIUFF, A.; UTTENTHAL, A.; TEGTMEIER, C.; ALEXANDERSEN, S. 1996. Sites of replication of bovine respiratory syncytial virus in naturally infected calves as determined by in situ hybridization. *Vet Pathol* 33:383-390.

Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana

BLANCO, L.J.¹; DURANTE, M.²; FERRANTE, D.³; QUIROGA, R.E.⁴; DEMARÍA, M.⁵; DI BELLA, C.M.⁶

RESUMEN

Las regiones extrapampeanas sostienen una porción relevante de la producción ganadera de Argentina (bovinos, caprinos, ovinos y camélidos), sustentada principalmente por el aporte forrajero de la vegetación nativa. En este contexto, es fundamental generar herramientas que permitan un manejo forrajero sustentable de estos ambientes. Para ello, el INTA implementó en 2006 una red nacional de sitios de monitoreo forrajero de la vegetación nativa. En este trabajo se analizó la productividad forrajera de 179 sitios extrapampeanos involucrados en la red (productividad anual promedio de entre 3 a 6 años). Se detectaron asimetrías regionales en cuanto a la disponibilidad de sitios monitoreados y a la longitud de las series de datos de productividad forrajera. Las regiones mejor representadas fueron el distrito ñandubay del Espinal, las estepas patagónicas, el extremo occidental de la provincia fitogeográfica chaqueña y la Puna catamarqueña. Contrariamente, el distrito oriental de la provincia fitogeográfica chaqueña, la porción central del Monte y la provincia Paranaense fueron detectadas como regiones de vacancia. En 101 de los 179 sitios de la red, la productividad forrajera herbácea (PFH) fue inferior a 1.000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Lo mismo ocurrió con la productividad forrajera leñosa (PFL) en los 85 sitios evaluados. Los mayores valores de PFH se reportaron en mallines de Patagonia, vegas de la

Autores en colaboración: Adema, E.⁷; Agüero, W.¹; Ahumada, R.⁴; Andrade, M.³; Arroyo, D.N.⁵ Barraza, G.⁸; Behr, S.⁹; Bendersky, D.¹⁰; Biurrun, F.¹; Buono, G.⁹ Butti, L.⁷; Caruso, C.¹¹; Celdran, D.J.⁵; Chicahuala, M.S.⁵; Ciari, G.¹¹; Gaitan, G.¹²; García Martínez, G.¹¹; Kunst, C.⁸; Lezana, L.¹³; Lopez, J.⁸; Luisoni, L.¹⁴; Martini, J.P.⁵; Massa, E.¹³; Massara Paletto, V.¹²; Murray, F.¹⁵; Nakamatsu, V.⁹; Oliva, G.³; Opazo, W.¹¹; Oricchio, P.⁶; Pizzio, R.¹⁰; Siffredi, G.¹²; Teruel, D.¹; Torres, V.³; Utrilla, V.³; Vargas, P.³; Vázquez, P.⁷; Villablanca, M.¹⁶

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) La Rioja, Ruta Nacional N.º 38 km 267 altura paraje La Llanura CC 26 (5380), Chamental, La Rioja. Correo Electrónico: blanco.lisandro@inta.gob.ar. ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concepción del Uruguay, Ruta Provincial 39 km 143,5 (3260), Concepción del Uruguay, Entre Ríos. ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Cruz, Mahatma Gandhi 1322 (9400), Río Gallegos, Santa Cruz. ⁴Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Catamarca, Ruta Provincial N.º 33 km 4 (4705) Sumalao, Valle Viejo, Catamarca. ⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) San Luis, Ruta Nacional 7 y 8 (5730), Villa Mercedes, San Luis. ⁶Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Clima y Agua, Nicolás Repetto de los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires. ⁷Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional (CR) La Pampa, Av. Agustín Spinetto 785 (6300), Santa Rosa, La Pampa. ⁸Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero, Jujuy 850 (4200), Santiago del Estero. ⁹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Chubut 25 de Mayo 4870 (9100), Trelew, Chubut. ¹⁰Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mercedes, Juan Pujol al Este s/n (3470), Mercedes, Corrientes. ¹¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Esquel, Chacabuci 513 (9200), Esquel, Chubut. ¹²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bariloche, Modesta Victoria 4450 (8400), San Carlos de Bariloche, Río Negro. ¹³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná, Ruta 11, km 12,5 (3101), Oro Verde, Paraná, Entre Ríos. ¹⁴Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Reconquista, Ruta 11 km 773 (3567), Reconquista, Santa Fe. ¹⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior, Ruta Nacional 3 km 971, Camino 4 IDEVI (8500), Viedma, Río Negro. ¹⁶Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Río Negro, Belgrano 544 (8500), Viedma, Río Negro.

Recibido 23 de marzo de 2017 // Aceptado 17 de julio de 2018 // Publicado online 01 de mayo de 2019

Puna, el distrito de ñandubay en el Espinal y en comunidades vegetales ribereñas de Entre Ríos. Mientras que la PFH de humedales aumentó significativamente con el incremento de la temperatura media anual (TMA), la PFH de sitios no correspondientes a humedales aumentó con la precipitación media anual (PMA). Finalmente, se observó que sitios históricamente sobrepastoreados presentaron valores de PFH muy inferiores a sitios sometidos a pastoreo más conservativo. Los resultados de este trabajo aportan información relevante para la planificación forrajera de la ganadería a escala regional, y también pueden ser utilizados como insumo para la calibración de modelos de estimación de la productividad forrajera basados en el uso de sensores remotos.

Palabras clave: recursos forrajeros, vegetación nativa, ganadería extrapampeana.

ABSTRACT

In Argentina, a significant portion of livestock production (cows, goats, sheeps and camelids) is sustained by the extra-pampean region, mainly supported by the forage contribution of native plant communities. In this context, it is essential to generate tools that allow a sustainable forage management of these environments. During 2006, INTA implemented a national network for monitoring forage productivity of native plant communities. We analyzed the forage productivity of 179 extra-pampean sites involved in the network. We detected regional asymmetries in relation to the number of monitored sites and the length of forage productivity data-sets. The best-represented regions were the “ñandubay” district of the Espinal phytogeographical province, the Patagonian steppes, the western end of the Chaco province, and the Puna in Catamarca. Herbaceous forage productivity (HFP) was less than 1,000 kg ha⁻¹ year⁻¹ in 101 of the 179 sites, and the same was true for woody forage productivity (WFP) in the analyzed 85 sites. The highest HFP values were reported in wetlands of Patagonia (“mallines”) and Puna (“vegas”), the “ñandubay” district of the Espinal and riparian communities of Entre Ríos. While the HFP in the wetlands increased significantly with the increase of mean annual temperature (MAT), the HFP of non-wetland sites increased with mean annual rainfall (MAP). Finally, we observed that overgrazed sites had HFP values lower than those sites subject to conservative grazing. These results could be relevant for planning livestock production at regional scale, as well as an input for forage productivity models based on remote sensing.

Keywords: forage resources, native plant communities, extra-pampean livestock production.

INTRODUCCIÓN

En las regiones extrapampeanas se desarrolla la mayor proporción de la producción ganadera de Argentina (SIGSA, 2015), con 30 millones de cabezas bovinas (59% del total nacional), 12 millones de ovinos (de un total de 15 millones) y casi la totalidad de la producción caprina (4,7 millones de existencias). Estos sistemas productivos son mayoritariamente extensivos y se sustentan por el aporte forrajero de la vegetación nativa (Ragonese, 1967). Las pasturas exóticas implantadas hacen un aporte significativamente menor y generalmente se utilizan estratégicamente para cubrir baches nutricionales (Sistema nacional de diagnóstico, planificación, seguimiento y prospección forrajera en sistemas ganaderos, 2016).

Los pastizales naturales son aquellas tierras no cultivadas que proveen las necesidades vitales para animales de pastoreo y tienen vegetación dominada por gramíneas, arbustos, hierbas o gramínoideas (Holecheck *et al.*, 2004; Anderson *et al.*, 2011). En Argentina estos ecosistemas se encuentran amenazados por procesos de degra-

dación, especialmente en ambientes áridos y semiáridos. Recientemente fue analizado el estado actual del deterioro de los recursos naturales de Argentina (Casas y Albaracín, 2015), presentándose datos cuantitativos respecto a la pérdida de productividad, cambios de estructura en la vegetación y aceleración de procesos erosivos del suelo en las diferentes regiones del país. En la región patagónica se observó que el 16% de la superficie presentó una tendencia negativa del índice de vegetación normalizado (NDVI) a lo largo de las últimas 3 décadas, lo cual podría estar asociado en una reducción de la productividad primaria neta aérea (PPNA) y consecuentemente de la capacidad de carga de dichos ecosistemas (Nakamatsu *et al.*, 2015; Oliva *et al.*, 2016). La cuarta parte de los pastizales pampeanos de San Luis presentó porcentajes de suelo desnudo superiores al 30% (Demaría, 2015). En la región de Los Llanos de La Rioja se determinó que el 45% de la superficie presentaba una reducción del 40% del NDVI potencial (Biurrun *et al.*, 2015). En Santiago del Estero se ha generalizado un proceso que se denomina “homogenización del paisaje del Chaco” (Adámoli *et al.*,

1972), caracterizado por la transformación de los bosques y sabanas en fachinales (lignificación del sistema). Los desencadenantes de este proceso son la tala extendida de bosques y el sobrepastoreo, provocando este último la desaparición del fuego como modelador del paisaje (Kunst *et al.*, 2006; Kunst, 2015).

El ajuste de carga animal considerando la receptividad de los campos ganaderos (Anderson *et al.*, 1980; Passera *et al.*, 1986; Borrelli y Oliva, 2001; Elissalde *et al.*, 2002; Quiroga *et al.*, 2009; Siffredi *et al.*, 2012) y una posterior planificación de estrategias de usos y descansos (Aguilera *et al.*, 2003; Blanco *et al.*, 2009), requieren conocer la productividad forrajera de la vegetación, su fisonomía, composición florística y estado de conservación (Golluscio *et al.*, 2009). Aun cuando los equipos de investigación de manejo de pastizales naturales de INTA, desde su creación, realizan caracterizaciones forrajeras de la vegetación, recién a partir de 2006 se generó un proyecto dedicado exclusivamente al monitoreo forrajero de los pastizales de Argentina. Se enfatizó, entre otros objetivos, implementar una red nacional de sitios de monitoreo forrajero de la vegetación. Esta red se diseñó como una herramienta de diagnóstico y evaluación a largo plazo, del estado forrajero de los diferentes tipos de vegetación a nivel nacional. Asimismo, se pensó que la información recabada facilitaría la calibración de modelos de estimación de la productividad forrajera a partir de datos satelitales (Grigera *et al.*, 2007; Durante *et al.*, 2014), o la implementación de otras metodologías de estimación indirecta del estado y funcionamiento de los recursos forrajeros (Di Bella *et al.*, 2009).

En este trabajo se presenta la información de productividad forrajera de todos los sitios extrapampeanos involucrados en la red. Luego, se discuten los alcances y limitaciones de la información provista por la red. Finalmente, se realiza un análisis sobre los principales controles climáticos y antrópicos de la productividad forrajera de la vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de sitios

La red de monitoreo forrajero de INTA se compone de 179 sitios (tabla 1), de vegetación extrapampeana distribuidos en 8 provincias fitogeográficas de Argentina (figura 1), que incluyen diferentes fisonomías (praderas, estepas gramíneas y arbustivas, matorrales, parques y bosques). Solo se incluyeron algunos sitios pertenecientes a comunidades vegetales de la región pampeana ubicados en ambientes periféricos de esta, como el distrito Paranaense (Cabrera, 1976) y los pastizales pampeanos occidentales (León y Anderson, 1983; Soriano, 1991; Demaría *et al.*, 2016). La selección de estos sitios de monitoreo se realizó contemplando la delimitación de las provincias fitogeográficas de Argentina (Cabrera, 1976), siguiendo una estrategia jerárquica de escalas espaciales (Long, 1968). Para ello se usaron mapas locales de vegetación, generalmente confeccionados para cada provincia o región. Luego, dentro

de cada unidad de vegetación, se seleccionaron visualmente sitios con la ayuda de imágenes satelitales de resolución espacial media o alta (Landsat 5, 7 y 8 o Google Earth).

Para unas pocas regiones pudo definirse dentro del sitio la condición (o estado) del pastizal, para lo que se utilizó la estrategia de “contraste de alambrado” (Bryant *et al.*, 1990; Balling *et al.*, 1998) o “gradiente de pastoreo” (Pickup y Chewings, 1994; Blanco *et al.*, 2008). Esto también se hizo con la ayuda de interpretación visual de imágenes satelitales de resolución espacial media o alta. La condición ecológica de la vegetación se determinó contemplando la cobertura de especies forrajeras deseables (Dyksterhuis, 1949) mediante observación visual en los mismos marcos de corte de biomasa.

Estimación de la productividad forrajera

En cada sitio de estudio se estimó la productividad forrajera herbácea (PFH) mediante cosechas de biomasa (Sala y Austin, 2000). Si bien en 121 sitios conviven especies herbáceas y leñosas, la productividad forrajera aportada



Figura 1. Distribución geográfica de los 179 sitios de monitoreo de la productividad forrajera (PF, círculos), en relación con las provincias fitogeográficas de Argentina (Cabrera, 1976).

por leñosas (PFL) solo se estimó en 85 de estos sitios. La PFL se estimó mediante cosecha de los brotes del año (Holm *et al.*, 2003), excepto en los sitios de La Rioja donde la PFL se estimó a partir de la cobertura aérea leñosa (CAL) mediante una ecuación de regresión calibrada *in situ* ($PFL = 0,86 \text{ CAL} + 12,95$; $p = 0,001$; $r^2 = 0,79$; Blanco *et al.*, 2016). La cantidad de años durante los que se evaluó la PFH y la PFL varió entre sitios; el período de mayor concentración de datos fue 2006-2015 (ver tabla 1).

En la mayoría de los sitios, se instalaron clausuras o jaulas móviles para evitar el pastoreo de animales domésticos durante el período evaluado, y asegurar la cosecha de biomasa producida. El tamaño de las clausuras o jaulas fue variable entre tipos de vegetación, contemplando el tamaño individual de las plantas dominantes dentro del tipo de vegetación. Por ejemplo, mientras que en las estepas arbustivas de la Puna de Catamarca se utilizó una clausura móvil de 6 x 6 m por sitio, en la pradera de pastos cortos de Corrientes se utilizaron 5 jaulas móviles de 0,25 m² por sitio.

La cosecha de biomasa se realizó anualmente (al final del período de crecimiento) en el pico de biomasa (Sala y Austin, 2000), excepto en sitios con alta tasa de crecimiento donde se midieron rebrotes sucesivos (Sala y Austin, 2000). Así, en los sitios ubicados en Entre Ríos y Corrientes la frecuencia de estimación de PFH fue mensual, mientras que en mallines patagónicos y vegas de la Puna la frecuencia de cosecha fue estacional. La rotación de la jaula o clausura se realizó inmediatamente después del momento de la cosecha de biomasa. El material cosechado fue secado en estufa hasta peso constante y luego pesado. PFH y PFL se expresaron en kg ha⁻¹ año⁻¹.

Análisis de datos

Para cada sitio de estudio se estimó el promedio anual de PFH, PFL y productividad forrajera total (PF total = PFH + PFL; ver tabla 1); además, se estimó la precipitación media anual (PMA) mediante pluviómetros ubicados *in situ*. Por lo tanto, nuestro enfoque se inscribe dentro de la lógica de los modelos espaciales de PPNA (sensu Lauenroth y Sala, 1992). La temperatura media anual (TMA) de todos los sitios, y la PMA de algunos sitios que no contaban con pluviómetro (ver tabla 1) se obtuvo de la base de datos de Global Climate data (2016), cuya resolución espacial es de 1 km².

Se realizaron diversos análisis cuantitativos para visualizar los alcances y limitaciones (espaciales y temporales) de la información disponible. Primero, se generó un diagrama climático a partir de la PMA y TMA de cada sitio y se los relacionó con los "límites climáticos" de las provincias fitogeográficas, construidos a partir de información meteorológica recopilada por Cabrera (1976). Luego, se estimó la frecuencia de sitios con diferente cantidad de años de evaluación de la productividad forrajera. Se clasificaron los datos de acuerdo a la provincia fitogeográfica (Cabrera, 1976) a la que pertenecen los sitios evaluados, y se los ordenó en rangos de PFH y PFL.

Se analizó la relación espacial de la PFH y PFL con la PMA y TMA mediante regresión lineal simple o regresión

con punto de quiebre (Robbins *et al.*, 2006). Este análisis se realizó separando aquellos sitios que corresponden a humedales (mallines patagónicos, vegas de la Puna y humedales del litoral de Entre Ríos) del resto de los sitios de estudio, porque corresponden a un tipo de vegetación azonal que reciben aporte de agua de cursos superficiales o subsuperficiales, y por lo tanto se esperaba que su productividad no dependiese tan directamente de las precipitaciones.

Finalmente, se compararon sitios con diferente historia de pastoreo (condición buena/regular versus condición pobre del pastizal) para dos ambientes (matorrales – bosques xerófitos de La Rioja y mallines patagónicos de Chubut), de los cuales se contaba con información de PFH y PFL obtenida en condiciones apareadas. Para ello se utilizó análisis de t para muestras apareadas (Snedecor y Cochran, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Alcances y limitaciones de la información obtenida

Geográficamente, los sitios evaluados se distribuyeron entre los 26 y 52 grados de latitud sur y desde los 57 hasta los 71 grados de longitud oeste (figura 1). Aunque esta distribución representa la totalidad del territorio continental nacional, se pueden observar claras asimetrías regionales en cuanto a la disponibilidad de sitios monitoreados. Las regiones más desprovistas de información dentro de la red fueron el distrito oriental de la provincia fitogeográfica Chaqueña (Chaco y Formosa), la provincia fitogeográfica Paranaense (Misiones), la porción septentrional de la provincia fitogeográfica del Monte (desde Catamarca hasta el norte de Mendoza) y la porción central del Espinal (Córdoba). En estas regiones, donde hay vacíos de información, será necesario mayor esfuerzo de las diferentes instituciones u organizaciones involucradas en la problemática ganadera y ambiental, especialmente en sitios que sostienen mucha producción ganadera basada en ambientes naturales y que aún no tienen bien establecidos sitios de monitoreo.

La variabilidad espacial interna de la productividad forrajera en algunas provincias fitogeográficas fue más ampliamente representada que en otras. Por ejemplo, el "espacio climático" (precipitación – temperatura) que ocupa la vegetación de Patagonia fue relativamente cubierto con la distribución de los sitios evaluados (figura 2). Sin embargo, esto no sucedió para otras regiones. En la provincia fitogeográfica Chaqueña, cuya PMA varía desde menos de 400 mm anuales hasta los 1.400 mm, los sitios para los cuales se evaluó la productividad forrajera se encuentran concentrados entre los 300 y los 600 mm, quedando solo unos sitios evaluados en Santa Fe por encima de esa PMA. En el Monte, los sitios monitoreados se distribuyeron en ambientes con TMA inferior a 15 °C. Finalmente, en yungas solo se evaluó la productividad forrajera en sitios ubicados en Catamarca, donde esta provincia fitogeográfica se presenta casi en su totalidad en ecotono con el distrito Chaco Serrano. Esto puede observarse claramente en la distribución de los sitios dentro del diagrama climático, cuya dispersión es acotada y "fronteriza", quedando sin representación princi-

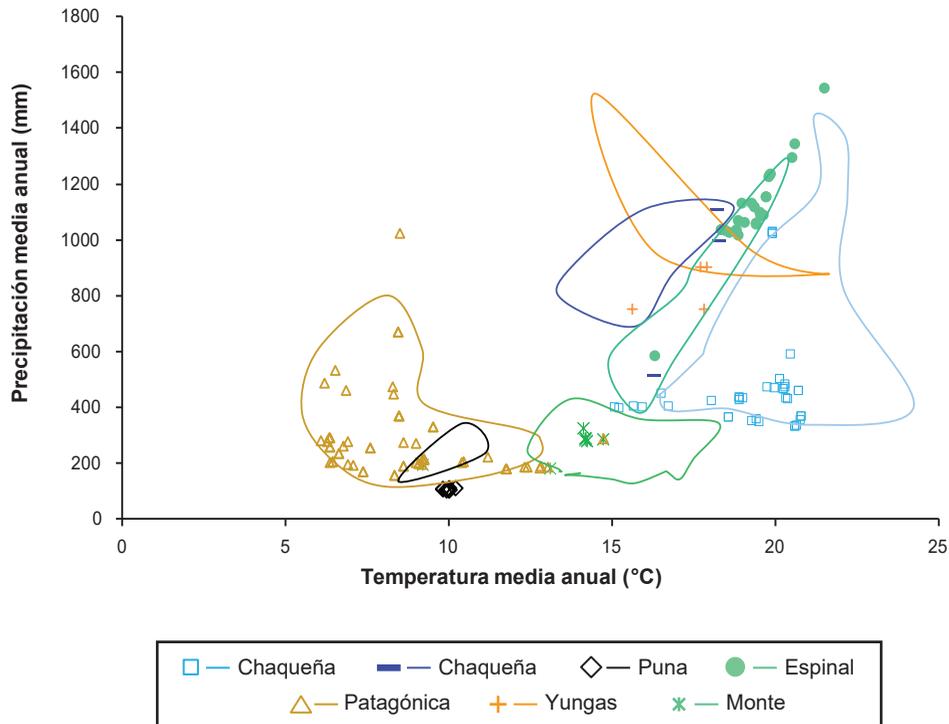


Figura 2. Distribución climática de los sitios de monitoreo de la productividad forrajera (símbolos) en relación con los límites climáticos de las provincias fitogeográficas (Cabrera, 1976) a las que pertenecen (áreas irregulares). La distribución climática de los sitios de monitoreo se generó a partir de la precipitación media anual (PMA, obtenida de datos de pluviómetro cercanos) y de la temperatura media anual (TMA, obtenida de la página web de Global Climate data (<http://www.worldclim.org/bioclim>)). Los límites climáticos de las provincias fitogeográficas se construyeron uniendo los valores de PMA y TMA obtenidos de los diagramas climáticos presentados por Cabrera (1976) para caracterizar las provincias fitogeográficas.

palmente aquellos ambientes con PMA superior a 1.000 mm anuales, los cuales se distribuyen en áreas ubicadas más al norte y con mayor altitud (Cabrera, 1976).

No solo la distribución espacial de los sitios de monitoreo presentó limitaciones, sino también la longitud temporal de las series de datos. El monitoreo forrajero de los pastizales se instaló programáticamente en INTA desde el año 2006, aunque durante el primer trienio fue principalmente una etapa de instalación de los sitios. De esta manera, 84 de 179 sitios presentan series temporales menores a 4 años de datos. La necesidad de series más largas radica en que estas proveen información más consistente en relación con las fluctuaciones temporales de la precipitación, especialmente en ambientes áridos y semiáridos (Noy Meir, 1973; Le Houérou *et al.*, 1988). En nuestro caso, las series de datos más largas disponibles se encuentran en algunos sitios de Chubut, Entre Ríos y Corrientes (ver tabla 1).

Sin embargo, se espera que esta red de monitoreo forrajero sea dinámica, incorporando nuevos sitios, e involucrando diferentes instituciones vinculadas a la problemática ganadera/ambiental. En tal sentido, cabe mencionar que INTA en conjunto con la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Buenos (FAUBA), la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) y el Ministerio de Agroindustria de la

Nación, llevan adelante un proyecto de seguimiento forrajero satelital (Sistema nacional de diagnóstico, planificación, seguimiento y prospección forrajera en sistemas ganaderos, 2016), al cual esta red provee información de campo para la calibración de modelos basados en sensores remotos.

Está proyectado incorporar la información básica que genera esta red, sintetizada en la tabla 1, en un sitio web institucional de información geoespacial denominado SEPA (Herramientas satelitales para el seguimiento de la producción agropecuaria). Para ello se programó incorporar hipervínculos a la tabla 1, que les permitan a los usuarios acceder, para cada sitio, a la fotografía del paisaje, la marcha estacional histórica del NDVI (desde febrero del 2000 hasta la actualidad) y el contacto institucional correspondiente. Se prevé que esta estrategia de visualización de la información permitirá enriquecer la red de monitoreo, facilitar el acceso, y promover la interacción entre los usuarios y los responsables de la información de cada sitio.

Productividad forrajera y fisonomía

La mayoría de los sitios evaluados tienen bajos niveles de PFH (ver figura 7). Así, 101 de los 179 sitios presentaron valores de PFH menores a 1.000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Esto se co-

ID	Provincia	Nombre Sitio	Latitud S	Longitud O	Altitud	Provincia Fitogeográfica
1	La Rioja	Balde El Tala	31,70721	66,01744	294	Chaqueña
2	La Rioja	Balde El Tala	31,80272	66,07364	331	Chaqueña
3	La Rioja	Corral De Isaac	31,90707	66,40428	499	Chaqueña
4	La Rioja	Corral De Isaac	31,91795	66,41677	408	Chaqueña
5	La Rioja	El Hafar	31,03634	66,77366	713	Chaqueña
6	La Rioja	El Hafar	31,03478	66,77342	714	Chaqueña
7	La Rioja	La Jarilla	30,41951	66,00286	334	Chaqueña
8	La Rioja	La Jarilla	30,48564	66,00630	350	Chaqueña
9	La Rioja	Pozo De Rosendo	31,12031	65,90197	301	Chaqueña
10	La Rioja	Pozo De Rosendo	31,11981	65,90086	299	Chaqueña
11	La Rioja	Santa Rosa	31,45075	66,43704	596	Chaqueña
12	La Rioja	Santa Rosa	31,44000	66,40734	598	Chaqueña
13	La Rioja	Médanos Negros	31,59031	66,87097	423	Chaqueña
14	La Rioja	Médanos Negros	31,50662	66,86777	456	Chaqueña
15	La Rioja	Pana	30,60338	65,58916	204	Chaqueña
16	La Rioja	Pana	30,60529	65,58862	204	Chaqueña
17	La Rioja	Santa Elena	30,00465	66,48603	341	Chaqueña
18	La Rioja	Santa Elena	30,00389	66,48648	341	Chaqueña
19	La Rioja	San Javier	29,92161	66,23761	298	Chaqueña
20	La Rioja	San Javier	29,92540	66,44114	327	Chaqueña
21	La Rioja	Casamata	31,33350	65,82579	256	Chaqueña
22	La Rioja	Casamata	31,30578	65,83871	257	Chaqueña
23	La Rioja	La Charito	29,50171	66,12648	312	Chaqueña
24	La Rioja	La Charito	29,47594	66,13835	313	Chaqueña
25	Córdoba	Los Huecos	31,27408	65,57552	260	Chaqueña
26	Córdoba	Los Huecos	31,27461	65,57347	259	Chaqueña
27	La Rioja	Pampa De Las Salinas	31,85138	66,80658	375	Chaqueña
28	La Rioja	El Quemado	30,95921	66,38335	832	Chaqueña
29	La Rioja	Tuani	30,87098	66,50279	1418	Chaqueña
30	La Rioja	Tuani	30,88655	66,51904	1499	Chaqueña
31	La Rioja	Sierra De Los Quinteros	30,60425	66,39318	1164	Chaqueña
32	La Rioja	Sierra De Los Quinteros	30,54246	66,37529	1448	Chaqueña
33	La Rioja	Sierra De Los Quinteros	30,54237	66,37433	1447	Chaqueña
34	Catamarca	Huasi Ciénaga	26,56753	66,93503	3258	Puna (vega)
35	Catamarca	Huasi Ciénaga	26,57087	66,93493	3258	Puna (vega)
36	Catamarca	La Lomita	26,58653	66,93357	3256	Puna (vega)
37	Catamarca	La Lomita	26,58795	66,93558	3262	Puna (vega)
38	Catamarca	Laguna Blanca	26,57655	66,94065	3291	Puna (vega)
39	Catamarca	Laguna Blanca	26,57622	66,94105	3307	Puna (vega)
40	Catamarca	Laguna Blanca	26,60327	66,93768	3247	Puna
41	Catamarca	Laguna Blanca	26,60532	66,91677	3212	Puna (vega)
42	Catamarca	Laguna Blanca	26,60822	66,93518	3211	Puna (vega)
43	Catamarca	Laguna Blanca	26,60812	66,91677	3197	Puna
44	Catamarca	Laguna Blanca	26,60890	66,93682	3215	Puna
45	Catamarca	Laguna Blanca	26,60907	66,93492	3205	Puna (vega)
46	Catamarca	Laguna Blanca	26,68375	66,91738	3267	Puna
47	Catamarca	Laguna Blanca	26,69303	66,92503	3333	Puna

Distrito Fitogeográfico	Condición	PFH	PFL	PF total	Período	PMA	TMA
Occidental	Buena	1208	435		2009 - 2015	370	19,9
Occidental	Pobre	223	500	723	2009 - 2015	370	19,9
Occidental	Buena	741	600	1341	2009 - 2015	350	18,9
Occidental	Pobre	235	722	957	2009 - 2015	350	18,9
Occidental	Buena	1299	413	1712	2009 - 2015	423	18,6
Occidental	Pobre	753	386	1139	2009 - 2015	423	18,6
Occidental	Regular	332	795	1127	2009 - 2015	289	20,4
Occidental	Pobre	79	669	748	2009 - 2015	289	20,4
Occidental	Regular	507	927	1434	2009 - 2015	384	20,3
Occidental	Pobre	72	618	690	2009 - 2015	384	20,3
Occidental	Buena	865	638	1503	2009 - 2015	253	18,9
Occidental	Pobre	517	495	1012	2009 - 2015	253	18,9
Occidental	Regular	433	320	753	2009 - 2015	341	19,4
Occidental	Pobre	122	234	356	2009 - 2015	341	19,4
Occidental	Regular	559	680	1239	2009 - 2015	325	20,7
Occidental	Pobre	158	333	491	2009 - 2015	325	20,7
Occidental	Regular	228	599	827	2009 - 2015	328	20,6
Occidental	Pobre	21	639	660	2009 - 2015	328	20,6
Occidental	Buena	764	799	1563	2009 - 2015	302	20,8
Occidental	Pobre	195	556	751	2009 - 2015	302	20,8
Occidental	Regular	757	678	1435	2009 - 2015	366	20,3
Occidental	Pobre	84	741	825	2009 - 2015	366	20,3
Occidental	Regular	763	222	985	2009 - 2015	268	20,8
Occidental	Pobre	129	398	527	2009 - 2015	268	20,8
Occidental	Buena	1113	729	1842	2009 - 2015	375	20,2
Occidental	Pobre	622	257	879	2009 - 2015	375	20,2
Occidental	Regular	418	418	836	2009 - 2015	230	19,4
Serrano	Regular	919	571	1490	2011 - 2015	544	18,1
Serrano	Pobre	549	707	1256	2011 - 2015	534	15,2
Serrano	Pobre	1424	0	1424	2011 - 2013	460	15,2
Serrano	Regular	518	636	1154	2011 - 2014	737	16,7
Serrano	Regular	912	0	912	2011 - 2015	719	15,8
Serrano	Regular	1491	0	1491	2011 - 2015	719	15,8
Seco		6560	0	6560	2011 - 2015	156	9,9
Seco		6102	0	6102	2011 - 2015	156	9,9
Seco		4330	0	4330	2010 - 2015	156	10,0
Seco		3640	0	3640	2010 - 2015	156	10,0
Seco		7519	0	7519	2010 - 2015	156	10,1
Seco		6093	0	6093	2010 - 2015	156	10,1
Seco		43	687	730	2009 - 2013, 2015	156	10,1
Seco		1150	46	1196	2009 - 2011, 2014, 2015	156	10,1
Seco		1843	0	1843	2009 - 2014	156	10,1
Seco		174	0	174	2009 - 2010	156	10,1
Seco		76	499	575	2009 - 2013, 2015	156	10,1
Seco		395	0	395	2009 - 2010	156	10,1
Seco		392	49	441	2008 - 2015	156	10,1
Seco		345	8	353	2009 - 2015	156	10,1

(continua en la página siguiente)

ID	Provincia	Nombre Sitio	Latitud S	Longitud O	Altitud	Provincia Fitogeográfica
48	Catamarca	Laguna Blanca	26,69282	66,90532	3269	Puna
49	Catamarca	Laguna Blanca	26,72102	66,87637	3234	Puna
50	Catamarca	Sauce Guascho	28,29138	65,43353	1213	Yungas
51	Catamarca	Zucuma	28,32303	65,40292	1057	Yungas
52	Catamarca	Higuera Seca	28,35152	65,50035	1504	Yungas
53	Catamarca	El Taco	28,68965	65,62610	1451	Chaqueña
54	Catamarca	Ipizca	28,85742	65,55275	1034	Yungas
55	Entre Ríos	Spais	31,66978	59,60872	75	Espinal
56	Entre Ríos	Spais Chilca	31,66969	59,61853	75	Espinal
57	Entre Ríos	Stieben	31,55729	59,72502	68	Espinal
58	Entre Ríos	Acevedo	31,41775	59,82634	79	Espinal
59	Entre Ríos	Tomasini	31,33240	59,88659	49	Espinal
60	Entre Ríos	Elena	31,32812	59,70823	69	Espinal
61	Entre Ríos	Abiche	31,18230	59,37269	60	Espinal
62	Entre Ríos	Trovador	31,05729	59,37716	61	Espinal
63	Entre Ríos	Chañar	30,95920	58,81858	71	Espinal
64	Entre Ríos	San Francisco	30,82595	59,50290	49	Espinal
65	Entre Ríos	Genrebert2	30,67802	59,38737	59	Espinal
66	Entre Ríos	Tierra Gaucha	30,68437	59,37676	49	Espinal
67	Entre Ríos	La Colina	30,55099	58,68532	68	Espinal
68	Entre Ríos	La Emilia	30,42189	58,68498	64	Espinal
69	Entre Ríos	Eea_Mixto	32,51770	58,36830	27	Pampeana
70	Entre Ríos	EEA_Arenaprof	32,51762	58,36336	21	Pampeana
71	Entre Ríos	EEA_Arenasom	32,51349	58,36067	18	Pampeana
72	Entre Ríos	Kicho_Sauzal	32,01975	60,65602	13	Pampeana
73	Entre Ríos	Kicho_Canutillar	32,01971	60,65350	13	Pampeana
74	Entre Ríos	Kicho_Catayzal	32,03030	60,65561	12	Pampeana
75	Entre Ríos	Kicho_Pastos cortos	32,03632	60,64979	13	Pampeana
76	Corrientes	Pajonal	29,23153	58,04616	92,6	Espinal
77	Corrientes	Pastos cortos	29,23464	58,03207	102,3	Espinal
78	Corrientes	Flechillar	29,25099	58,02337	105,7	Espinal
79	Corrientes	Stabra	29,84446	58,10522	84,4	Espinal
80	Corrientes	Virita	30,15506	58,84115	65	Espinal
81	Corrientes	Arropoi	30,13364	58,71514	66,8	Espinal
82	Corrientes	Sanluc	28,09205	56,64198	80	Espinal
83	Corrientes	Sanvicsf	29,93359	57,90867	70,3	Espinal
84	Corrientes	Sanvicf	29,93572	57,90933	70,4	Espinal
85	Corrientes	Donabe	28,92524	57,49423	69,9	Espinal
86	Corrientes	Palmitas	28,88215	57,72815	70,7	Espinal
87	Santa Fe	Gramillar de Cañada	29,46278	60,38806	58,4	Chaqueña
88	Santa Fe	Gramillar de Cañada	29,46278	60,38806	58,4	Chaqueña
89	Santa Fe	Abras	29,45055	60,38380	61,5	Chaqueña
90	Santa Fe	Monte Degradado	29,44139	60,38386	60,1	Chaqueña
91	San Luis	La Travesía	34,31031	65,90437	485	Pampeana
92	San Luis	El Tala	34,72984	66,16651	458	Pampeana
93	San Luis	El Mollar	33,72174	65,57000	571	Espinal

Distrito Fitogeográfico	Condición	PFH	PFL	PF total	Período	PMA	TMA
Seco		18	283	301	2008 - 2015	156	10,1
Seco		5	324	329	2009 - 2015	156	10,1
Bosques y prados montanos		2469	0	2469	2011 - 2014	900	17,7
Bosques y prados montanos		3859	0	3859	2011 - 2014	900	17,8
Bosques y prados montanos		4134	0	4134	2011, 2013 - 2015	900	15,6
Serrano		2281	0	2281	2011 - 2014	750	15,6
Bosques y prados montanos		1843	0	1843	2011 - 2013	750	17,8
Ñandubay	Regular	3529	sd	sd	2002 - 2014	1142	18,3
Ñandubay	Buena	3902	sd	sd	2011 - 2014	1046	18,3
Ñandubay	Buena	7490	sd	sd	2011 - 2012	937	18,5
Ñandubay	Buena	4719	sd	sd	2011 - 2012	1167	18,6
Ñandubay	Excelente	2302	sd	sd	2007 - 2014	1098	18,8
Ñandubay	Buena	5430	sd	sd	2011 - 2014	1143	18,8
Ñandubay	Buena	5402	sd	sd	2000 - 2014	1282	18,9
Ñandubay	Regular	4044	sd	sd	2000 - 2014	1250	19,1
Ñandubay	Regular	3302	sd	sd	2000 - 2014	1272	18,9
Ñandubay	Buena	4410	sd	sd	2011 - 2013	1362	19,4
Ñandubay	Buena	6479	sd	sd	2011 - 2014	1451	19,4
Ñandubay	Buena	4693	sd	sd	2011 - 2014	1335	19,4
Ñandubay	Buena	4933	sd	sd	2000 - 2014	1370	19,3
Ñandubay	Regular	3070	sd	sd	2012 - 2013	1043	19,3
Pampa Mesopotámica	Regular	2269	sd	sd	2013 - 2014	1158	18,2
Pampa Mesopotámica	Regular	3169	sd	sd	2013 - 2014	1158	18,2
Pampa Mesopotámica	Regular	3214	sd	sd	2013 - 2014	1158	18,2
Pampa Mesopotámica	Buena	7154	sd	sd	2012	1187	18,3
Pampa Mesopotámica	Buena	24475	0	24475	2012	1187	18,3
Pampa Mesopotámica	Buena	11400	0	11400	2012 - 2013	1058	18,3
Pampa Mesopotámica	Buena	11879	sd	sd	2012 - 2013	1019	18,3
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Buena	4759	0	4759	2007 - 2014	1456	19,8
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Excelente	6230	0	6230	2007 - 2014	1456	19,8
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Regular	3648	0	3648	2007 - 2014	1456	19,8
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Pobre	4187	0	4187	2007 - 2014	1088	19,6
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Buena	5274	0	5274	2009 - 2014	1084	19,5
Ñandubay (Cuchilla mesopotámica)	Regular	6038	0	6038	2010 - 2014	1097	19,5
Ñandubay (Malezal)	Regular	183	0	183	2014	1541	21,5
Ñandubay (Terrazas Río Uruguay)	Buena	7949	0	7949	2012 - 2014	1151	19,7
Ñandubay (Terrazas Río Uruguay)	Buena	9838	0	9838	2013 - 2014	1151	19,7
Ñandubay (Malezal)	Buena	7814	0	7814	2012 - 2014	1341	20,5
Ñandubay (Malezal)	Buena	5725	0	5725	2007 - 2008	1294	20,5
Oriental	Buena	8908	0	8908	1986 - 1987	1073	19,9
Oriental	Buena	6948	0	6948	1986 - 1987	1073	19,9
Oriental	Buena	2565	sd	sd	1986 - 1987	1073	19,9
Oriental	Pobre	774	sd	sd	1986 - 1987	1073	19,9
Pampeano Occidental		2609	0	2609	2012 - 2015	747	16,3
Pampeano Occidental		1387	0	1387	2012 - 2015	729	16,2
Caldén		2207	sd	sd	2014 - 2015	814	16,3

(continua en la página siguiente)

ID	Provincia	Nombre Sitio	Latitud S	Longitud O	Altitud	Provincia Fitogeográfica
94	Santiago del Estero	Las Marías	28,03681	64,29325	199	Chaqueña
95	Chubut	Ea El Maitén	42,02900	71,00875	1159	Patagónica
96	Chubut	Lino Luciano	42,03320	71,00652	1157	Patagónica
97	Chubut	La Cancha	42,79500	70,95427	960	Patagónica
98	Chubut	La Cancha	42,79833	70,95694	962	Patagónica
99	Chubut	La Cancha	42,80139	70,95194	960	Patagónica
100	Chubut	Yague	42,93990	71,17242	937	Patagónica
101	Chubut	Nahuelpan	42,94272	71,16573	875	Patagónica
102	Chubut	La Anita	43,06300	70,66275	818	Patagónica
103	Chubut	La Anita	43,06338	70,66887	816	Patagónica
104	Chubut	El Alfil Sin Quema	44,10547	70,42867	785	Patagónica
105	Chubut	El Alfil Quema	44,10634	70,42872	785	Patagónica
106	Chubut	Laguna	44,36438	70,47253	721	Patagónica
107	Chubut	Laguna	44,36531	70,47331	721	Patagónica
108	Chubut	Pedro Arregui	42,35353	70,52685	1077	Patagónica
109	Chubut	Creton	42,35662	70,52960	1077	Patagónica
110	Chubut	Cholila	42,43114	71,31838	1051	Patagónica (mallín)
111	Chubut	Cholila	42,43114	71,31838	1051	Patagónica (mallín)
112	Chubut	Durruty	44,29885	70,85878	911	Patagónica (mallín)
113	Chubut	Durruty	44,29924	70,87647	906	Patagónica (mallín)
114	Chubut	Chalet	43,98981	70,83777	941	Patagónica (mallín)
115	Chubut	Chalet	43,99018	70,83851	944	Patagónica (mallín)
116	Chubut	Crespo	44,17969	70,55563	819	Patagónica (mallín)
117	Chubut	Crespo	44,18009	70,55184	813	Patagónica (mallín)
118	Chubut	Aldea Escolar	43,12239	71,54576	726	Subantártica (mallín)
119	Chubut	Campo Exp. Río Mayo	45,39900	70,29800	594	Patagónica
120	Chubut	Campo Exp. Río Mayo	45,44100	70,30000	580	Patagónica
121	Chubut	La Ana	45,42700	70,26800	540	Patagónica
122	Chubut	Media Luna	45,58500	71,39100	823	Patagónica
123	Chubut	Alto Río Mayo	45,56700	71,31300	764	Patagónica
124	Chubut	San Felipe	44,20500	66,01500	327	Patagónica
125	Chubut	San Felipe	44,18900	66,05000	328	Patagónica
126	Chubut	La Clara	43,58800	65,38100	211	Patagónica
127	Chubut	Cerro Condor	45,03300	66,39200	33	Patagónica
128	Chubut	La Isabel	44,87400	66,11700	98	Patagónica
129	Chubut	Berna	44,29600	65,35100	56	Patagónica
130	Chubut	Las Piedritas	43,00000	64,58300	115	Monte
131	Chubut	Bahía Cracker	42,98600	65,60300	99	Monte
132	Chubut	Campo Exp. Río Mayo	45,33400	70,22700	537	Patagónica
133	Chubut	Campo Exp. Río Mayo	45,42300	70,36000	553	Patagónica
134	Santa Cruz	El Moscoso	47,19270	68,45200	244	Patagónica
135	Santa Cruz	El Moscoso	47,17113	66,96860	183	Patagónica
136	Santa Cruz	El Moscoso	47,18620	67,07161	189	Patagónica
137	Santa Cruz	Cerro Bombero	48,92136	68,39355	216	Patagónica
138	Santa Cruz	Cerro Bombero	48,93441	68,48363	218	Patagónica
139	Santa Cruz	Cerro Bombero	49,01019	68,49577	231	Patagónica

Distrito Fitogeográfico	Condición	PFH	PFL	PF total	Período	PMA	TMA
Occidental	Pobre	1434	sd	sd	1997 - 2002	651	20,5
Subandino	Buena	614	551	1165	2007 - 2015	604	6,5
Subandino	Regular	190	584	774	2007 - 2015	604	8,5
Subandino	Pobre	241	101	342	2006 - 2015	363	8,5
Subandino	Buena	403	174	577	2006 - 2015	363	8,5
Subandino	Regular	410	134	544	2006 - 2015	363	8,3
Subandino	Buena	904	385	1289	2006 - 2015	607	8,3
Subandino	Regular	672	347	1019	2006 - 2015	607	9,0
Occidental	Regular	422	227	649	2007 - 2015	123	8,6
Occidental	Pobre	275	177	452	2007 - 2015	123	8,3
Occidental	S/ quema	435	219	654	2007 - 2015	334	8,3
Occidental	C/ quema	292	101	393	2007 - 2015	334	8,6
Occidental	Pobre	322	184	506	2007 - 2015	204	8,6
Occidental	Regular	437	302	739	2007 - 2015	204	9,5
Central	Pobre	24	412	436	2007 - 2015	272	9,5
Central	Regular	106	626	732	2007 - 2015	246	9,5
Subandino	Buena	6871	26	6897	2009 - 2015	289	8,5
Subandino	Regular	7026	0	7026	2009 - 2015	484	8,5
Subandino	Buena	4899	0	4899	2009 - 2015	162	6,8
Subandino	Regular	4701	0	4701	2009 - 2015	162	6,8
Occidental	Regular	10611	0	10611	2010 - 2015	169	7,6
Occidental	Buena	11330	0	11330	2010 - 2015	115	7,6
Occidental	Buena	3272	0	3272	2006 - 2015	221	7,4
Occidental	Pobre	1493	17	1510	2006 - 20015	221	7,4
Valdiviano	Buena	7626	0	7626	1997 - 2014	983	9,1
Occidental	Buena	304	131	435	2006 y 2008-2012	155	9,1
Occidental	Regular	292	144	436	2007 - 2012	155	9,1
Occidental	Regular	266	217	483	2007 - 2012	155	6,2
Subandino	Regular	203	249	452	2007 - 2012	386	6,8
Subandino	Regular	276	131	407	2007-2008 y 2010-2012	386	11,7
Central	Regular	76	153	229	2009 - 2012	184	11,7
Central	Regular	42	239	281	2009 - 2012	184	12,3
Central	Regular	34	702	736	2011 - 2012	186	12,8
Del Golfo San Jorge	Regular	120	402	522	2012	250	12,4
Del Golfo San Jorge	Regular	13	353	366	2012	276	12,8
Del Golfo San Jorge	Regular	65	517	582	2012	242	13,0
Austral	Regular	15	426	441	2007 - 2012	306	13,1
Austral	Buena	703	0	703	2011 - 2012	172	9,2
Occidental	Buena	7099	0	7099	2006 - 2012	155	9,0
Occidental	Buena	7084	0	7084	2006 - 2012	155	11,2
Golfo San Jorge	Regular	133	221	354	2008	125	10,4
Golfo San Jorge	Regular	97	91	188	2008	125	10,4
Golfo San Jorge	Regular	141	133	274	2008	125	10,4
Central	Regular	140	105	245	2008	132	9,2
Central	Regular	182	88	270	2008	132	9,2
Central	Regular	166	69	235	2008	132	9,2

(continua en la página siguiente)

ID	Provincia	Nombre Sitio	Latitud S	Longitud O	Altitud	Provincia Fitogeográfica
140	Santa Cruz	Potrok Aike	51,94472	70,42611	191	Patagónica
141	Santa Cruz	La Leona	51,45827	69,93725	135	Patagónica (Mallín)
142	Santa Cruz	Glencross	51,82341	71,62430	167	Patagónica (Mallín)
143	Santa Cruz	Glencross-Chorrillo	51,71316	71,59783	283	Patagónica (Mallín)
144	Santa Cruz	Glencross -Laguna	51,75900	71,64150	149	Patagónica (Mallín)
145	Santa Cruz	Glencross-Morro	51,75233	71,54533	198	Patagónica (Mallín)
146	Santa Cruz	Morro Chico-El Zurdo	51,92533	71,27950	192	Patagónica (Mallín)
147	Santa Cruz	Bella Vista	51,95733	70,54566	124	Patagónica (Mallín)
148	Santa Cruz	Paliaike	51,96516	69,71350	77	Patagónica (Mallín)
149	Santa Cruz	Morro Chico-El Zurdo	51,92116	71,27983	120	Patagónica (Mallín)
150	Santa Cruz	Bella Vista	51,95650	70,54583	142	Patagónica (Mallín)
151	Santa Cruz	Paliaike	51,97316	69,71450	76	Patagónica (Mallín)
152	Santa Cruz	La Leona	51,46297	69,92680	86	Patagónica (Mallín)
153	Santa Cruz	Glencross	51,82266	71,62266	117	Patagónica (Mallín)
154	Río Negro	Km 46 Ruta Nac 250	40,43635	63,88137	53	Monte
155	Río Negro	Km 46 Ruta Nac 250	40,43635	63,88410	53	Monte
156	Río Negro	Km 46 Ruta Nac 250	40,44262	63,87919	53	Monte
157	Río Negro	Ruta Bahia Creek Km 20	40,92612	63,10328	28	Monte
158	Río Negro	Ruta Bahia Creek Km 20	40,93030	63,09924	29	Monte
159	Río Negro	Ruta Bahia Creek Km 60	41,03219	63,56138	60	Monte
160	Río Negro	Ruta Bahia Creek Km 60	41,03437	63,58818	60	Monte
161	Río Negro	Ruta Bahia Creek Km 60	41,03659	63,56002	60	Monte
162	Río Negro	"La Totora"	41,05733	63,70705	67	Monte
163	Río Negro	"La Totora"	41,05736	63,72914	67	Monte
164	Río Negro	"La Totora"	41,05736	63,70974	67	Monte
165	Río Negro	Sierra Colorada (Serra)	40,00810	67,62708	461	Monte
166	Río Negro	Sierra Colorada (Serra)	40,00812	67,67035	494	Monte
167	Río Negro	Sierra Colorada (Suarez)	40,24919	67,42508	504	Monte
168	Río Negro	Sierra Colorada (Uriz)	40,24919	67,42508	504	Monte
169	Río Negro	Ea. Don Pedro Menucos	40,99552	67,63100	799	Monte
170	Río Negro	Ea. Don Pedro Menucos	40,98110	67,65867	709	Monte
171	Río Negro	Cerro Policía (Arreche)	39,73550	68,69689	563	Monte
172	Río Negro	Cerro Policía (Arreche)	39,75906	68,70186	576	Monte
173	Río Negro	Cerro Policía (Faundez)	39,74714	68,89947	575	Monte
174	Río Negro	Cerro policía (Indaver)	39,92208	68,76056	668	Monte
175	Río Negro	Cerro policía (Indaver)	39,92208	68,73211	683	Monte
176	Neuquén	Chos Malal	37,33330	70,10000	1440	Patagónica
177	Neuquén	Chos Malal	37,19890	69,58330	862	Patagónica (Mallín)
178	Neuquén	Tromen	37,97670	69,63100	1288	Patagónica
179	La Pampa	Chacharramendi	37,36667	65,76667	249	Espinal

Tabla 1. Caracterización de los sitios incluidos en la red de monitoreo forrajero. Incluye la ubicación geográfica (grados), la altitud (m), la identidad florística – fisonómica (provincia y distrito fitogeográfico según Cabrera, 1976), la condición ecológica, la producción forrajera herbácea (PFH), leñosa (PFL) y total (PFH + PFL) expresadas en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, el período para el cual se promediaron los datos de PFH y PFL, la precipitación media anual (PMA en mm, estimada a partir de pluviómetros ubicados en los sitios de estudio, excepto en aquellos sitios sin pluviómetro para los cuales se extrajo el dato desde la base de datos de Global Climate data (<http://www.worldclim.org/bioclim>) y la temperatura media anual (TMA en °C obtenida desde la base de datos Global Climate data (<http://www.worldclim.org/bioclim>)).

Distrito Fitogeográfico	Condición	PFH	PFL	PF total	Período	PMA	TMA
Magallánico	Buena	435	476	911	2009 - 2014	180	7,1
Magallánico	Buena	3608	0	3608	2004 - 2005	288	6,4
Magallánico	Buena	7022	0	7022	2004 - 2005	280	6,1
Magallánico	Buena	937	0	937	2011 - 2012	280	6,3
Magallánico	Buena	1968	0	1968	2011 - 2012	280	6,3
Magallánico	Buena	1263	0	1263	2011 - 2012	280	6,3
Magallánico	Buena	3049	0	3049	2011 - 2012	203	6,4
Magallánico	Buena	3070	0	3070	2011 - 2012	233	6,6
Magallánico	Buena	2762	0	2762	2011 - 2012	257	6,3
Magallánico	Regular	375	0	375	2011 - 2012	203	6,4
Magallánico	Regular	850	0	850	2011 - 2012	233	6,6
Magallánico	Regular	1902	0	1902	2011 - 2012	257	6,3
Magallánico	Buena	1225	0	1225	2004 - 2005	288	6,9
Magallánico	Buena	1694	0	1694	2004 - 2005	280	6,3
Oriental	Buena	770	sd	sd	2009 - 2012	341	14,7
Oriental	Buena	691	sd	sd	2009 - 2012	341	14,7
Oriental	Pobre	377	sd	sd	2009 - 2012	341	14,7
Oriental	Buena	731	sd	sd	2009 - 2012	324	14,1
Oriental	Pobre	640	sd	sd	2009 - 2012	324	14,1
Oriental	Buena	951	sd	sd	2009 - 2012	359	14,2
Oriental	Pobre	721	sd	sd	2009 - 2012	359	14,2
Oriental	Regular	818	sd	sd	2009 - 2012	359	14,2
Oriental	Regular	796	sd	sd	2009 - 2012	303	14,2
Oriental	Pobre	575	sd	sd	2009 - 2012	288	14,2
Oriental	Buena	685	sd	sd	2009 - 2012	303	14,2
Austral	Buena	180	155	335	2003 - 2005	190	12,9
Austral	Regular	30	60	90	2003 - 2005	187	12,9
Austral	Regular	214	70	284	2003 - 2005	203	12,9
Austral	Buena	230	118	348	2003 - 2005	203	12,9
Austral	Regular	15	300	315	2003 - 2005	191	11,4
Austral	Regular	5	270	275	2003 - 2005	191	11,4
Austral	Regular	4	537	541	2009	135	12,4
Austral	Pobre	20	73	93	2009	135	12,4
Austral	Buena	112	28	140	2009	130	12,4
Austral	Regular	11	149	160	2009	141	11,7
Austral	Buena	2	378	380	2009	141	11,7
Occidental		359	485	844	2011	359	8,2
Occidental		1508	0	1508	2011	164	13,6
Occidental		282	613	895	2011	167	11,3
Caldén (Ecotono Monte)	Pobre	743	sd	sd	2007 - 2011	435	15,3

responde con su distribución con relación a las provincias fitogeográficas con menores valores de PFH; las estepas de la provincia Patagónica, la provincia fitogeográfica del Monte, las estepas de la Puna y la porción más seca de la provincia fitogeográfica Chaqueña (Chaco Árido) fueron los ambientes con mayor densidad de sitios de monitoreo. Contrariamente, las provincias fitogeográficas con mayor potencial de PFH estuvieron menos representadas por sitios de monitoreo, excepto el distrito ñandubay del Espinal y el distrito mesopotámico pampeano.

En los 85 sitios para los cuales se evaluó PFL se encontraron valores inferiores a $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (ver figura 8). En estos sitios la vegetación dominante es leñosa (estepas de Patagonia y Puna, y matorrales del Monte y el extremo seco del distrito occidental chaqueño), y en todos los casos corresponden a ambientes áridos y semiáridos con PPN potencial relativamente baja (Lieth, 1975).

La potencialidad de la vegetación para producir forraje es muy diferente entre provincias fitogeográficas, pero también muy variable entre comunidades vegetales dentro de cada provincia fitogeográfica (ver figura 8). Por ejemplo, mientras los 24 sitios evaluados en el monte presentaron valores de PFH y PFL menores a $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 25 de los 27 sitios del Espinal superaron los $2.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de PFH. Patagonia y Puna presentaron un comportamiento similar en PFH y PFL, asociado a la naturaleza de dos ambientes contrastantes que presentan en común ambas provincias fitogeográficas (León *et al.*, 1998; Quiroga *et al.*, 2013). En ambas regiones coexisten estepas mixtas xerofíticas (arbusculares – herbáceas) de bajos valores de PFH y PFL (menores a $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) con praderas húmedas (mallines patagónicos o vegas de la Puna) de altos valores de PFH (mayores a $2.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

En la provincia fitogeográfica Chaqueña, la mayor distribución de sitios con PFH y PFL menores a $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, se debe a que sitios con mayor potencial productivo en la región (porción oriental del distrito occidental, distrito serrano y distrito oriental) fueron menos evaluados; y además en ellos solo se estimó PFH.

Controles climáticos de la productividad

La PFH se incrementó significativamente a lo largo de un gradiente regional de PMA (figura 3). A diferencia de lo ocurrido con la PFH, la relación entre la PFL y la PMA no fue significativa ($p > 0,05$). La relación espacial entre la productividad primaria y la precipitación está ampliamente documentada (Lauenroth, 1979; Sala *et al.*, 1988; Briggs y Knapp, 1995; Bai *et al.*, 2008; Sala *et al.*, 2012). Sin embargo, solo la ecuación presentada por Lauenroth (1979) abarca un rango de PMA similar a la ecuación generada en este trabajo.

Particularmente, los valores de PPN que se obtienen con el modelo de Lauenroth (1979) en los extremos de PMA (100 mm y 1.500 mm) son similares a los valores de PFH que se obtienen utilizando el modelo con punto de quiebre mostrado en este trabajo. Sin embargo, para valo-

res intermedios de PMA las estimaciones de nuestro modelo con punto de quiebre y el modelo lineal de Lauenroth (1979) son sensiblemente diferentes. En nuestro modelo solo se contempla la fracción herbácea de la productividad primaria, y en los ecosistemas más xéricos ($\text{PMA} < 540 \text{ mm}$) la mayor proporción de la PF es esperable que sea leñosa (Paruelo y Lauenroth, 1996), especialmente en ambientes degradados. Probablemente, esta parcialidad en el análisis de la PPN sea determinante para que en nuestro modelo la pendiente para sitios con PMA superiores a 540 mm sea el triple a la de sitios con PMA menores a 540 mm.

Al igual que en estudios anteriores (Lauenroth, 1979) no se detectó una relación de PFH y PFL con TMA para la generalidad de los sitios ($p > 0,05$, figura 4). Solo para los humedales (mallines, vegas y pastizales inundables de Entre Ríos) se observó un incremento significativo de PFH con TMA ($p < 0,05$, figura 4). Esto coincide con lo que ha sido documentado para el hemisferio norte (Thormann y Bayley, 1997).

La variación de PFH a lo largo de los gradientes climáticos es un indicador claro de la potencialidad ganadera de los diferentes ambientes extrapampeanos de Argentina. Así, a lo largo del gradiente de PMA, estimaciones de receptividad ganadera (manteniendo un factor de uso por pastoreo del 30% de la PFH), para ambientes pertenecientes al monte ($\text{PMA} = 200 \text{ a } 300 \text{ mm}$) indicarían que son necesarias 20 a 30 ha para mantener un equivalente vaca¹. En cambio, en ambientes ubicados dentro del Espinal (mayormente $\text{PMA} = 600 \text{ a } 1200 \text{ mm}$) se podría mantener un equivalente vaca utilizando entre 2 y 8 ha.

El efecto del pastoreo sobre la productividad

No solo los factores climáticos, como la precipitación y la temperatura, controlan las variaciones espaciales de la productividad forrajera en las comunidades de vegetación nativa. El manejo del pastoreo a lo largo de décadas también puede modificar la capacidad de producir forraje de los ecosistemas. Sin embargo, este factor actúa a una escala espacial de mayor detalle (potrero) que los controles climáticos (región), y aquí solo se analizó para sitios en dos regiones con las que se contaba con datos apareados bajo diferente historia de pastoreo (sitios de La Rioja y mallines Patagónicos de Chubut).

En los sitios de La Rioja, los cambios más evidentes entre condiciones fueron en la PFH, la cual se redujo a un tercio al empobrecerse la condición ecológica del sitio ($p < 0,05$, figura 5). En cambio, la PFL fue similar en la condición pobre respecto a la buena/regular ($p > 0,05$, figura 5). Los mayores efectos del pastoreo sobre el componente herbáceo han sido documentados en diversos estudios para esta región (Quiroga *et al.*, 2009, Blanco *et al.*, 2016).

¹Equivalente vaca: promedio anual de los requerimientos de una vaca de 400 kg de peso, que gesta y cría un ternero hasta el destete a los 6 meses de edad con 160 kg de peso (Cocimano *et al.*, 1975).

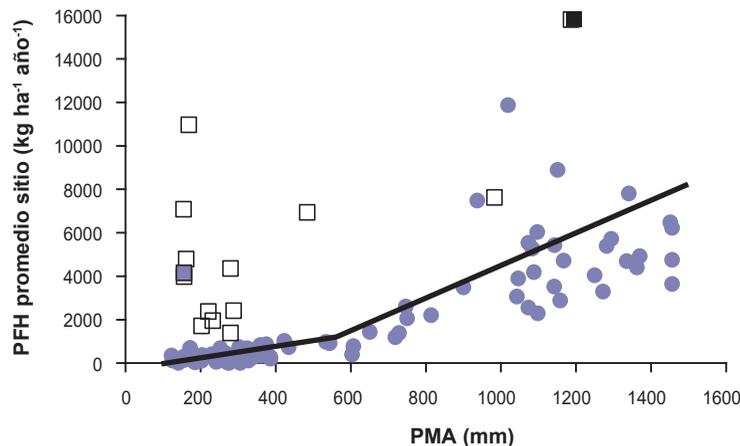


Figura 3. Relación entre la productividad forrajera herbácea (PFH) de cada sitio de muestreo (promediando todas las condiciones) y la precipitación media anual (PMA). Círculos corresponden a todos aquellos sitios que no son humedales (grises). Los cuadrados vacíos corresponden a mallines patagónicos, el cuadrado negro corresponde a humedales de islas del Delta del río Paraná y el cuadrado gris a vegas de la Puna. La relación PFH – PMA (línea negra) para sitios que no son humedales se realizó con regresión no lineal con punto de quiebre ($PFH = 1,82 PMA - 1,76$ [para $100 \text{ mm} < PMA < 540 \text{ mm}$] y $PFH = 5,83 PMA - 2167$ [para $540 \text{ mm} < PMA < 1500 \text{ mm}$]; $r^2 = 0,80$).

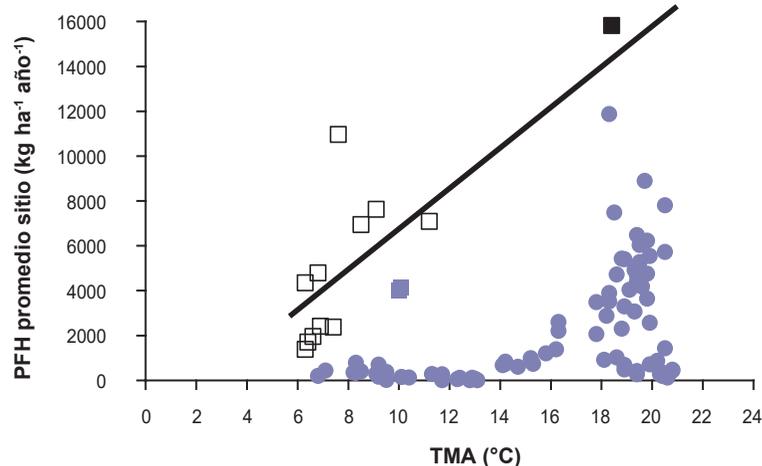


Figura 4. Relación entre la productividad forrajera herbácea (PFH) de cada sitio de muestreo (promediando todas las condiciones) y la temperatura media anual (TMA). Círculos grises corresponden a todos aquellos sitios que no son humedales. Los cuadrados vacíos corresponden a mallines Patagónicos, el cuadrado negro corresponde a humedales de islas del Delta del río Paraná y ese cuadrado no es gris a vegas de la Puna. La relación entre PFH de humedales y TMA (línea negra) se estimó mediante regresión lineal simple ($PFH = 1001 TMA - 3286$; $r^2 = 0,6229$, para $6 \text{ °C} < TMA < 22 \text{ °C}$).

Mientras las condiciones pobres se detectan en áreas cercanas a las aguadas, para las cuales el efecto del pastoreo es más intenso y frecuente (Blanco *et al.*, 2008; Blanco *et al.*, 2016), las condiciones regulares y buenas se observan en sectores más alejados de las aguadas.

Está bien documentado que la mitad de la superficie de la región ganadera de La Rioja se encuentra en evidente estado de desertificación, afectando la producción secundaria de los sistemas ganaderos (Biurrun *et al.*, 2015). Así,

en pastizales de La Rioja en condición regular o buena, se necesitarían 15 ha para mantener un equivalente vaca. En cambio, en pastizales de condición pobre de la misma región, es necesario 44 ha para sostener un equivalente vaca (con el mismo factor de uso = 30%).

En los mallines patagónicos de Chubut no se observaron diferencias de PFH y PFL entre la condición buena/regular y la pobre ($p > 0,05$, figura 6). Las diferencias de PFH entre condiciones, más marcadas en los sitios de La Rioja que

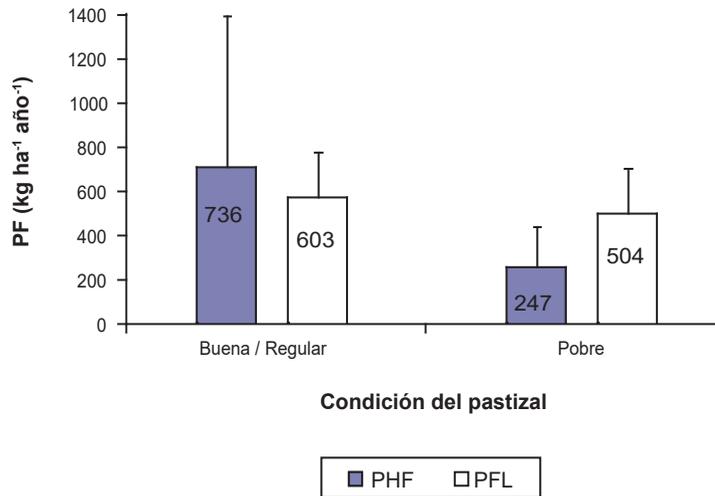


Figura 5. Contraste de la productividad forrajera herbácea (PFH) y leñosa (PFL) de 13 pares de sitios de condición regular - buena versus condición pobre (apareados), en el extremo seco del distrito occidental de la provincia fitogeográfica chaqueña en La Rioja. Las líneas negras verticales encima de las barras indican 1 desvío estándar.

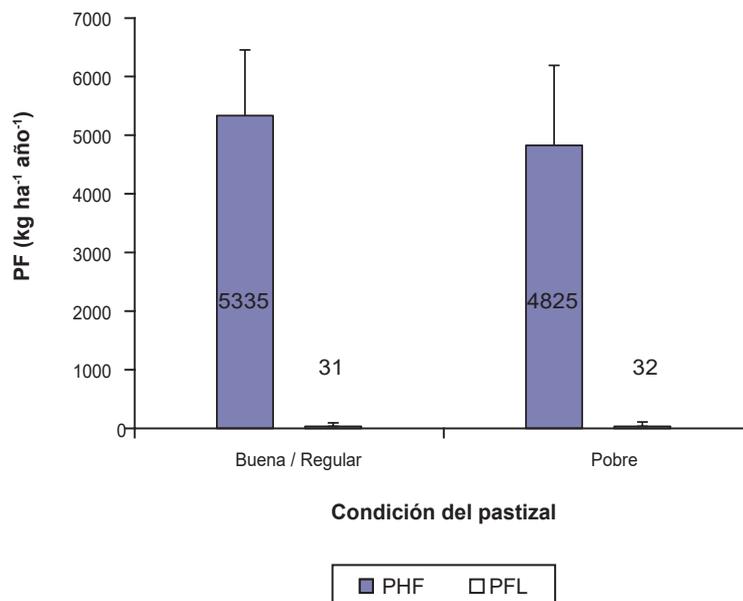


Figura 6. Contraste de la producción forrajera herbácea (PFH) y leñosa (PFL) de 5 pares de sitios de condición buena versus condición pobre (apareados) correspondientes a mallines de la provincia fitogeográfica patagónica en Chubut. Las líneas negras verticales encima de las barras indican 1 desvío estándar.

en los mallines de Chubut, pueden responder a que sitios con mayor disponibilidad de recursos (por ejemplo, agua) podrían ser más resilientes frente a un disturbio como el pastoreo gracias a que incrementan la diversidad de especies con la intensidad de este (Milchunas *et al.*, 1988). Sin embargo, algunos estudios previos indicarían que la PFH de los mallines sería impactada negativamente por el pastoreo continuo y severo durante largo tiempo (Enriquez *et*

al., 2015), afectando además el ciclo de carbono (Enriquez *et al.*, 2017; Enriquez y Cremona, 2017).

CONCLUSIONES

En este estudio se resume la información de productividad forrajera de 179 sitios distribuidos en las regiones extrapampeanas de Argentina, evaluados casi simultáneamente duran-

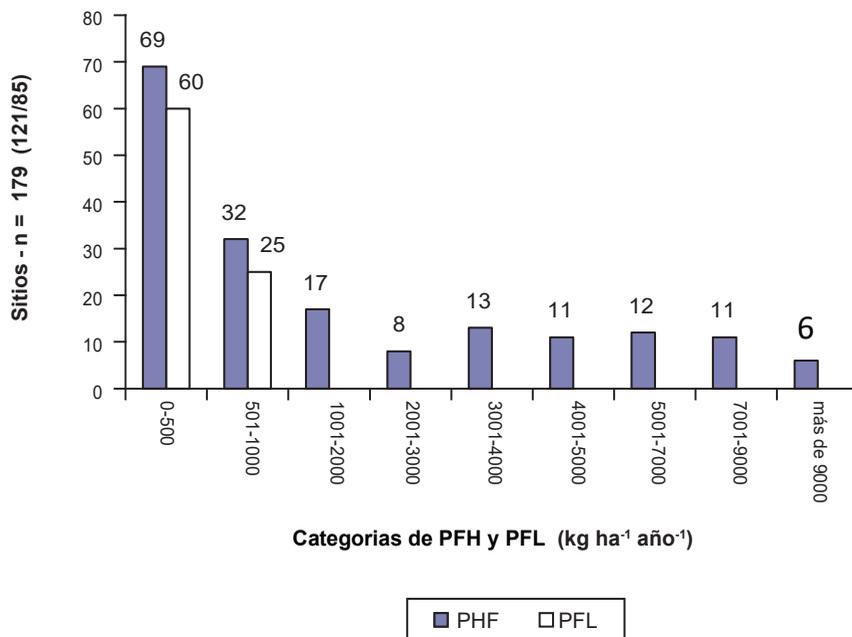


Figura 7. Distribución de los 179 sitios de monitoreo (cantidad) en clases de la productividad forrajera herbácea (PFH, barras oscuras) y leñosa (PFL, barras claras), de los cuales 121 tenían vegetación herbácea y leñosa, pero solo en 85 se estimó PFL.

te la última década y con metodologías similares de medición, lo cual le confiere un nivel de estandarización y comparabilidad inédito en Argentina. Se identificaron zonas vacantes donde sería importante incorporar nuevos sitios de monitoreo para mejorar la cobertura espacial de la red nacional de monitoreo forrajero. Se resalta la importancia de darle continuidad al monitoreo, de manera de aumentar la robustez de los datos y poder evaluar tendencias en el largo plazo, sobre todo teniendo en cuenta el deterioro de los recursos que se ha documentado para algunas de las regiones.

Los datos provistos en este estudio son un aporte como material de consulta para tomadores de decisión a escala regional (nación, provincia o departamento). Así, la elaboración de planes y proyectos para el desarrollo del sector ganadero debe contemplar los "límites" forrajeros regionales, y brindar un marco de sustentabilidad a las propuestas. En este sentido, los datos, planteos analíticos y modelos aquí presentados pueden ser tenidos en cuenta para establecer niveles de receptividad acordes a la potencialidad de los ambientes involucrados.

Finalmente, los datos aquí provistos proveen la base para desarrollar y calibrar modelos de estimación de la productividad forrajera de la vegetación nativa, ya sea a partir de datos satelitales, a través de modelos de simulación, o la combinación de ambos. En la medida que se cuente con series temporales más largas de productividad forrajera para cada sitio, se podrá generar información más útil para la planificación forrajera predial, y evaluar los controles de la variación temporal de la productividad.

AGRADECIMIENTOS

A los productores ganaderos por permitir instalar los sitios de monitoreo forrajero en sus establecimientos. A los extensionistas de INTA por colaborar en la selección de los sitios de monitoreo. A los siguientes colegas y personal de apoyo de campo por colaborar en el muestreo: Diego Celadrán, Juan Escobar, Ivana Clich, Adriana Beider, Alfonso Beloqui, Javier Gonzalez, Erica Colombani, Erica Llanos, Alicia I. Kröpfl, Hugo Giorgetti, Natalia Villasusso, Maria Eugenia Vivar, Gervasio Humano, Martín Villa, Osvaldo Burato, Tedy Lloyd, Edgar Sebastián Villagra, Humberto Moraga, Luis Ahumada, Maximiliano Zamboni, Ariel Herrera, Alicia Sancho, Simon Corzo, Emanuel Luna Toledo, Leonardo Riva de Neyra, Nicolás Zarate, Miguel Artaza, Cesar Flores, Isidoro Ahumada, Pedro R. Namur, Ariel Herrera, Armando Ricarte, Raul Díaz, Carlos Ferrando, Jorge Burns, Juan Fonseca, Jorge Dupleich, Milena Noir, María José Mametto, Adela Noir, Soraya Tymkow, Olga Cardona, Sonia Gyukits y Rubén Cimino. A dos revisores anónimos por sus valiosas sugerencias. Este trabajo fue financiado por: Proyecto Específico PNPA 1126074 "Desarrollo, Integración y Transferencia de Tecnologías para Manejo Sustentable de Servicios de la Vegetación Natural para Fines Ganaderos" (INTA), "Diagnóstico, planificación, seguimiento y prospección forrajera en sistemas ganaderos" (INTA, FAUBA, AACREA y MINAGRI) cofinanciado por IPCVA y PID N° 2013-0051, con el aporte financiero de los Proyectos Regionales con Enfoque Territorial (INTA) que desarrollan actividades en las provincias incluidas en la Red nacional de monitoreo de pastizales naturales y las unidades ejecutoras de la Ley Ovina en las provincias patagónicas.

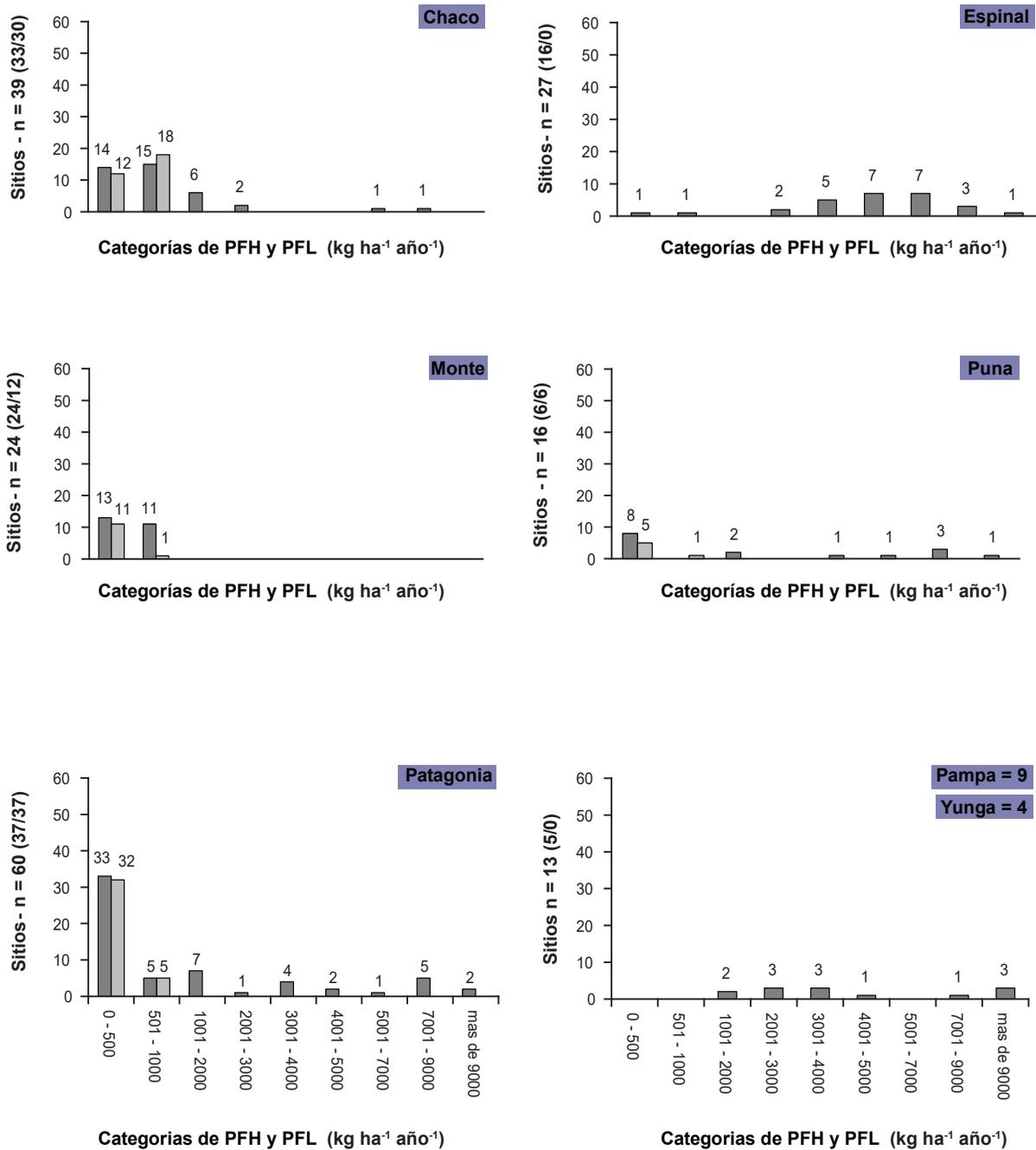


Figura 8. Distribución de los 179 sitios de monitoreo (cantidad) en clases de productividad forrajera herbácea (PFH) y leñosa (PFL) dentro de cada una de las provincias fitogeográficas de Argentina. En el eje de las ordenadas de cada gráfico se menciona el número total de sitios monitoreados (n) para cada provincia fitogeográfica, aclarando entre paréntesis la cantidad de sitios con vegetación leñosa y en cuanto de ellos se evaluó PFL.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMOLI, J.; SENNHAUSER, E.; ACERO, J. M.; RESCIA, A. 1972. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *Journal of Biogeography* 1: 491-500.

AGUILERA, M.O. 2003. Uso ganadero de pastizales naturales de San Luis. En: AGUILERA, M.O.; PANIGATTI, J.L. (Eds.). Con las metas claras. 89-124 pp.

ANDERSON, D.L.; DEL AGUILA, J.A.; MARCHI, A.; VERA, J.C.; ORIONTE, E.L.; BERNARDÓN, A. 1980. Manejo racional de un campo en la región árida de los Llanos de La Rioja, Parte I, INTA, Bs. As., 1-61 pp.

ANDERSON, D.L.; BONVISSUTO, G.L.; BRIZUELA, M.A.; CHIOSSONE, G.; CIBILS, A.F.; CID, M.S.; FELDMAN, I.; FERNANDEZ GRECCO, R.C.; KUNST, C.; OESTERHELD, M.; OLIVA,

- G.E.; PARUELO, J.M.; PEINETTI, H.R.; VILLAGRA, E.S. 2011. Perspectives on Rangeland Management Education and Research in Argentina. *Rangelands* 33 (1): 2-12.
- BAI, Y.; WU, J.; XING, Q.; PAN, Q.; HUANG, J.; YANG, D.; HAN, X. 2008. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia plateau. *Ecology* 89 (8): 2140-2153.
- BALLING, C.; KLOPATEK, J.; HILDEBRANDT, M.; MORITZ, C.; WATTS, C. 1998. Impacts of land degradation on historical temperature records from the Sonoran Desert. *Climatic Change* 40: 669-681.
- BIURRUN, F.; CABIDO, M.; BLANCO, L. 2015. Consideraciones sobre la vegetación de la provincia de La Rioja y su estado de conservación. En: CASAS, R.; ALBARRACÍN, G. (Eds.). *El Deterioro del Suelo y del Ambiente de la Argentina*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura –FECIC, Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua – PROSA. Tomo I, 485-503 pp.
- BLANCO, L.J.; AGUILERA, M.O.; PARUELO, J.M.; BIURRUN, F.N. 2008. Grazing effect on NDVI across an aridity gradient in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 72 (5): 764-776.
- BLANCO, L.J.; FERRANDO, C.A.; BIURRUN, F.N. 2009. Remote sensing of spatial and temporal vegetation patterns in two grazing systems. *Rangeland Ecology & Management* 62 (5): 445-451.
- BLANCO, L.; PARUELO, J.; OESTERHELD, M.; BIURRUN, F. 2016. Spatial and temporal patterns of herbaceous primary production in semi-arid shrublands: a remote sensing approach. *Journal of vegetation science*, 716-727. Doi: 10.1111/jvs.12398
- BORRELI, P.; OLIVA, G. 2001. Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral: Tecnología de manejo extensivo. Ediciones INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1-281 pp.
- BRIGGS, J.M.; KNAPP, A.K. 1995. Interannual variability in primary production in tallgrass prairie: climate, soil moisture, topographic position, and fire as determinants of aboveground biomass. *American Journal of Botany* 82: 1024-1030.
- BRYANT, N.; JOHNSON, L.; BRAZEL, J.; BALLING, R.; HUTCHINSON, C.; BECK, L. 1990. Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran Desert. *Climatic Change* 17: 243-264.
- CABRERA, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (Segunda edición). Tomo II, Fase I. Editorial Acme. Buenos Aires, 1-85 pp.
- COCIMANO, M.; LANGE, A.; MENVIELLE, E. 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Revista Argentina de Producción Animal* 4: 161-190.
- DEMARÍA, M. 2015. Avance de la frontera agrícola sobre el pastizal pampeano semiárido de San Luis. En: CASAS, R.; ALBARRACÍN, G. (Eds.). *El Deterioro del Suelo y del Ambiente de la Argentina*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura –FECIC, Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua – PROSA. Tomo I, 475-484 pp.
- DEMARÍA, M.R.; MARTINI, J.P.; STEINAKER, D.F. 2016. Actualización del límite occidental del pastizal pampeano. *Ecología Austral* 26 (1): 59-63.
- DI BELLA, C.M.; NEGRI, I.J.; POSSE, G.; JAIMES, F.R.; JOBÁGY, E.G.; GARBULSKY, M.F.; DEREGIBUS, V.A. 2009. Forage production of the Argentine pampa region based on land use and long-term Normalized Difference Vegetation Index data. *Rangeland Ecology & Management* 62 (2): 163-170.
- DYKSTERHUIS, E.J. 1949. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. *Journal of Range Management* 2 (3): 104-115.
- DURANTE, M.; OESTERHELD, M.; PIÑEIRO, G.; VASSALLO, M.M. 2014. Estimating forage quantity and quality under different stress and senescent biomass conditions via spectral reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 35 (9): 2963-2981.
- ELISSALDE, N.; ESCOBAR, J.; NAKAMATSU, V. 2002. Inventario y evaluación de pastizales naturales de la zona árida y semiárida de la Patagonia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia sur. EEA Chubut, Trelew, 1-41 pp.
- ENRIQUEZ, A.S.; CHIMNER, R.A.; CREMONA, M.V.; DICHL, P.; BONVISSUTO, G. 2015. Grazing intensity levels influence C reservoirs of wet and mesic meadows along a precipitation gradient in Northern Patagonia. *Wetland Ecology and Management* 23:439-451.
- ENRIQUEZ, A.S.; CREMONA, M.V. 2017. Particulate organic carbon is a sensitive indicator of soil degradation related to overgrazing in Patagonian wet and mesic meadows. *Wetlands Ecology and Management* 1-13. doi:/10.1007/s11273-017-9577-4
- Global Climate data. (Disponible: <http://www.worldclim.org/bio-clim> verificado: 2016).
- GOLLUSCIO, R. 2009. Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología austral* 19 (3): 215-232.
- GRIGERA, G.; OESTERHELD, M.; PACÍN, F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision-making. *Agricultural Systems* 94 (3): 637-648.
- HOLECHEK, J.R.; PIEPER, D.; HERBEL, C.H. 2004. Range management: principles and practices. 5th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EUA.; 587 p.
- HOLM, A.M.; CRIDLAND, S.W.; RODERICK, M.L. 2003. The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote Sensing of Environment* 85 (2): 145-158.
- KUNST, C. 2015. Los ecosistemas y la vegetación del Chaco: dinámica y estado actual. En: CASAS, R.; ALBARRACÍN, G. (Eds.). *El Deterioro del Suelo y del Ambiente de la Argentina*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura –FECIC, Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua –PROSA. Tomo I, 455-474 pp.
- KUNST, C.; MONTI, E.; PÉREZ, H.; GODOY, J. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. *Journal of Environmental Management* 80 (3): 248-265.
- LAUENROTH, W.K. 1979. Grassland primary production: North American grasslands in perspective. *Perspectives in grassland ecology*. Springer Nueva York, 3-24 pp.
- LAUENROTH, W.K.; SALA, O.E., 1992. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* 2: 397-403.
- LE HOUEROU, H.N.; BINGHAM, R.L.; SKERBEK, W. 1988. Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of arid Environments* 15 (1): 1-18.
- LEÓN, R.J.; ANDERSON, D.L. 1983. El límite occidental del pastizal pampeano. *Tuexenia* 3: 67-83.
- LEÓN, R.J.; BRAN, D.; COLLANTES, M.; PARUELO, J.M.; SORIANO, A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8 (2): 125-144.
- LIETH, H. 1975. Modeling the primary productivity of the world. *Primary productivity of the biosphere*. Springer Berlin Heidelberg, 237-263 pp.
- LONG, G. 1968. Conceptions générales sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation et de son ecologie. *Docu-*

ment 46. Centre d'études phytosociologique et ecologique. CNRS. Montpellier.

MILCHUNAS, D.G.; SALA, O.E.; LAUENROTH, W. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132 (1): 87-106.

NAKAMATSU, V.; GAITÁN, J.; BONVISSUTO, G. 2015. Deterioro de pastizales y desertificación en la Patagonia Argentina. En: CASAS, R.; ALBARRACÍN, G. (Eds.). *El Deterioro del Suelo y del Ambiente de la Argentina*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura –FECIC, Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua – PROSA. PROSA. Tomo I, 519-542 pp.

NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics* 4: 25-51.

OLIVA, G.; GAITAN, J.; FERRANTE, D. 2016. Humans cause deserts: evidence of irreversible changes in Patagonia's rangelands. En: BEHNKE, R.; MORTIMORE, M. (ed.). *The End of Desertification? Disputing Environmental Change in the Drylands*. Springer.

PARUELO, J.M.; LAUENROTH, W.K. 1996. Relative abundance of plant functional types in grasslands and shrublands of North America. *Ecological Applications* 6 (4): 1212-1224.

PARUELO, J.M.; LAUENROTH, W.K.; BURKE, I.C.; SALA, O.E. 1999. Grassland precipitation-use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems* 2 (1): 64-68.

PASSERA, C.B.; DALMASSO, A.D.; BORSETTO, O. 1986. Método de "Point Quadrat Modificado". *Actas del Taller de Arbustos Forrajeros*. Grupo Regional FAO-IADIZA, Mendoza, 71-80 pp.

PICKUP, G.; CHEWINGS, V.H. 1994. A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely sensed data. *Remote Sensing* 15 (3): 597-617.

QUIROGA, R.E.; BLANCO, L.J.; FERRANDO, C.A. 2009. A case study evaluating economic implications of two grazing strategies for cattle ranches in northwest Argentina. *Rangeland Ecology & Management* 62 (5): 435-444.

QUIROGA, E.; QUIROGA, A.; AHUMADA, L.; BIURRUN, F.; AGÜERO, W. 2013. Productividad de la vegetación y capacidad de carga ganadera en las regiones naturales de Catamarca. *INTA Serie Estudios sobre el Ambiente y el Territorio* 7 (13):1-19.

RAGONESE, A.E. 1967. *Vegetación y ganadería en la República Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, 1-218 pp.

ROBBINS, K.R.; SAXTON, A.M.; SOUTHERN, L.L. 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science* 84 (13): 155-165.

RUTHERFORD, M.C. 1980. Annual plant production-precipitation relations in arid and semi-arid regions. *South African Journal of Science* 76 (2): 53-56.

SALA, O.E.; AUSTIN, A.T. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity. *Methods in ecosystem science*. Springer, Nueva York, 31-43 pp.

SALA, O.E.; GHERARDI, L.A.; REICHMANN, L.; JOBBAGY, E.; PETERS, D. 2012. Legacies of precipitation fluctuations on primary production: theory and data synthesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 367 (1606): 3135-3144.

SALA, O.E.; PARTON, W.J.; JOYCE, L.A.; LAUENROTH, W.K. 1988. Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology* 69 (1): 40-45.

SEPA. Herramientas satelitales para el seguimiento de la producción agropecuaria. (Disponible: <http://www.sepa.inta.gov.ar/> verificado: 03 de noviembre de 2016).

SIFFREDI, G.L. 2012. *Guía de evaluación del pastoreo de cuados*. Ediciones INTA, 1-33 pp.

SIGSA. (Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales, Dirección Nacional de Sanidad Animal, SENASA). (Disponible <http://www.senasa.gov.ar/cadena-animal/bovinos-y-bubalinos/informacion/informes-y-estadisticas> verificado: 2016).

SISTEMA NACIONAL DE DIAGNÓSTICO, PLANIFICACIÓN, SEGUIMIENTO Y PROSPECCIÓN FORRAJERA EN SISTEMAS GANADEROS. (Disponible: <http://www.produccionforrajes.org.ar/> verificado: 2016).

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. 1989. 'Statistical Methods', 8th Edition. Iowa State Univ. Press, EUA.

SORIANO, A. 1991. Rio de la Plata Grasslands. En: Coupland, R.T. (Ed.). *Ecosystems of the World. Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere*. Elsevier, Nueva York, 367-407 pp.

THORMANN, M.N.; BAYLEY, S.E. 1997. Aboveground net primary production along a bog-fen-marsh gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Ecoscience*, 4 (3): 374-384.

WALTER, H. 1939. *Grasland, Savanne und Busch der arideren Teile Afrikas in ihrer ökologischen Bedingtheit*. *Jahrb Wiss Bot.* 87: 750-860.

WORLDCLIM, GLOBAL CLIMATE DATA. Free climate data for ecological modeling and GIS. Version 1.4. (Disponible: <http://www.worldclim.org/> verificado: 22 de noviembre de 2016).

Respuesta del tabaco al riego deficitario para dos fechas de trasplante

DIEZ, J.¹; ACRECHE, M.M.²

RESUMEN

En Argentina la producción de tabaco Virginia se localiza en Jujuy y Salta, donde la reposición de agua al cultivo se realiza principalmente con riego gravitacional. La posibilidad de regar con mayor precisión y la poca sensibilidad del cultivo a un estrés moderado permite suponer que es factible regar el tabaco de manera deficitaria. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de la materia seca de hoja de tabaco y sus componentes al riego deficitario de alta frecuencia durante la fase previa a las precipitaciones en el Valle de Lerma (Cerrillos, Salta) para dos fechas de trasplante, determinando, además, atributos relacionados con la eficiencia en el uso de la radiación y del agua. El estudio se realizó en la EEA del INTA Salta durante tres ciclos agrícolas (2013/14, 2015/16 y 2016/17). Se trabajó con tabaco Virginia variedad K394. Los tratamientos consistieron en la combinación de dos factores, momento de trasplante (Te: temprano y Ta: tardío) y necesidad de riego (NR) con niveles de reposición del 50 y 100%. En diferentes momentos se determinó materia seca de hoja (MSh), materia seca aérea total (hoja+tallo) (MSa) e índice de área foliar (IAF) y masa foliar específica (MFE). En 2015/16 y 2016/17 se determinó filocrono, radiación interceptada acumulada por el cultivo (Rint) y eficiencia de uso de radiación (EUR). Se calculó la eficiencia de uso del agua considerando el agua de riego (EUAr) y el agua aportada por las precipitaciones y el riego (EUApr) a cosecha. La MSh a cosecha fue menor en 2013/14 que en los otros dos ciclos agrícolas, pero fue similar para las dos fechas de trasplante en cada ciclo agrícola. Si bien Te recibió entre 300 y 400 MJ de radiación incidente más que Ta, estos solo se corresponden con un 3% extra de Rint acumulada durante el ciclo agrícola. Por lo tanto, la menor MSh en 2013/14 se explicó por el menor IAF. En 2013/14 y 2016/17 el IAF y la MFE fueron similares entre fechas de trasplante, mientras que en 2015/16 el menor IAF a cosecha de Te generó hojas con mayor MFE. La EUR a cosecha varió entre los 0,46 y 0,48 g/MJ sin diferenciarse entre fechas de trasplante. En 2015/16 y 2016/17, donde el fertilizante utilizado fue líquido, reponer el 50% de la NR no penalizó la MSh y el IAF, lo que sí ocurrió en 2013/14 (donde se utilizó fertilizante sólido). La EUApr fue menor en 2013/14 que en los otros ciclos agrícolas; siempre fue mayor en Ta y solo mayor en 50% de NR en 2015/16, mientras que la EUAr fue en todos los ciclos agrícolas mayor con la combinación de Ta y 50% de NR. Se concluye que el riego deficitario controlado puede ser una alternativa viable para el cultivo de tabaco en el Valle de Lerma, sin embargo, deberían profundizarse estudios donde se considere la calidad de hoja obtenida.

Palabras clave: materia seca, necesidad de riego, eficiencia en el uso del agua, radiación.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta, Ruta Nac. 68 km 172, (4404) Cerrillos, Salta, Argentina. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Bolivia 5150, Complejo Universitario Castañares. Correo electrónico: diez.josefina@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta, Ruta Nac. 68 km 172, (4404) Cerrillos, Salta, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: acreche.martin@inta.gov.ar

ABSTRACT

The production of tobacco Virginia in Argentina is located at Jujuy and Salta where crop irrigation is mainly done by a gravity system. The possibility of using precision irrigation methods and the low sensitivity of the crop to moderate water stress allow assuming that it is feasible to irrigate tobacco with a deficit strategy. The aim of this study was to evaluate the effects of high frequency deficit irrigation during the period that precede summer precipitation at the Valle de Lerma (Cerrillos, Salta) on tobacco leaf dry matter and its main component for two transplant dates. Attributes related to water and radiation use efficiencies were also determined. The study was conducted during three growing cycles (2013/14, 2015/16 y 2016/17) at INTA EEA-Salta with the tobacco Virginia variety K394. Treatments consisted of the combination of two transplant dates (early, Te; late, Ta) and two level of irrigation requirement (NR): 100 and 50% of NR. Leaf dry matter (MSh), total dry matter (leaf+stem), leaf area index (IAF) and specific foliar mass (MFE) were determined at different moments. Phyllochron, crop accumulated intercepted radiation (Rint) and radiation use efficiency (EUR) were determined in 2015/16 and 2016/17. Water use efficiency was calculated for the 20-24 leaf and harvest samplings considering the irrigation water (EUAr) and the water contributed by the rainfall and irrigation (EUApr). MSh at harvest was lower in 2013/14 than in the other growing cycles, but was similar for the two transplant dates in each growing cycle. Although Te received more incident radiation (300-400 MJ) than Ta, this only represented an extra 3% of Rint during the growing cycle. Therefore, the lowest MSh in 2013/14 was explained by the lowest IAF. IAF and MFE were similar between transplant dates in 2013/14 and 2016/17, whereas for the 2015/16 growing cycle the lower IAF at harvest found for Te generated leaves with higher MFE. There were not differences between transplant date for EUR at harvest, ranging from 0,46 to 0,48 g/MJ. Replacement of 50% of NR did not penalize MSh and IAF during the 2015/16 and 2016/17 growing cycles (when the fertilized used was liquid), whereas it decreased MSh and IAF in 2013/14 (when liquid fertilizer was used). EUApr was lower in 2013/14 than in the other growing cycles. EUApr was always higher for Ta than Te, and for 50% of NR only in 2015/16. During the three growing cycles the lowest EUAr was found with the combination of Ta and 50% of NR. The controlled deficit irrigation is an alternative for tobacco production in Valle de Lerma; however, studies considering leaf quality should be considering.

Keywords: dry matter, irrigation requirements, water use efficiency, radiation.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, la industria del tabaco representa una importante actividad en términos productivos, económicos y sociales para las diferentes economías regionales. Las provincias productoras son Misiones, Salta, Jujuy, Chaco, Catamarca, Corrientes y Tucumán. El NOA aporta más del 77% del tabaco total producido en Argentina, puesto que las provincias de Salta y Jujuy es donde se centra la producción de tabaco Virginia. La provincia de Salta tiene 1.691 productores tabacaleros, ubicándose el 66% de estos en el Valle de Lerma (Salta) (MAGyP, 2011).

Considerando que el trasplante del cultivo se realiza en forma escalonada durante los meses de septiembre y octubre, y debido a que el régimen de las precipitaciones en el NOA es de tipo monzónico, el balance climático para este cultivo presenta un marcado pico de demanda de riego en los meses de octubre y noviembre. Las precipitaciones anuales no superan los 800 mm; el 90% de estas se concentra entre los meses de diciembre a abril (Ledesma, 2012), por lo que en las primeras etapas del ciclo de cultivo se define al riego como de carácter integral, mientras que en etapas posterior-

res (cosecha-maduración), el riego es complementario a las lluvias estacionales (Blanco *et al.*, 1989).

Para maximizar el rendimiento, los requerimientos de agua durante todo el ciclo del tabaco varían entre 400 y 600 mm, dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del período de crecimiento de la planta (Doo-rembos y Kassam, 1979; Maw *et al.*, 2009). Evaluaciones de evapotranspiración del cultivo realizadas en la región permitieron estimar una evapotranspiración del cultivo promedio (ETc) de 495±21 mm, desde trasplante hasta cosecha del último piso foliar (Ballari, 2005). Esto genera un requerimiento de riego para el Valle de Lerma que varía entre los 213 y 235 mm, dependiendo si se trata de un año con precipitaciones medias o menores a estas últimas, con la demanda concentrada entre septiembre y noviembre (Yáñez, 2002).

En el Valle de Lerma, el tabaco es regado principalmente por surcos con escurrimiento al pie. El número de riegos depende de los turnados establecidos por cada consorcio, puede variar entre 7 a 10 riegos, generando frecuencias de riegos que pueden resultar excesivamente largas (Nadir *et*

et al., 2004). La dinámica del agua estudiada en diferentes lotes productivos de este valle permitió establecer que la disponibilidad hídrica del suelo antes del inicio del período de precipitaciones es baja y que los riegos aplicados no resultan suficientes para reponer el agua en el perfil a niveles de capacidad de campo, razón por la cual se considera que el riego es de tipo deficitario (Diez, 2011; Ávila *et al.*, 2015). Si bien es un cultivo moderadamente tolerante a la sequía (Salehzade *et al.*, 2009), bajo las condiciones de manejo actuales del valle (riego gravitacional) se observó una disminución aproximada del rendimiento de 30% con respecto al rendimiento potencial, por lo que el aprovechamiento del recurso hídrico debe ser optimizado para evitar o minimizar las penalidades en el rendimiento (Diez, 2011; Ávila *et al.*, 2015).

La utilización de métodos de riego de precisión, como el riego por goteo, juega un papel importante en la reducción del agua de riego bruta requerida en los cultivos agrícolas, pero remarca la necesidad de nuevos métodos de programación y control de riegos más precisos (Karam *et al.*, 2009). El riego por déficit es un método en el que la cantidad de agua utilizada se mantiene por debajo de la evapotranspiración del cultivo (ETc), y el estrés hídrico que se desarrolla tiene efectos mínimos sobre el rendimiento (Jensen *et al.*, 2014). En este sentido, existen estudios que muestran que, en zonas tabacaleras del mundo semejantes a las del Valle de Lerma, el tabaco presenta poca sensibilidad al déficit hídrico moderado. Tso (1990) afirmó que un estrés moderado puede no afectar el rendimiento del tabaco ya que la reducción en el tamaño de las hojas se ve compensada por el aumento de la masa por unidad de área foliar. En el Valle de Lerma se ha demostrado que con riego por goteo el umbral mínimo de reposición de agua es del 60% de la necesidad de riego (calculada por balance climático) para mantener el 100% de la producción (Tapia Reyna *et al.*, 2015). La tolerancia del tabaco al déficit hídrico podría estar asociada a su capacidad de extraer agua a bajos potenciales hídricos, se ha demostrado que en el tabaco oriental la fracción de agua fácilmente utilizable para la planta fue de 0,6 para el período vegetativo y 0,8 para la cosecha (Ranjabar y Taghavi, 2006).

Los estudios antes mencionados no consideran que al realizar un trasplante escalonado (situación típica de los productores) la oferta ambiental va a ser diferente en los distintos momentos. La respuesta a la fecha de trasplante depende en gran medida de la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Wilkinson *et al.*, 2008). Si bien las plantaciones tempranas presentarán niveles más elevados de producción de materia seca vinculados a mayor captura de PAR (Ballari, 2005), debe tenerse en cuenta que independientemente del momento de trasplante, la radiación interceptada por la canopia puede ser subóptima debido a que el cultivo no puede compensar su baja cobertura de suelo con ramificaciones laterales (Ceotto y Castelli, 2002). Wilkinson *et al.* (2008) mencionan que el tabaco plantado tardío puede presentar un crecimiento más rápido, acelerar la iniciación floral, producir hojas más delgadas y reducir los rendimientos; observan que plan-

taciones realizadas dos a cinco semanas después de su fecha normal disminuyeron su rendimiento sin registrarse daños en la calidad de hoja. Sin embargo, existen antecedentes donde el efecto del retraso en la fecha de trasplante no presentó reducciones en el rendimiento (Miner, 1978).

Es evidente que poder ajustar el tiempo y la cantidad de agua para reponer permite diseñar primero, y luego administrar y controlar el mejor programa riego posible cuando el suministro de agua está restringido. El uso de sistemas de riego presurizado también permite que se apliquen pequeñas cantidades a intervalos frecuentes proporcionando una herramienta adicional para el manejo del estrés (Feres y Soriano, 2007). Por lo tanto, es posible en situaciones de escasez de agua manejar el riego deficitario de forma óptima con el objetivo de mantener, o incluso incrementar, los beneficios de los agricultores, aumentar la eficiencia en la captura y uso de la radiación, y reducir el uso del agua de riego (Feres y Soriano, 2007); precisamente esta situación se podría presentar en el tabaco del Valle de Lerma.

Este estudio adquiere mayor relevancia si se tiene en cuenta que actualmente se está ejecutando el proyecto de Riego Presurizado Gravitacional del Río Toro en la provincia de Salta. Dicho río tiene empadronada una superficie total bajo riego de 10.497 ha, donde el tabaco representa el 83% de la agricultura de regadío. Uno de los objetivos es desarrollar una serie de redes presurizadas colectivas gravitacionales, que abarcarán aproximadamente 6.000 ha del Valle de Lerma (PROSAP, 2015).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue i) evaluar la respuesta de la materia seca de hoja de tabaco y sus componentes al riego deficitario de alta frecuencia durante la fase previa a las precipitaciones en el Valle de Lerma (Cerrillos, Salta) para dos fechas de trasplante, y ii) determinar atributos relacionados con la eficiencia en el uso de la radiación y el agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Salta (24° 54' Sur, 65° 29' Oeste, Salta, Argentina) durante los ciclos agrícolas 2013/14, 2015/16 y 2016/17, sobre un suelo de textura franca a franca limosa. Con el objetivo de evitar superposición de tratamientos en el sitio experimental, las parcelas fueron rotando dentro de un lote de características edáficas similares.

El material vegetal utilizado consistió en plántulas vigorosas y uniformes de tabaco tipo Virginia variedad K394 obtenidas con almácigos flotantes.

Los tratamientos surgieron de la combinación de dos factores: momento de trasplante (Te: temprano y Ta: tardío) y necesidad de riego (NR) con niveles de reposición del 50 y 100%; quedando conformados cuatro tratamientos:

Te100: trasplante temprano, 100% de reposición de NR

Te50: trasplante temprano, 50% de reposición de NR

Ta100: trasplante tardío, 100% de reposición de NR

Ta50: trasplante tardío, 50% de reposición de NR

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Cada unidad experimental estuvo conformada por tres surcos de 12 m de largo distanciados a 1,2 m entre ellos, y 0,40 m de distancia entre plantas.

La siembra de almácigos se realizó escalonada a fin de lograr dos fechas de trasplante, mediados de septiembre y principios de octubre para los tres ciclos agrícolas.

La reposición de agua se calculó en función de NR estimada por balance climático. Los registros de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) estimados con el método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006) y de precipitación diaria fueron obtenidos de la estación agrometeorológica automática de la Estación Experimental Agropecuaria Salta de INTA. Para el cálculo de evapotranspiración del cultivo (ET_c) se utilizó el coeficiente de cultivo propuesto por Yáñez (2002) (inicial 0,47, medio 0,84 y final 0,65) y la precipitación efectiva (PPE) diaria se calculó como un 80% de la lluvia registrada. En todos los ciclos agrícolas, el riego se realizó por goteo, garantizando la uniformidad y precisión de este. Una vez iniciada las lluvias estivales se suspendió el riego por ser suficientes para cubrir las demandas del cultivo. En las parcelas con el 50% de NR, los riegos se realizaron en el mismo momento que en las de 100%, pero con la mitad de la lámina.

A partir de los 15 días después del trasplante (DDT) se aplicaron los dos niveles de reposición hídrica, considerando diferentes tiempos de aplicación de agua. Los intervalos de riego fueron variables, pero no superaron los 5 días en ninguno de los ciclos agrícolas. Para garantizar la independencia entre los niveles hídricos de las unidades experimentales se dejó entre estas un surco sin regar.

Para evitar cualquier estrés de tipo nutricional se aplicaron fertilizantes sintéticos en los tres ciclos agrícolas. Durante el ciclo agrícola 2013/14 la fertilización se realizó con formulaciones sólidas, de acuerdo a la fertilización que se realiza en la zona, aportando 86 kg/ha de N, 45 kg/ha de P y 174 kg/ha de K distribuidos al trasplante (mezcla 11-17-24) y a los 30 DDT (nitrato de potasio). En los siguientes ciclos agrícolas, el aporte nutricional (NPK) se lo realizó con fertiriego con base en las curvas de absorción de nutrientes obtenidas para la zona (Ortega, 2007), considerando al suelo como si fuera un sustrato. Se aplicaron 198 kg/ha de N, 16 kg/ha de P y 248 kg/ha de K. El 80% de estos se aplicaron antes de los 70 DDT, y el 20% restante entre los 90 y 110 DDT. En el ciclo agrícola 2015/16 se logró aplicar el 100% de la dosis, mientras que en el 2016/17, debido a las precipitaciones ocurridas, solo pudo aplicarse el 40% de lo requerido al inicio del ciclo.

En diferentes momentos del ciclo se seleccionaron dos a tres plantas al azar del surco central de cada unidad experimental: 5-6 hojas (ciclo agrícola 2013/14), 8-11 hojas (ciclo agrícola 2013/14 y 2015/16), 20-24 hojas y cosecha (todos los ciclos agrícolas). En cada momento se

determinó materia seca de hoja por planta (MSh) y materia seca aérea por planta (hoja+tallo) (MSa) utilizando una estufa a 60 °C hasta peso constante. Además, se determinó el índice de área foliar (IAF) con el areafoliómetro LI-3100 y la masa foliar específica (MFE) realizando el cociente entre MSh por planta y área de las hojas de la planta.

En los ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17 se registró semanalmente la tasa de aparición de hojas, mediante el intervalo de aparición de la punta de dos hojas consecutivas desde iniciado el tratamiento hasta la aparición del botón floral, y se calculó el filocrono como la inversa de la relación lineal entre el número acumulado de hojas emergidas y el tiempo térmico (Miralles *et al.*, 2001).

Con la misma frecuencia de medición (semanal) se realizaron lecturas con ceptómetro digital para determinar la fracción de radiación fotosintéticamente activa (fRFA) interceptada por el cultivo. Las mediciones se realizaron al mediodía en días soleados. Con datos de radiación incidente (Rinc) obtenidos de la estación agrometeorológica del INTA EEA Salta se calculó a cosecha la radiación interceptada acumulada por el cultivo durante el ciclo (Rint) y la eficiencia de uso de radiación (EUR):

$$EUR = \frac{MSa}{fRFA * Rinc} = \frac{MSa}{Rint}$$

Donde:

EUR: eficiencia de uso de radiación (g/MJ)

MSa: materia seca aérea por planta (g/m²)

fRFA: fracción de radiación interceptada (%)

Rinc: radiación incidente (MJ/m²)

Rint: radiación interceptada por el cultivo (MJ/m²)

Para el muestreo de cosecha se calculó la eficiencia de uso del agua (EUA). La EUA se calculó considerando el agua de riego sola (EUAr) o el agua aportada por las precipitaciones y el riego (EUApr) a partir de la siguiente expresión:

$$EUA = \frac{MSa}{PPE + R} \text{ o } \frac{MSa}{R}$$

Donde:

EUA: eficiencia de uso del agua (g/mm)

MSa: materia seca aérea por planta (g/m²)

R: agua aportada por riego (mm)

PPE: agua aportada por precipitación efectiva (mm)

Los efectos de los tratamientos y los años sobre los parámetros analizados se determinaron por análisis de varianza (ANOVA) y se realizó comparaciones de medias con el test de mínima diferencia significativa (LSD) con p<0,05. El año de fertilización sólida se analizó por separado.

RESULTADOS

En función de las lluvias totales caídas durante el ciclo del cultivo (septiembre a febrero), se pueden considerar a los ciclos agrícolas 2013/14 y 2016/17 más secos que el 2015/16 (431, 357 y 675 mm, respectivamente). Los dos primeros, 2013/14 y 2016/17, se encuentran por debajo de la media histórica para el Valle de Lerma de 540 mm (figura 1). Cabe destacar que si bien el ciclo agrícola 2015/16 fue el más húmedo al considerar la precipitación acumulada en cuanto a su distribución, presentó menores precipitaciones que los otros dos ciclos agrícolas hasta fines de enero, pero significativos incrementos de las precipitaciones luego de este mes (figura 1).

En general, la oferta de agua acumulada de las precipitaciones y riegos aplicados llegó a cubrir la demanda evapotranspiratoria acumulada del cultivo para los tratamientos con el 100% de reposición hídrica en todos los ciclos agrícolas (figura 2).

Para los ciclos agrícolas con fertilización líquida (2015/16 y 2016/17) la interacción triple entre fecha de trasplante, nivel de reposición hídrica y ciclo agrícola no fue significativa para ninguna de las variables estudiadas. Sí se observaron interacciones dobles para para EUArp entre ciclo agrícola y NR ($p=0,0368$); además para EUAr entre momento de trasplante y NR ($p<0,001$), y entre ciclo agrícola y momento de trasplante ($p=0,001$). En el ciclo agrícola 2013/14, con fertilización sólida, hubo interacción entre momento de trasplante y NR ($p= 0,0008$) para EUAr. Es por ello que en el análisis de los resultados para el resto de variables medidas se tratan estos factores por separado.

El filocrono fue similar en ambos ciclos agrícolas ($p>0,49$); se necesitaron entre 1,5 a 1,8 °Cd⁻¹ más para la

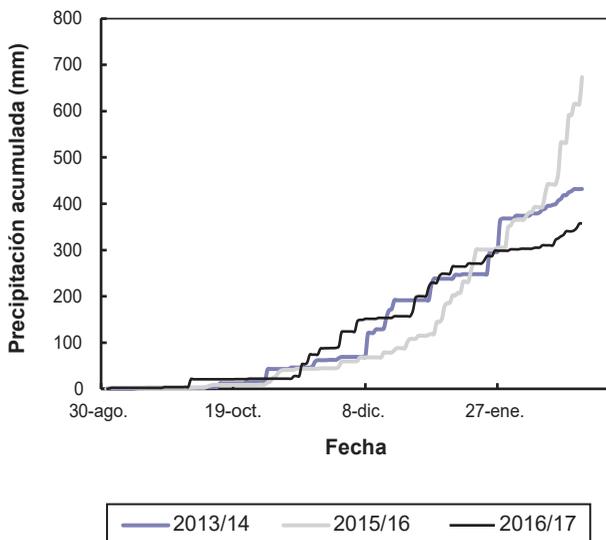


Figura 1. Precipitación acumulada (mm) en Cerrillos (Valle de Lerma, Salta) durante los meses de septiembre a febrero para los ciclos agrícolas de tabaco 2013/14, 2015/16 y 2016/17.

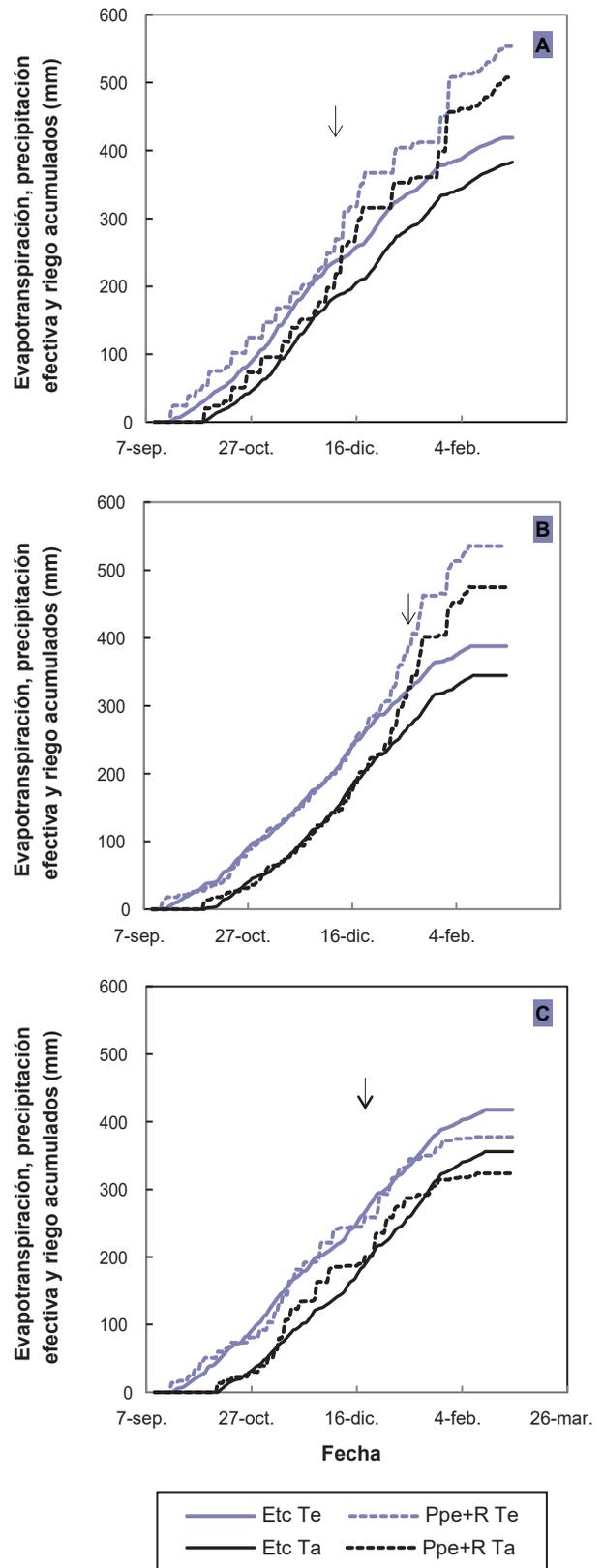


Figura 2. Valores acumulados expresados en milímetros (mm) de evapotranspiración de cultivo (línea llena) y precipitación efectiva más riegos (línea punteada) considerando el 100% de reposición hídrica para las fechas de trasplante temprana (Te, septiembre) y tardía (Ta, octubre) durante los ciclos agrícolas 2013/14 (a), 2015/16 (b) y 2016/17 (c) de tabaco en Cerrillos, Salta.

Factor	Filocrono (°C día por hoja)		
Necesidad de riego	100	23,5±	0,5 b
	50	25,0±	0,6 a
Trasplante	Te	26,7±	0,5 a
	Ta	24,9±	0,4 b

Tabla 1. Intervalo medio de tiempo (y error estándar) entre la aparición de dos puntas de hojas consecutivas (filocrono) de tabaco para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) y dos niveles de reposición hídrica (100 y 50%) durante los ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17 en Cerrillos, Salta. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

aparición de una punta de hoja cuando las plantas tuvieron menor disponibilidad hídrica o fueron trasplantadas más temprano (tabla 1).

En las restantes variables estudiadas, los ciclos agrícolas se diferenciaron entre ellos para todas las variables ($p < 0,05$), por lo que se evaluaron de forma individual.

La MSh a cosecha no se vio afectada por la fecha de trasplante en ninguno de los tres ciclos agrícolas, alcanzando valores de más de 200g/planta cuando se trabajó con fertirriego. Se destaca la menor MSh del ciclo agrícola 2013/14, el único que recibió fertilización sólida (figura 3).

En el ciclo agrícola 2016/17, la MSh en los muestreos anteriores a cosecha fue mayor en Ta, lo cual puede deberse a que para estos momentos las plantas de Ta tuvieron el aporte de las primeras lluvias de noviembre (30 mm de PPe). En el ciclo agrícola 2013/14, Te presentó mayor MSh con plantas entre 10-11 hojas (figura 3).

El IAF alcanzado en 2013/14 fue la mitad del alcanzado en los otros dos ciclos agrícolas (tabla 2). A cosecha, el IAF se diferenció entre fechas de trasplante solo en el ciclo agrícola 2015/16, donde Te presenta un 12% más de IAF que Ta. En muestreos previos de cosecha del ciclo agrícola 2013/14, plantas con 10 a 11 hojas trasplantadas a mediados de septiembre alcanzaron un IAF mayor que las trasplantadas más tarde; mientras que en el último ciclo agrícola Ta es el que presentó mayores IAF en los dos primeros muestreos (8 a 11 y 16 a 17 hojas). El mayor IAF de Ta en este ciclo agrícola puede deberse a que ya recibieron el aporte de las lluvias de noviembre (20 mm de PPe) (tabla 2). Estos milímetros de agua pueden ser los responsables de la mayor área foliar y, por ende, de su mayor capacidad de captura de recursos para producir materia seca (figura 3).

La MFE fue incrementándose a lo largo del ciclo del cultivo en todos los ciclos agrícolas, presentando hojas más pesadas al finalizar el ciclo. Se destaca que en el ciclo agrícola 2015/16 Ta presentó hojas un 10% más pesadas por unidad de área que Te a cosecha (tabla 2), comportamiento opuesto al observado para IAF.

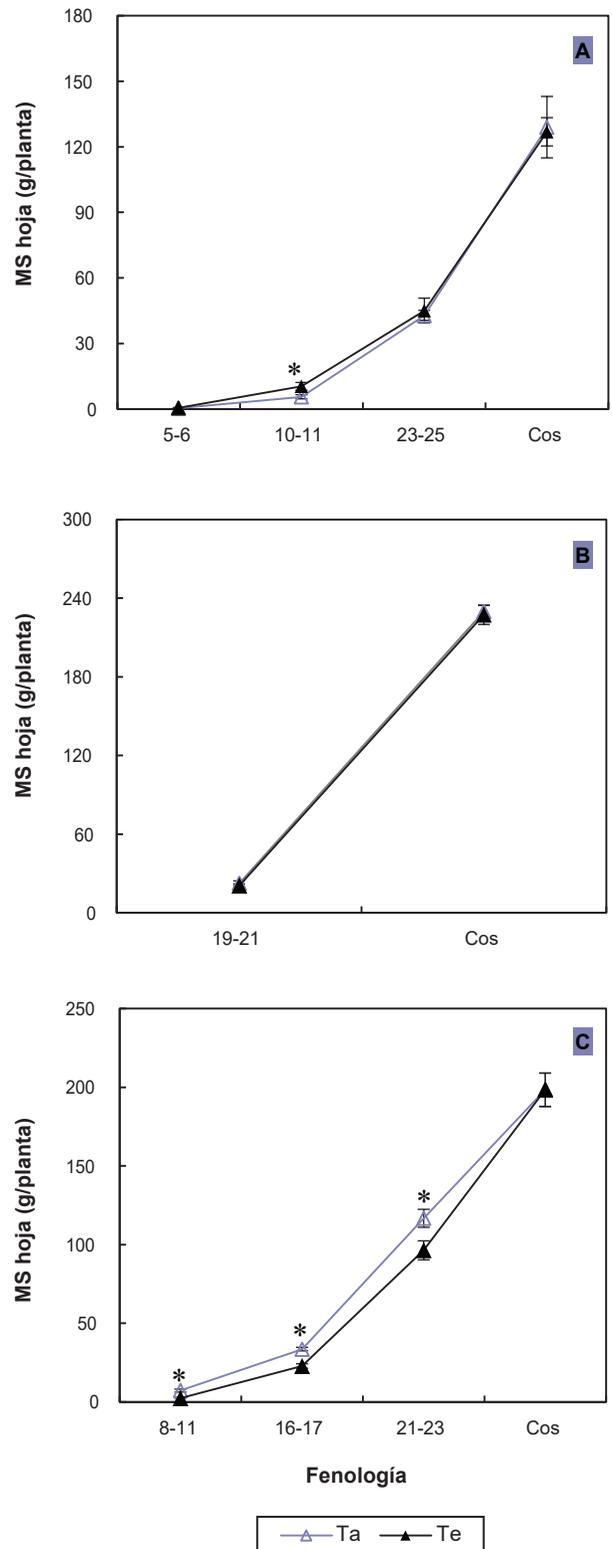


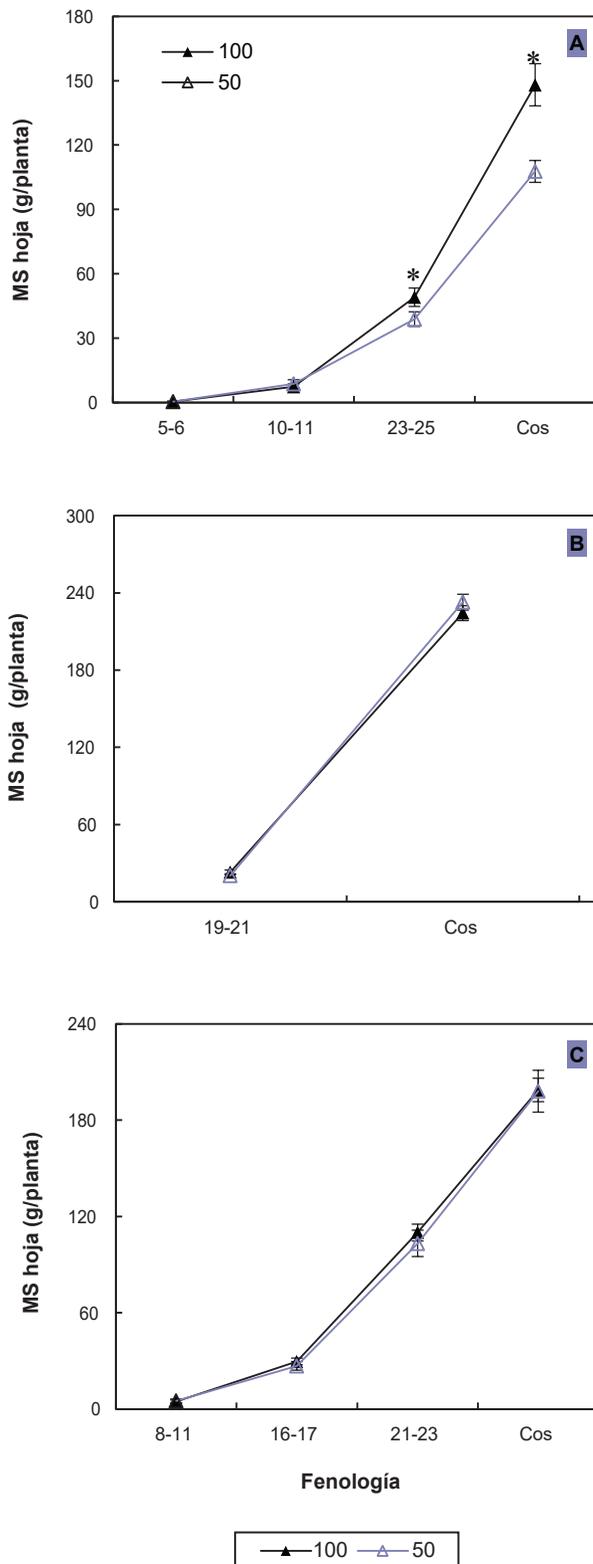
Figura 3. Materia seca de hojas de tabaco (g/planta) para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) en diferentes momentos fenológicos (los números se corresponden con el número de hojas y cosecha, Cos) durante los ciclos agrícolas 2013/14 (a), 2015/16 (b) y 2016/17 (c) en Cerrillos, Salta. Las barras representan el error estándar y los * indican diferencias significativas entre tratamientos en cada ciclo agrícola para cada muestreo fenológico ($p < 0,05$).

	IAF		MFE (mg/cm ²)	
	Te	Ta	Te	Ta
2013-14				
05-jun	0,03±0,01ns	0,02±4,5 10 ⁻³ ns	3,71±0,15ns	4,16±0,32ns
10-nov	0,36±0,06a	0,22±0,03b	5,95±0,16a	5,26±0,16b
23-25	1,30±0,15ns	1,12±0,07ns	7,14±0,15b	8,10±0,43a
Cos	2,68±0,10ns	2,40±0,16ns	9,82±0,18ns	10,09±0,4ns
2015-16				
19-21	1,76±0,14ns	1,66±0,16ns	2,52±0,20ns	2,84±0,05ns
Cos	5,15±0,18a	4,59±0,1b	9,25±0,29b	10,47±0,26a
2016-17				
08-nov	0,07±0,01b	0,22±0,02a	5,95±0,21b	6,85±0,08a
16-17	0,76±0,06b	1,12±0,05a	6,14±0,21ns	6,29±0,12ns
21-23	3,18±0,22ns	3,70±0,28ns	6,38±0,30ns	6,78±0,52ns
Cos	4,60±0,24 ns	4,49±0,24ns	8,85±0,17ns	9,23±0,07ns

Tabla 2. Valores medios (y errores estándar) de índice de área foliar (IAF) y masa foliar específica (MFE) de tabaco para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) en diferentes momentos fenológicos (los números se corresponden con el número de hojas y cosecha, Cos) en los ciclos agrícolas 2013/14, 2015/16 y 2016/17 en Cerrillos, Salta. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada muestreo fenológico ($p < 0,05$); ns=diferencias no significativas.

	IAF		MFE (mg/cm ²)	
	100	50	100	50
2013-14				
05-jun	0,03±0,01ns	0,02±4,5 10 ⁻⁰³ ns	4,06±0,32ns	3,81±0,19ns
10-nov	0,28±0,05ns	0,3±0,06ns	5,41±0,21ns	5,8±0,18ns
23-25	1,34±0,11ns	1,08±0,11ns	7,42±0,16ns	7,81±0,49ns
Cos	2,74±0,15a	2,34±0,09b	10,29±0,32ns	9,62±0,21ns
2015-16				
19-21	1,83±0,17ns	1,59±0,1ns	2,66±0,14ns	2,69±0,16ns
Cos	4,81±0,2ns	4,93±0,15ns	9,82±0,4ns	9,9±0,32ns
2016-17				
08-nov	0,14±0,03ns	0,15±0,04ns	6,36±0,22ns	6,44±0,24ns
16-17	1,01±0,07ns	0,87±0,09ns	6,09±0,18ns	6,33±0,16ns
21-23	3,35±0,21ns	3,52±0,31ns	7,01±0,52ns	6,16±0,23ns
Cos	4,61±0,22ns	4,48±0,27ns	9,03±0,17ns	9,05±0,12ns

Tabla 3. Valores medios (y errores estándar) de índice de área foliar (IAF) y masa foliar específica (MFE) de tabaco para diferentes niveles de reposición de agua de riego (100 y 50% de la NR) durante los ciclos agrícolas 2013/14, 2015/16 y 2016/17 (los números se corresponden con el número de hojas y cosecha, Cos) en Cerrillos, Salta. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada muestreo fenológico ($p < 0,05$); ns=diferencias no significativas.



Al utilizar fertilizantes líquidos, los dos niveles de reposición hídrica produjeron similar MSh en todos los momentos del ciclo (ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17). Con la fertilización sólida (ciclo agrícola 2013/14) se observó mayor producción de MSh a partir de las 23 a 25 hojas para el 100 de NR, por lo que este tipo de fertilización aparentemente aumenta el efecto de la restricción hídrica (figura 4).

La menor reposición hídrica solamente disminuyó el IAF a cosecha en el ciclo agrícola 2013/14, y no tuvo ningún efecto significativo sobre la MFE (tabla 3). La disminución de IAF se vio reflejada en la menor MSh a cosecha del cultivo con menor disponibilidad hídrica en este ciclo agrícola (figura 4).

La dinámica de la fracción de radiación interceptada a lo largo del ciclo del cultivo se observa en la figura 5. Los niveles de reposición de agua presentan una dinámica similar entre ellos para los ciclos 2015/16 y 2016/2017. Si bien en los primeros momentos del ciclo se observa menor intercepción para Ta, cuando las plantas alcanzan el número final de hojas (diciembre) la fracción de intercepción de ambas fechas alcanza el 80% para luego disminuir con el inicio de las cosechas (figura 5). Esto se vio reflejado en que las dos fechas de trasplante y los dos niveles de riego acumularon similares cantidades de Rint durante el ciclo del cultivo y lograron una EUR semejante (tabla 4). La Rint acumulada durante el ciclo agrícola 2015/16 fue menor a la del ciclo 2016/17 (tabla 4).

La EUApr fue menor en el ciclo agrícola 2013/14 respecto a los otros ciclos. En los tres ciclos agrícolas se observan mayores EUApr a cosecha para el trasplante de octubre (Ta). En el ciclo agrícola 2013/14 no existieron diferencias entre los niveles de reposición hídrica, mientras que en los años con fertilización líquida el ciclo agrícola 2015/16 con nivel de reposición hídrica de 50% presentó la mayor EUApr (tabla 5).

En todos los ciclos agrícolas, la mayor EUAr se presentó en los tratamientos que combinan el trasplante tardío con 50% de reposición hídrica (tabla 6). El tratamiento Te100% fue el que presentó a cosecha las menores EUAr en todos los ciclos agrícolas (tabla 6). Para esta misma variable, la interacción significativa entre el ciclo agrícola y el momento de trasplante mostró la mayor eficiencia para Ta en el ciclo 2016/17 y luego para Ta en 2015/16, con medias de $5,29 \pm 1,91$ g/mm y $4,65 \pm 1,74$ g/mm respectivamente; los momentos de trasplante Te fueron menores que los Ta y no se diferenciaron entre los ciclos agrícolas (tabla 6).

DISCUSIÓN

Se encontró una gran variabilidad en la producción de MSh de tabaco a cosecha entre los ciclos agrícolas en Cerrillos, Salta (94,3 a 253,9 g/planta). Más allá de los tratamientos de fecha de trasplante y necesidad de riego, las características meteorológicas del ciclo agrícola, el manejo del riego y la fertilización nitrogenada definieron esta variabilidad: la mayor MSh se observó en el ciclo agrícola 2015/16, luego le siguió la MSh del ciclo agrícola 2016/17

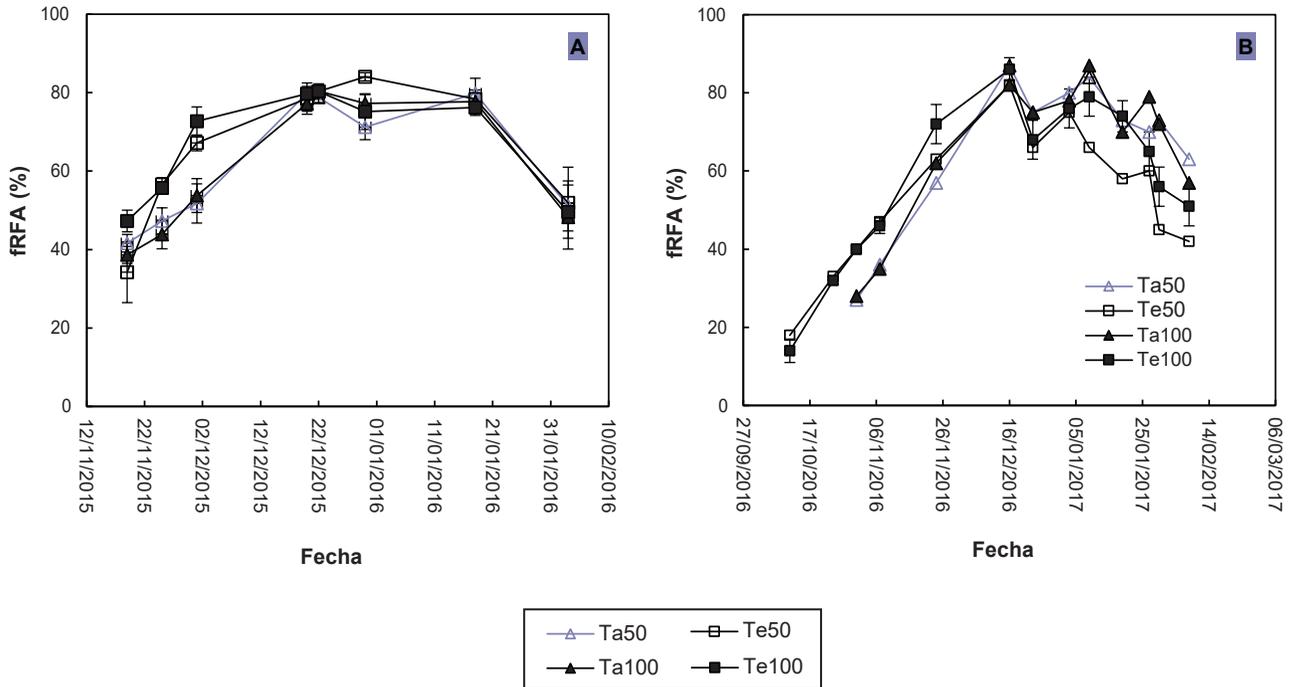


Figura 5. Dinámica de radiación interceptada (%) (fRFA) durante el ciclo de cultivo de tabaco para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) y dos niveles de reposición de agua de riego (100 y 50% de NR) durante los ciclos agrícolas 2015/16 (a) y 2016/17 (b) en Cerrillos, Salta.

	Momento de trasplante		Nivel de reposición hídrica	
	Te	Ta	100	50
2015-16				
Rint	1152±23ns	1123±31ns	1130±26ns	1145±30ns
EUR	0,51±0,02ns	0,53±0,02ns	0,52±0,02ns	0,51±0,01ns
2016-17				
Rint	1308±45ns	1253±22ns	1312±34ns	1249±36ns
EUR	0,51±0,02ns	0,55±0,01ns	0,54±0,02ns	0,52±0,02ns

Tabla 4. Valores medios (y errores estándar) de radiación interceptada acumulada (Rint) (MJ/m²) y eficiencia de uso de radiación (EUR) (g/MJ) de tabaco a cosecha para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) y dos niveles de reposición de agua de riego (100 y 50% de NR) en los ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17 en Cerrillos, Salta. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p < 0,05); ns=diferencias no significativas.

(ambos con fertilización líquida), mientras que la significativa y menor MSh se observó en el ciclo agrícola 2013/14, donde la fertilización fue realizada con fertilizante sólido. Estos valores de MSh a cosecha se encuentran dentro de los rangos reportados para la zona y en otros países donde se cultiva tabaco. En lotes productivos de Chicoana (Salta), la MSh varió entre los 62,4 y 273,6 g/planta (Diez *et al.*, 2014); mientras que en Tifton (EE. UU.), Maw *et al.* (2009) para un ensayo de restricción hídrica en diferentes momen-

tos de la etapa de rápido crecimiento obtuvieron MSh entre 141,3 y 206,2 g/planta.

En este estudio la fecha de trasplante no generó cambios en la producción de materia seca de hoja a cosecha, mientras que en lotes productivos de la zona se observó que las plantaciones tempranas (septiembre) resultan en una mayor producción de MSh que las tardías (octubre) (Diez *et al.*, 2014). Estos autores sugieren que la diferencia entre las dos fechas de trasplante puede deberse a un alarga-

Factores principales				
	Momento de trasplante		Nivel de reposición hídrica	
	Te	Ta	100	50
2013-14	0,22±0,03b	0,4±0,02a	0,32±0,04ns	0,3±0,04ns
2015-16 y 2016-17	0,80±0,04b	0,96±0,03a	0,81±0,03ns	0,95±0,04ns
Interacción				
	Ciclo agrícola x Momento de trasplante		Ciclo agrícola x Nivel de reposición hídrica	
	2015-16	2016-17	2015-16	2016-17
	0,89±0,05ns	0,98±0,04ns	0,83±0,03b	1,04±0,03a
	0,72±0,03ns	0,93±0,04ns	0,79±0,04b	0,86±0,06b

Tabla 5. Valores medios (y errores estándar) de eficiencia de uso del agua a cosecha en función de las precipitaciones y el riego (EUApr) (g/mm) para los ciclos agrícolas 2013/14, 2015/16 y 2016/17 para dos momentos de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) y dos niveles de reposición de agua de riego (100 y 50% de NR). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$); ns=diferencias no significativas.

Interacción (Momento de trasplante x Nivel de reposición hídrica)				
	Te100	Te50	Ta100	Ta50
	2013-14	0,73±0,1d	1±0,19c	1,43±0,11b
2015-16 y 2016-17	2,08±0,07d	3,97±0,22b	3,30±0,14c	6,64±0,21a
Interacción (Ciclo agrícola x Momento de trasplante)				
	Te		Ta	
	2015-16	2016-17	2015-16	2016-17
	3,21±1,25c	2,84±0,92c	4,65±1,74b	5,29±0,013a

Tabla 6. Valores medios (y errores estándar) de eficiencia de uso del agua de riego (EUAr) (g/mm) en el cultivo de tabaco en Cerrillos-Salta para la interacción entre momento de trasplante (temprano, Te; tardío, Ta) y nivel de reposición de agua de riego (100 y 50% de NR) en los ciclos agrícolas 2013/14, 2015/16 y 2016/17, y la interacción entre ciclo agrícola (2015/16, 2016/17) y momento de trasplante. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción ($p < 0,05$); ns=diferencias no significativas.

miento del “tiempo en el campo” que repercute en los días de aprovechamiento de la oferta radioactiva estacional. A pesar de que no se reflejó en la MSh a cosecha, esta mayor oferta de radiación también se observó en este estudio entre las fechas de trasplante; la diferencia entre Te y Ta fue de 300 a 400 MJ/m² para los ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17, respectivamente. Esta diferencia se asocia principalmente a la primera etapa del ciclo ya que los tiempos a cosecha entre las fechas de trasplante variaron solo una semana (datos no mostrados). Sin embargo, este plus de radiación incidente no se ve reflejado en la radiación interceptada acumulada por el cultivo al final del ciclo que es similar entre fechas de trasplante, lo que justifica la no diferencia entre fechas de trasplante para MSh.

Asociado a la radiación interceptada acumulada y a la MSh, en los ciclos agrícolas 2013/14 y 2016/17, el IAF y

la MFE a cosecha no se diferenciaron entre las fechas de trasplante. En el ciclo agrícola 2015/16, el mayor IAF a cosecha de las plantas trasplantadas a mediados de septiembre no se vio reflejado en un mayor MSh. Esto podría estar asociado a que ocurrieron importantes precipitaciones durante la fase de activo crecimiento en este ciclo agrícola, lo que llevó a que el menor IAF de las plantas de Ta sea compensado con hojas con mayor MFE. Los valores de MFE a cosecha en los tres ciclos agrícolas variaron entre los 9,03 a 10,3 mg/cm², esto es similar al rango obtenido por Maw *et al.* (2009) (8,7 a 9,8 mg/cm², valores promedios de tres años); los valores más altos corresponden a los tratamientos con estrés.

Los valores de EUR obtenidos variaron entre los 0,46 y 0,53 g/MJ, resultando inferiores a los valores de 0,74 y 0,95 g/MJ reportados por Ceotto y Castelli (2002). Estas

diferencias se deben a que en este estudio la eficiencia fue calculada en función de la radiación incidente, mientras que Ceotto y Castelli (2002) utilizaron para su cálculo la radiación fotosintéticamente activa; la relación entre ambas es cercana a 0,5 (Monteith, 1972), por lo que los valores de EUR son similares. Estos autores sugieren que la baja EUR luego de la fase vegetativa se debe a que al realizar el desflore y la aplicación de desbrotador se impondría una fuerte limitación por destino al cultivo y consecuentemente obstaculizaría el crecimiento de este. A esto se le podría sumar que, debido a la cosecha escalonada de hojas en activo crecimiento, que ante el desflore y desbrote actuarían como destinos prioritarios, la limitación por destinos se agrava. Esta limitación por destino incrementaría el Pi (fósforo inorgánico) en el citosol, por lo que los productos de la fotosíntesis son rápidamente sacados del cloroplasto en forma de triosa fosfato y cambiado por Pi (Ceotto y Castelli., 2002), ralentizando la fotosíntesis.

Reponer el 50% de la NR no modificó MSh, IAF ni MFE para ninguno de los momentos evaluados de los ciclos agrícolas 2015/16 y 2016/17 (donde se utilizó fertilizante líquido). Sin embargo, en el ciclo agrícola 2013/14, donde la fertilización se realizó con fertilizante sólido, la MSh y el IAF a cosecha fueron significativamente menores en el tratamiento de 50% de la NR. Esto demuestra que el tabaco podría penalizar su rendimiento con un déficit hídrico del 50% de NR si se aplica fertilizante sólido, situación poco probable si se utiliza riego presurizado. Estos resultados difieren de los de Sifola (2010) en tabaco Burley quien observó una disminución del rendimiento de 31 y 10% al comparar dos tratamientos de deficiencia de riego del 50% de ETc impuestos como déficit convencional o por la alternancia de surco regado respectivamente. Ledesma (2012) afirma que el desarrollo vegetativo y la producción del cultivo de tabaco responde de manera diferencial a los niveles de reposición de agua, y que con métodos donde se asegure una alta frecuencia de reposición existe la posibilidad de imponer estrategias de riego deficitario, por lo que la aplicación del estrés con riego de alta frecuencia puede haber influenciado positivamente en los resultados.

El ciclo agrícola 2013/14 presentó la menor EUApr y EUAr debido a que en este ciclo agrícola se utilizó fertilización sólida, la cual podría haber disminuido el potencial osmótico del suelo dificultando el aprovechamiento del agua y del mismo fertilizante por el cultivo. Esta situación se agravó cuando se aplicó el 50% de la NR.

Mientras menor cantidad de agua (precipitación + riego) recibió el cultivo, mayor EUApr y EUAr presentó, por lo que la plantación Ta y la reposición del 50% de NR han generado más eficiencia en el uso de este recurso. En tabaco Burley la eficiencia de uso de agua de riego calculada en función del rendimiento y los milímetros de agua aplicados no se diferenció entre el testigo y los tratamientos de estrés, sin embargo, los tratamientos deficitarios fueron más eficientes que el control (Sifola, 2010).

En las condiciones climáticas del Valle de Lerma (Cerrillos, Salta) la reposición con hasta el 50% de NR con riego

de alta frecuencia durante el período de estiaje le permite al cultivo mantener la producción de MSh, IAF, MFE, independientemente de la fecha de trasplante. Además de no penalizar el rendimiento, este tratamiento deficitario no disminuye la EUR y para una misma fecha de trasplante incrementa la EUAr, por lo que se considera que es una alternativa viable para la zona. Sin embargo, estudios que consideren la calidad de la hoja deberían ser llevados a cabo para reafirmar estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos PNIND 1108064 y PRET SALJU N° 1232102 del INTA, y el Trabajo N° 2202 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta. Agradecemos la colaboración Lucas Quispe y Julieta Herrera Onaga, y de todos los integrantes del área de Ecofisiología de Cultivos de la EEA Salta de INTA.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R.G.; PERIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.
- ÁVILA, N.; DIEZ J.; LEDESMA F.; YÁÑEZ E.; PAOLI, H. 2015. Evaluación de la dinámica del agua en lotes de tabaco con y sin antecedentes de amarillamiento en el Valle de Lerma. Anales de resúmenes del xxv Congreso Nacional del Agua. Paraná, Entre Ríos. 183 p.
- BALLARI, M.H. 2005. Tabaco Virginia. Aspectos ecofisiológicos y de la nutrición en condiciones de cultivo. 1.ª ed. Córdoba, Argentina. 224 p.
- BLANCO, L.E.; YÁÑEZ, C.E.; QUIROGA, I. 1989. Riego en tabaco Virginia. Informe final del trabajo N.º 07:2165. Estación Experimental, Salta. INTA.
- CEOTTO, E.; CASTELLI, F. 2002. Radiation-use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitations. Field Crops Research 74, 117-130.
- DIEZ, J. 2011. Optimización en el uso de los recursos hídricos y nutricionales por el tabaco Virginia en el departamento de Chichona (Salta). Tesis Magister Scientiae en Producción Vegetal. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Universidad Nacional de Buenos Aires. 102 p. (Disponible: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011diezjosefina.pdf> verificado: julio de 2018).
- DIEZ, J.; TONCOVICH, M.E.; RODRÍGUEZ, M.B. 2014. Fecha de trasplante y requerimientos de nutrientes (N-P-K) en los lotes tabacaleros de Salta (Argentina). Ciencia del suelo 32(2), 209-218.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper N.º 33. Roma, Italia. 193 p.
- FERERES, E.; SORIANO, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58 (2), 147-159.
- HAWKS, S.N.; COLLINS, W.K.; KITTRELL, B.U. 1976. Effects of transplanting date, nitrogen rate and rate of harvest on extending the harvest of flue cured tobacco. Tobacco Science 20, 51-54.
- JENSEN C. R.; ØRUM J. E.; PEDERSEN S. M.; ANDERSEN M. N.; PLAUBORG F.; LIU F.; JACOBSEN S.E. 2014. A Short Overview of Measures for Securing Water Resources for Irrigated Crop Production. J Agro Crop Sci 200, 333-343.

- KARAM, F.; MASAAD, R.; BACHOUR, R.; RHAYEM, C.; ROUPHAEL, Y. 2009. Water and radiation use efficiencies in drip-irrigated pepper (*Capsicum annum* L.): Response to full and deficit irrigation regimes. *Europ. J. Hort. Sci.* 74, 79-85.
- LEDESMA, M.F. 2012. Evaluación del efecto de distintos regímenes de riego como estrategia de riego deficitario controlado en Tabaco. Tesis de Magister en Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 77 p. (Disponible: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-tesis_riego_tabaco_ledesma.pdf verificado: julio de 2018).
- MAW, B.W.; STANSELL, J.R.; MULLINIX, B.G. 2009. Soil-plant-water relationships for flue-cured Tobacco. *Research Bulletin Cooperative Extension, Universidad de Georgia.* 427.
- MINER, G.S. 1978. The effects of seedling age transplanting date on yield quality of flue-cured tobacco and on harvest extension. *Tabacco Science* 22, 118-121.
- MIRALLES, J.D.; FERRO, B.C.; SLAFER, G.A. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crop Resarch* 71, 211-223.
- MONTEITH, J.L. 1972. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *The Journal of Applied Ecology* 9 (3), 747-766.
- NADIR, A.R.; OSINAGA, R.; ZAPATER, M.A.; MATTALIA, M.C. 2004. Diagnóstico. Programa de desarrollo para pequeños productores tabacaleros. Administración fondo especial del tabaco. EEA Cerrillos, Salta. 80 p.
- ORTEGA, A. 2007. Absorción de macronutrientes y acumulación de materia seca de tabaco tipo Virginia en el Valle de Lerma (Salta). EEA Salta. INTA. 7 p.
- PROSAP. 2015. Proyecto de reconversión productiva del área tabacalera del Río Toro, el proyecto de riego presurizado gravitacional más importante de América del Sur. (Disponible: <http://www.proyectorioro.org> verificado: 02 de febrero de 2018).
- RANJBAR, R.; TAGHAVI, R. 2006. Determination of maximum allowable depletion fraction in different stages of growth for Oriental tobacco, variety B.S.31. *Agronomy/Phytopathology Groups. Conferencia llevada a cabo en el Congreso CORESTA, París.*
- SALEHZADE, H.; MOGADDAM, A.F.; BERNOSI, I.; GHYASI, M.; AMINI, P. 2009. The effect of irrigation regimes on yield and chemical quality of oriental Tobacco in west Azerbaijan. *Research Journal of Biological Science* 4 (5), 632-636.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN. 2011. Impacto regional del convenio marco para el control del Tabaco. 1.ª ed. Buenos Aires, Argentina. 112 p.
- SIFOLA, M.I. 2010. Yield response and nitrogen accumulation of furrow-irrigated. *Agrochimica* (54), 13-24.
- TAPIA REYNA, D.; DIEZ, J.; LEDESMA, F.; YÁÑEZ, C.; PAOLI, H.; ANUCH, J. 2015. Efecto del riego deficitario controlado en la producción de tabaco tipo Virginia. *Anales de resúmenes del xxv Congreso Nacional del Agua. Paraná, Entre Ríos.* 233 p.
- TSO, T.C. 1990. Production, Physiology, and Biochemistry of Tobacco Plant. Institute of International Development & Education in Agricultural and Life Sciences, Maryland, EUA. 753 p.
- WILKINSON, W.C.; FISHER, L.; SMITH, W.D.; ORDAN, D.J. 2008. Effects of stands loss, planting date and replanting method on yield and quality of flue-cured tobacco. *Tabacco Science* 47, 44-52.
- YÁÑEZ, C.E. 2002. Necesidades de Agua y Riego para 20 localidades de Salta y Jujuy [CD-ROM]. EEA Cerrillos. INTA, Salta, Argentina.

Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un Inceptisol en la ceja de selva peruana

MESTANZA NOVOA, C.J.¹; ZOROGASTÚA CRUZ, P.E.²

RESUMEN

Las lombrices de tierra son los agentes más estudiados de la macrofauna del suelo. La influencia de su actividad sobre las propiedades del suelo se ha comprobado en diversas investigaciones. Sin embargo, son pocos los estudios a nivel de distribución espacial. El presente estudio evaluó la distribución espacial de la comunidad de lombrices y propiedades de un Oxyaquic Humudepts utilizando el sistema SADIE (índices de distancia). Las muestras se tomaron de un cafetal orgánico, en el distrito de Santa Rosa de Huayabamba ubicado en la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, Perú. El área de estudio ocupó 900 m² ubicando 49 puntos de muestreo en una malla regular de 30 m x 30 m con distanciamientos de 5 m entre puntos. Las mediciones comprendieron densidad y biomasa total de lombrices, densidad de adultos y juveniles, carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo disponible, reacción del suelo (pH), densidad aparente, humedad gravimétrica y relación C:N. Se elaboraron mapas por interpolación de los índices obtenidos con SADIE para facilitar la interpretación. Los resultados revelan que la densidad y biomasa total de lombrices, densidad de adultos y juveniles, fósforo disponible y densidad aparente se distribuyen en patrones agregados ($I_a \geq 1,40$), mientras que el carbono orgánico total ($I_a = 0,97$), nitrógeno total ($I_a = 0,98$), pH ($I_a = 1,22$), humedad gravimétrica ($I_a = 1,18$) y relación C:N ($I_a = 0,15$) son aleatorios. A su vez la comunidad de lombrices presentó una asociación espacial positiva con el nitrógeno total (densidad lombrices 0,32; adultos 0,31; juveniles 0,37) y negativa con la densidad aparente (adultos -0,32; biomasa -0,37) y la relación C:N (densidad lombrices -0,44; juveniles -0,39; biomasa -0,40). Concluimos que las comunidades de lombrices tienen patrones agregados y baja asociación espacial con las propiedades del suelo excepto para el nitrógeno total, densidad aparente y relación C:N.

Palabras clave: patrón agregado, asociación espacial, SADIE.

ABSTRACT

Earthworms are the most studied agents of soil macrofauna. The influence of its activity on the soil properties was proved in several investigations. However, there are few studies at spatial distribution level. The present study evaluated the spatial distribution of the earthworms and Oxyaquic Humudepts properties using the SADIE system (distance indices). The samples were taken from an organic coffee plantation in the Santa Rosa de Huayabamba district in Rodríguez de Mendoza province at Amazonas region – Peru. The study area had 900 m², placing 49 sampling points in a regular grid of 30 x 30 m² with distances of 5 m between points. Earthworm

¹Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Agronomía, Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú. Correo electrónico: julian.cmn@gmail.com

²Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Agronomía, Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú. Correo electrónico: percyz@lamolina.edu.pe

total density and biomass, adult and juvenile density, total organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, pH, bulk density, gravimetric moisture and C:N were measured. Maps were produced by interpolation of the SADIE indices to facilitate interpretation. The results show that the total density and biomass, adult and juvenile density, available phosphorus and bulk density were distributed in aggregate patterns ($Ia \geq 1,40$), while total organic carbon ($Ia = 0,97$), total nitrogen ($Ia = 0,98$), pH ($Ia = 1,22$), gravimetric moisture ($Ia = 1,18$) and C:N ($Ia = 0,15$) were distributed in random patterns. In turn, the earthworm community had a positive spatial association with total nitrogen (earthworm density 0,32; adults 0,31; juveniles 0,37) and negative with bulk density (Adults -0,32; biomass -0,37) and C:N (earthworm density -0,44; juveniles -0,39; biomass -0,40). We conclude that earthworm communities have aggregate patterns and low spatial association with soil properties except for total nitrogen, bulk density and C:N.

Keywords: aggregate pattern, spatial correlation, SADIE.

INTRODUCCIÓN

Las lombrices son el componente más importante de la macrofauna del suelo en términos de abundancia. Dada la importancia de sus actividades son llamados ingenieros del ecosistema (Lavelle y Spain, 2003). Autores como Choosai *et al.* (2001) observaron incrementos en la concentración de elementos minerales en los sitios donde se concentraban sus excretas. Lavelle *et al.* (1999) notaron la influencia positiva y negativa de ciertas especies sobre las propiedades físicas del suelo, y Bernard *et al.* (2012) concluyeron que las lombrices propician la mineralización de la materia orgánica al estimular cambios en la estructura de las comunidades bacterianas.

Los procesos ecológicos presentan patrones espaciales; agregados, uniformes, en gradiente o aleatorios, conceptos asociados de forma intuitiva a la distribución en el espacio de los organismos (Maestre y Escudero, 2008). Debido a la influencia de las lombrices sobre las propiedades del suelo, el patrón espacial de las propiedades puede estar influenciado directamente por el patrón de las lombrices. Para determinar esto se planteó determinar la distribución espacial de los parámetros poblacionales de la comunidad de lombrices, densidad total de lombrices (Lo), densidad de adultos (Ad), juveniles (Ju) y biomasa total (Bio), y propiedades del suelo como, carbono orgánico total (Cox), nitrógeno total (N), fósforo extractable con Olsen (Po), reacción del suelo (pH), densidad aparente (Da), humedad gravimétrica (H) y relación C:N. Y finalmente evaluar la asociación espacial entre los parámetros poblacionales y las propiedades del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

El estudio procedió en febrero del 2014 en un cafetal orgánico localizado en el distrito de Santa Rosa de Huayabamba de la provincia de Rodríguez de Mendoza (región Amazonas) ubicado en las coordenadas UTM 228471

9286184 y a una altitud de 1775 m s. n. m. La descripción del sitio se hizo con los datos de la zonificación ecológica y económica de Amazonas (IIAP, 2010). La fisiografía son montañas de laderas moderadamente empinadas con pendientes entre 15 y 25%. La geología pertenece a la formación Chonta, caracterizada por calizas de color crema y areniscas limosas color verdoso con concreciones de cuarzo. La ecología es un bosque muy húmedo montano bajo tropical, según el esquema de zonas de vida de Holdridge. Se evaluó y clasificó un pedón modal hasta la categoría de subgrupo obteniendo un Oxyaquic Humudepts (Soil Survey Staff, 2014).

Colección y análisis de muestras

Se estableció una malla regular de 30 m x 30 m tomando muestras cada 5 m resultando en un total de 49 puntos de muestreo. El método empleado para evaluar la comunidad de lombrices fue el de abundancia de la macrofauna del suelo, del Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales o método TSBF por sus siglas en inglés (Moreira *et al.*, 2012). Se extrajeron lombrices a tres profundidades 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm; posteriormente las lombrices fueron conservadas en solución de formol al 4% (10% de la solución comercial) para su pesado y registro de la biomasa total en laboratorio.

Paralelamente se tomaron muestras de suelo para cada profundidad, y analizaron en el laboratorio de Fertilidad de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina con los siguientes procedimientos: nitrógeno total con micro kjeldahl, carbono orgánico total por digestión en H_2SO_4 , fósforo extractable con Olsen, pH con potenciómetro (1:1), densidad aparente con cilindro, humedad gravimétrica con método gravimétrico, relación C:N por cálculo.

Análisis de datos

Los datos de las tres profundidades se promediaron para conseguir un único valor de 0 a 30 cm. El análisis espacial

se hizo utilizando el sistema Spatial Analysis by Distance Indices (SADIE) propuesto por Perry *et al.* (1996). La metodología cuantifica el patrón espacial de la variable objeto de estudio, detecta los agregados locales de la variable y cuantifica el grado de asociación o disociación espacial entre pares de variables; genera estadísticos continuos para cada punto de muestreo, con lo que las diferentes facetas del patrón espacial que SADIE detecta, pueden ser representadas mediante mapas (Quero, 2006). Los índices obtenidos con SADIE son: el índice de agregación (I_a), índice de agrupación (U_{ij}), y asociación global (X). Por una parte, Perry *et al.* (1996) establecen que valores de la > 1 indican un patrón agregado, la < 1 patrón regular y la $= 1$ patrones aleatorios. Por otra parte, valores de u mayores de 1,5 (U_i) o menores de -1,5 (U_j) advierten sobre la presencia de manchas y claros respectivamente, mientras valores cercanos a la unidad significan ubicación aleatoria de una unidad con respecto a las vecinas.

Los valores positivos de la asociación global señalan asociación positiva y los negativos, disociación. Finalmente, los datos y los índices de agrupación (U_{ij}) se interpolaron a un poder de dos utilizando la distancia inversa ponderada (IDW). El IDW fue elegido en lugar del kriging porque la distribución de los datos es de tipo Poisson y la cantidad de los datos no es la adecuada para estimar un buen variograma. Hengl (2009) recomienda un mínimo de 50 observaciones mientras que Webster y Oliver (2007) sugieren 100 observaciones para variogramas isotrópicos y 250 para anisotrópicos. Los análisis se realizaron con el software SADIE (Conrad, 2008) y los mapas fueron generados con qgis desktop 2.8.1 (QGIS development team, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comunidad de lombrices

Los resultados del análisis SADIE muestran patrones agregados (tabla 1) significativos para la densidad total,

Variable	I_a	U_j	U_i
Lo	1,76	-1,61	1,53
Ad	1,64	-1,54	1,53
Ju	1,57	-1,43	1,55
Bio	1,76	-1,60	1,67
Cox	0,97	-0,96	0,92
Po	1,48	-1,53	1,41
N	0,98	-0,95	0,83
pH	1,22	-1,14	1,23
Da	1,70	-1,65	1,50
H	1,18	-1,16	1,11
Cox/N	1,15	-1,15	1,17

Tabla 1. Índices de agregación obtenidos con SADIE. Valores en negrita indican significancia estadística.

adultos, juveniles y biomasa. En los mapas (figura 1) se evidencia la presencia de manchas y claros más intensos para la densidad y biomasa totales que para los adultos y juveniles. Los resultados de diversos estudios presentan distribuciones variables. Rossi *et al.* (2006) y Gutiérrez *et al.* (2010) observaron que la densidad de la comunidad de lombrices (todas las especies) tiene patrones agregados. Sin embargo, al evaluar poblaciones (individuos de una sola especie), algunas presentan patrones agregados (Rossi, 2003a y Rossi, 2003b) y otras aleatorios (Jiménez *et al.*, 2011; Richard *et al.*, 2012). En el presente trabajo, a nivel de comunidad de lombrices, se determinaron patrones agregados haciendo evidente que al analizar a nivel de comunidad la tendencia es la agregación, sea individuos adultos, juveniles o ambos.

Propiedades del suelo

Por un lado, las propiedades del suelo presentaron patrones aleatorios con excepción del fósforo y la densidad aparente. Generalmente el fósforo se comporta en patrones agregados, como lo presentan Jiménez *et al.* (2011) y Nuutinem *et al.* (1998). Por otro lado, en los trabajos de Rossi *et al.* (2006) y Nuutinem *et al.* (1998), la densidad aparente se comportó de manera aleatoria. Cabe destacar que la densidad aparente es una propiedad que informa sobre la compactación y es influenciada por diversos factores, como el sistema de cultivo, manejo del suelo, macrofauna, entre otros (Porta *et al.*, 2003), por lo tanto, su distribución espacial es muy variable en diferentes condiciones y sistemas de manejo. En los mapas (figura 2) se observan manchas y claros pequeños y dispersos para el fósforo, y grandes agrupadas para la densidad aparente, consistentes con los valores superiores de los índices de agregación (I_a) y agrupación (U_{ij}) de la densidad aparente respecto del fósforo.

Una comparación visual entre los mapas de distribución de fósforo, densidad aparente y los de la comunidad de lombrices hace notar que las zonas de manchas de la comunidad de lombrices se encuentran en posiciones similares (esquina superior izquierda) que las zonas de claros del fósforo y densidad aparente. Esto aborda la posibilidad de que en las zonas donde se concentra mayor cantidad de lombrices, el fósforo y la densidad aparente tienden a ser menores.

Asociación espacial de variables

Las variables poblacionales (Lo, Ad, Ju, Bio) se encuentran asociadas positivamente (tabla 2). La biomasa tiene mayor asociación (X) con los adultos (0,81) que con los juveniles (0,40); para futuros trabajos la evaluación de la distribución espacial de la biomasa podría trabajarse solo evaluando la biomasa de los adultos, pues son los que contribuyen en mayor proporción a la biomasa total.

El nitrógeno se encuentra asociado a las variables poblacionales, con excepción de la biomasa, posiblemente

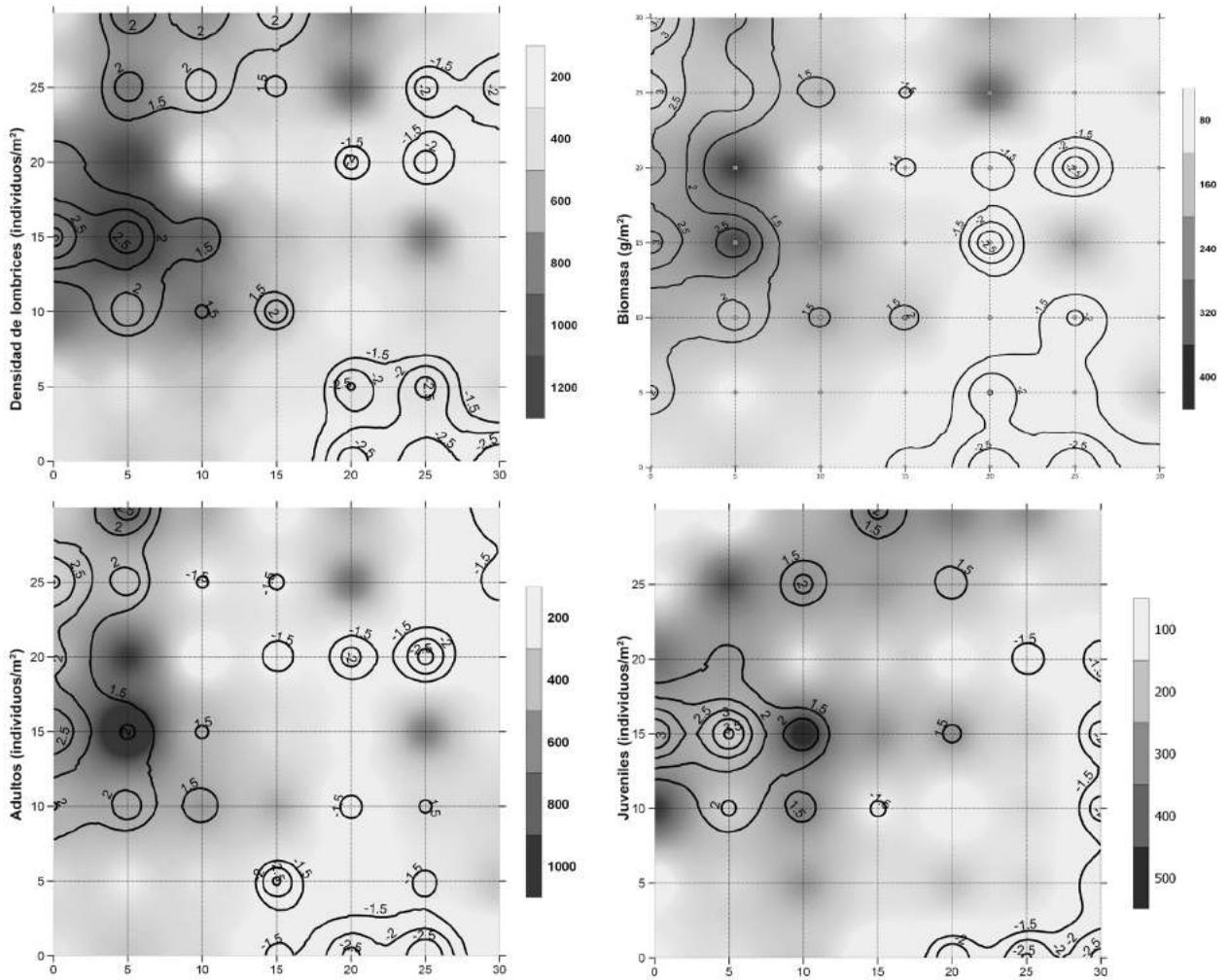


Figura 1. Distribución espacial de variables descriptoras de la comunidad de lombrices.

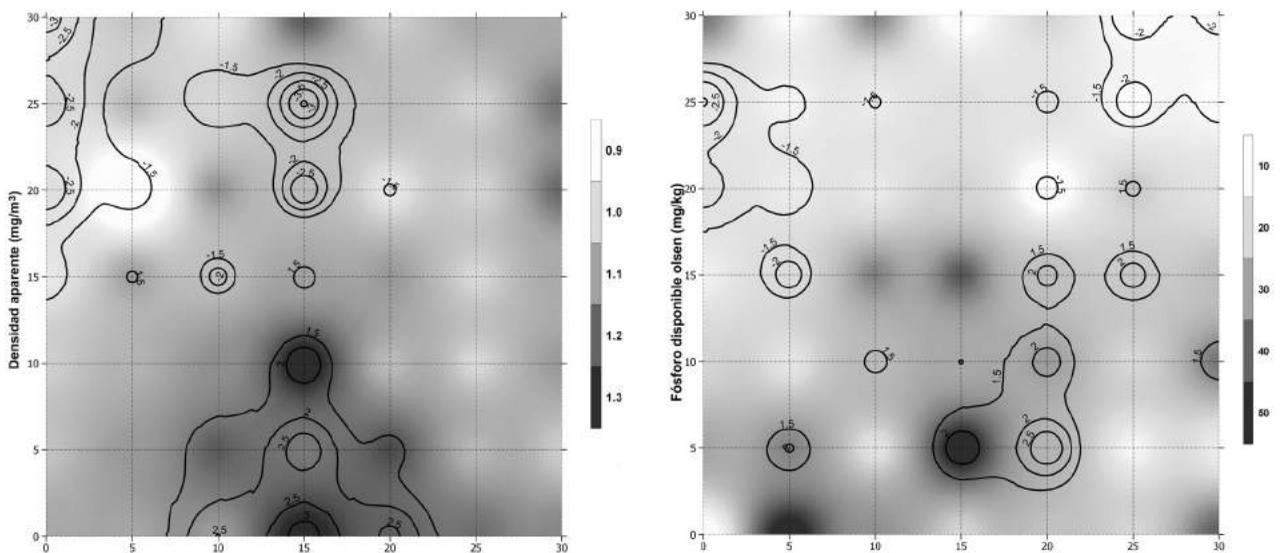


Figura 2. Distribución espacial de las propiedades del suelo.

	Lo	Ad	Ju	Bio
Lo				
Ad	0,69			
Ju	0,68	0,41		
Bio	0,69	0,81	0,4	
Cox	-0,03	-0,13	-0,26	-0,12
Po	-0,2	-0,16	-0,22	-0,33
N	0,32	0,31	0,37	0,22
pH	-0,02	-0,22	-0,05	-0,21
Da	-0,23	-0,32	-0,25	-0,37
H	-0,08	-0,11	0,09	-0,21
Cox/N	-0,44	-0,25	-0,39	-0,4

Tabla 2. Matriz de índices de asociación global (X) obtenidos con SADIE.

Valores en negrita indican significancia estadística.

debido a la gran aleatoriedad en la distribución espacial del nitrógeno total. Mientras el carbono orgánico total no presenta asociación significativa ($P < 0,975$). La actividad de las lombrices acelera la mineralización de la materia orgánica por cambios en la comunidad de bacterias (Bernard *et al.*, 2012), como consecuencia el carbono orgánico total debe disminuir y el nitrógeno mineral aumentar. Además, la orina y el mucus excretado aportan nitrógeno (Edwards, 2004), y los individuos muertos, nitratos y amonio, al descomponerse (Edwards y Lofty, 1976). Los lugares donde la densidad y la biomasa sean mayores tienen mayores aportes de nitrógeno, por ello se observa asociación positiva. La densidad de lombrices podría utilizarse para determinar el comportamiento espacial del nitrógeno al formular un plan de agricultura de precisión.

La falta de asociación del carbono orgánico posiblemente se deba al método utilizado, dado que es sabido que el método de rutina de laboratorio evalúa el humus del suelo, es decir, la fracción de carbono orgánico relativamente estable. Las lombrices al presentar una biomasa de fácil descomposición estarían más relacionadas con fracciones lábiles de carbono orgánico como el que se puede calcular por oxidación con permanganato de potasio.

La relación positiva entre las lombrices y el nitrógeno total conlleva a una relación inversa con la relación C:N puesto que esta es inversamente proporcional al contenido de nitrógeno total. Adicionalmente, la digestión de materiales orgánicos conlleva a que las excretas tengan relaciones C:N más bajas contribuyendo a la disociación espacial observada.

Como se observa al comparar los mapas de fósforo disponible, densidad aparente y comunidad de lombrices, estos se encuentran asociados negativamente. Sin embargo, solo las relaciones fósforo-biomasa, densidad-adultos y densidad-biomasa son estadísticamente significativas. El

incremento de la comunidad de lombrices contribuye a un aumento de la cantidad de excretas producidas que favorecen la disminución de la densidad aparente por lo que se puede deducir que las especies predominantes en la comunidad estudiada son del tipo descompactadoras, como sugieren Lavelle *et al.*, (1999). Sumado a esto, la actividad de las lombrices aumenta la cantidad de poros excavados contribuyendo a la disminución de la densidad aparente.

CONCLUSIONES

El patrón espacial de las comunidades de lombrices tendió a ser agregado, su distribución espacial estuvo fuertemente agrupada en manchas y claros, y fue fácilmente detectada con mapas. Tuvo baja asociación espacial con la distribución de las propiedades del suelo, con excepción del nitrógeno total con el cual tuvo una fuerte asociación espacial positiva, por ende también con la relación C:N con la cual tuvieron asociación espacial negativa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Santa Rosa de Huayabamba por su apoyo y entusiasmo para el desarrollo de la presente investigación. Y a los profesores Rubén Bazán Tapia, Sady García Bendezú y Braulio La Torre Martínez por sus consejos y ser una fuente de inspiración constante.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNARD, L.; CHAPUIS, L.; RAZAFIMBELO, T.; RAZAFINDRAKOTO, M.; PABLO, A.L.; LEGNAME, E.; POULAIN, J.; BRÜLS, T.; O'DONOHUE, M.; BRAUMAN, A.; CHOTTE, J.L.; BLANCHART, E. 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *The ISME Journal* 6, 213-222.
- CHOOSAI, C.; JOUQUET, P.; HANBOONSONG, Y.; HARTMANN, C. 2010. Effects of earthworms on soil properties and rice production in the rainfed paddy fields of Northeast Thailand. *Applied Soil Ecology*. 45 (3), 298-303.
- CONRAD, K.F. 2008. SADIE reheated. (Disponible: <http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html> verificado: 10 de julio de 2014).
- EDWARDS, C. 2004. *Earthworm ecology*. 2 ed. CRC Press, Nueva York. 424 p.
- EDWARDS, C.; LOFTY, J. 1976. *Biology of earthworms*. 2 ed. Chapman and Hall, Londres. 333 p.
- GUTIÉRREZ, M.; JESÚS, J.B.; TRIGO, D.; FERNÁNDEZ, R.; NOVO, M.; DÍAZ, D.J. 2010. Relationships among spatial distribution of soil microarthropods, earthworm species and soil properties. *Pedobiologia* 53 (6), 381-389.
- HENGL, T. 2009. *A practical guide to geostatistical mapping*. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. 270 p.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP). 2010. *Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas*. Iquitos. 197 p.
- JIMÉNEZ, J.J.; DECAËNS, T.; AMÉZQUITA, E.; RAO, I.; THOMAS, R.J.; LAVELLE, P. 2011. Short-range spatial variability of soil physico-chemical variables related to earthworm clustering in

a neotropical gallery forest. *Soil Biology and Biochemistry* 43 (5), 1071-1080.

LAVELLE, P.; BRUSSARD, L.; HENDRIX, P. 1999. Earthworm management in tropical agroecosystems. Cabi Publish, Nueva York. 320 p.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. 2003. *Soil ecology*. Kluwer, Londres. 654 p.

MAESTRE, F.; ESCUDERO, A. 2008. Introducción. Páginas 1-35. En: MAESTRE, F.; ESCUDERO, A.; BONET, A. (Eds.). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Dykinson, Madrid. 1-33 pp.

MOREIRA, F.; JEROEN, E.; BIGNELL, D. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales: muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. México. 352 p.

NUUTINEM, V.; PITKÄNEN, J.; KUUSELA, E.; WIDBOM, T.; LOHILAHTI, H. 1998. Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass – clover field. *Applied Soil Ecology* 8, 85-94.

PERRY, J.; BELL, E.; SMITH, R.; WOIWOD, I. 1996. SADIE: software to measure and model spatial pattern. *Aspects of applied biology* 46, 95-102.

PORTA, J.; LÓPEZ, M.; ROQUERO, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Mundi prensa, Madrid. 929 p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2009. QGIS geographic information System. Open Source Geospatial Foundation. (Disponible: www.qgis.org verificado: 20 de julio de 2014).

QUERO, J.L. 2006. SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España). *Ecosistemas* 3, 1-8.

RICHARD, B.; LEGRAS, M.; MARGERIE, P.; MATHIEU, J.; BAROT, S.; CARO, G.; DESJARDINS, T.; DUBS, F.; DUPONT, L.; DECAËNS, T. 2012. Spatial organization of earthworm assemblages in pastures of northwestern France. *European Journal of Soil Biology* 53, 62-69.

ROSSI, J.P.; HUERTA, E.; FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. 2006. Soil properties inside earthworm patches and gaps in a tropical grassland (la Mancha, Veracruz, Mexico). *European Journal of Soil Biology* 42, S284-S288.

ROSSI, J. 2003a. Clusters in earthworm spatial distribution. *Pedobiología* 47 (5-6), 490-496.

ROSSI, J. 2003b. Short-range structures in earthworm spatial distribution. *Pedobiología* 47, 582-587.

SOIL SURVEY STAFF. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12 ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 360 p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*, 2 ed. Wiley, England. 315 p.

Estimación de parámetros genéticos para caracteres de producción de leche y mastitis subclínica en ovinos Pampinta

STAZIONATI, M.F.¹; MAIZON, D.O.^{1,2}; GIOVAMBATTISTA, G.³; GIGLI, I.²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estimar heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas para los caracteres producción de leche (PL; l/d), grasa total (GT; g/d), proteína total (PT; g/d), porcentaje de grasa (G%; %) y de proteínas (P%; %), y mastitis subclínica (MSC, presencia/ausencia, según Test Mastitis California) en lactancias de 210 días en ovinos de la raza Pampinta. Se emplearon los controles lecheros realizados entre 2009 y 2017 en el tambo experimental del INTA, EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Luego de editarlos, se obtuvieron 833 lactancias de 425 ovejas Pampinta; a su vez, se construyó una genealogía con 1092 individuos. Los siguientes factores clasificatorios: edad al primer parto (EPP); año de parto y época de parto (AEP); orden de parto (OPAR); tipo de parto y crianza (TPC); días desde el parto al primer control lechero (DPPCL); y duración de lactancia (DLAC) fueron evaluados para cada variable respuesta mediante modelos mixtos unicarácter con observaciones repetidas empleando el paquete lme4 en R. De estos, EPP no resultó seleccionado para ningún modelo, en tanto que AEP lo fue para todos. Además, el modelo de PL no incluyó TPC; en de PT no incluyó OPAR y TPC; el de P% no incluyó ELAC; y el de MSC no incluyó DPPCL y ELAC. Para las estimaciones de componentes de varianza se emplearon modelos animales mixtos bicarácter con un enfoque bayesiano empleando el programa TM. Las estimaciones de repetibilidad para los caracteres de producción —PL, GT, PT, G%, y P%— fueron intermedias, entre 0,41 y 0,51, lo que indicó que una observación sería un buen predictor de la futura producción individual. En cambio para MSC fue de 0,20 resaltando la importancia del ambiente en la expresión de esta. Además, las estimaciones de heredabilidad resultaron intermedias a bajas para los caracteres de producción, entre 0,21 y 0,33, y baja para MSC, de 0,1. Para los caracteres de producción estas estimaciones están en el rango de las estimaciones reportadas previamente. Este estudio es el primero que reporta estimaciones de heredabilidad para mastitis subclínicas en ovinos, siendo levemente inferior a las estimaciones para recuentos de células somáticas reportadas por otros autores. Esto indica que se podría seleccionar indirectamente por resistencia a mastitis empleando MSC. Las correlaciones, fenotípicas y genéticas, entre PL con GT y con PT, y GT con PT resultaron altas con valores entre 0,92 y 0,98, coincidiendo con la bibliografía. Las correlaciones fenotípicas entre MSC y los caracteres productivos resultaron negativos. En tanto, las correlaciones genéticas resultaron todas positivas, pero con muy amplios intervalos de credibilidad. Estas estimaciones tienen una importancia práctica directa debido a

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional (CR) La Pampa San Luis, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", Ruta Nac. N.o 5 km 580, Anguil (6326), La Pampa, Argentina.

Correo electrónico: maizon.daniel@inta.gob.ar

²Universidad Nacional La Pampa (UNLPam), Facultad de Agronomía, Ruta Nac. N.o 35 km 334, Santa Rosa (6300), La Pampa, Argentina.

Correo electrónico: igigli@agro.unlpam.edu.ar

³Universidad Nacional La Plata (UNLP), Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV), Instituto de Genética Veterinaria (IGEVET), CCT, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Calle 60, B1900AVW, CC 296, La Plata, Argentina.

Correo electrónico: ggiovam@fcv.unlp.edu.ar

que un programa de mejora genética para aumentar PL y GT aumentaría a su vez la incidencia de MSC. Esto pone de manifiesto la necesidad de incluir MSC en el objetivo de selección.

Palabras clave: ovejas, ovinos Pampinta, mastitis subclínica, caracteres de producción.

ABSTRACT

The goal of the present work was to estimate heritabilities, repeatabilities, and genetic and phenotypic correlations for production traits such as milk yield (MY; l/d), total fat (TF; g/d), total protein (TP; g/d), percentage of fat (F%; %), percentage of protein (P%; %), and subclinical mastitis (SCM, present or absent – based on Californian Mastitis Test) in lactations of 210 d long. To that purpose, test day records collected from 2009 to 2017 in an experimental farm (INTA EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”) were used. After editing, a total of 833 lactations were obtained from 425 Pampinta ewes, and, in turn, a genealogy with 1092 sheep was built. The following classificatory factors: age at first lambing (AFL); year and season of lambing (YSL); number of lambing (NL); lambing and weaning kind (LWK); days from lambing to first test day (DLFTD); and lactation length (LL) were tested for each response variable through univariate mixed models with repeated observations using the lme4 package in R. Among these, AFL was not selected for any model, while YSL was for all models. Besides, the model for MY did not include LWK; the one for TP did not include NL and LWK; for P% did not include LL; and for SCM did not include DLFTD and LL. For variance component estimations, bivariate animal mixed-models were used. These were estimated with a Bayesian approach using the TM program. Repeatability estimates for productive traits –MY, TF, TP, F%, P%– were intermediate, in the range from 0.41 to 0.51, showing that one observation could be a good predictor of individual productivity. On the other hand, for SCM the repeatability was 0.20; this is pointing the fact that environment plays such a great deal in the expression of that trait. In the case of heritabilities, the estimates were intermediate to low; for productive traits, they were between 0.21 and 0.33, in accordance with those in the bibliography. To the best of our knowledge, this is the first study to estimate heritability for SCM, which was 0.1. This value is slightly lower than that published for somatic cell counts. However, it seems possible to select against mastitis using SCM. Phenotypic and genetic correlations between MY with TF and with TP, and TF with TP were high, from 0.92 to 0.98, and these are in line with the literature. Phenotypic correlations between SCM and each productive trait were negative, which is good from a productive point of view; and the genetic correlations were positive, although they had very wide credibility intervals. Based on these estimates, if a selection program was put in place, for example, to increase MY and TF, a correlated response to selection could increase the incidence of SCM. Consequently, this fact should be taken into account to avoid negative consequences from the selection program.

Keywords: sheeps, Pampinta ewes, subclinical mastitis, production traits.

INTRODUCCIÓN

Los componentes de varianza y funciones de ellos, como las heredabilidades (h^2) y las correlaciones genéticas y fenotípicas, cumplen un rol fundamental en el desarrollo de programas de mejora genética (Falconer y Mackay, 1996). Permiten no solo evaluar la importancia relativa de cada carácter al ser seleccionado, sino también su relación con los otros caracteres, y fundamentalmente evaluar la respuesta potencial a la selección. En relación con los caracteres de producción (por ejemplo, leche, grasa y proteína) y de resistencia a enfermedades (por ejemplo, mastitis subclínicas –MSC–) en ovinos lecheros, en la literatura se encuentra una variada cantidad de definiciones. Esta variación está dada por el tiempo de producción considerado (por ejemplo, 120, 180, o 210 días para definir lactancias) y

por la escala de medición (litros o kilogramos, expresados por día o por período). Además, como los componentes de varianza son parámetros poblacionales, sus estimaciones varían para una misma raza y una misma definición del carácter, de población en población. Esto hace necesario la estimación de dichos componentes si se desea desarrollar un programa de mejora. Una reciente revisión de programas de mejora genética en ovinos lecheros, revisa las estimaciones de parámetros genéticos (Carta *et al.*, 2009).

Pampinta es una raza sintética, $\frac{3}{4}$ East Friesian (EF) y $\frac{1}{4}$ Corriedale, que se seleccionó por fenotipo desde su origen, a fines de los 70, hacia el estándar racial de la raza EF. Al ser esta última una de las principales razas europeas para producción de leche, Pampinta tiene también una importante aptitud lechera en comparación a otras razas que se

crían en Argentina (Suárez y Buseti, 1999). Por este motivo, desde el año 1995, en la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas" del INTA (La Pampa, Argentina) se mantiene un tambo experimental con ovejas que pertenecen a la Cabaña Pampinta del INTA. Desde el inicio de esta actividad, se han realizado controles lecheros (CL) individuales a todo animal que ingresó al tambo. Primero, solo se registraba la producción de leche, en litros, y la presencia o ausencia de mastitis subclínicas mediante el test mastitis california (TMC; Schalm y Noorlander, 1957). Desde el año 2010, también se registra la composición de la leche: grasas, proteínas, sólidos totales y la densidad (Maizon *et al.*, 2011). Según estos registros, Pampinta en el tambo experimental de la EEA Anguil tiene una producción promedio de un litro de leche por día, en lactancias de 180 a 240 días de duración. Por una parte, este promedio es substancialmente menor a los 2,4 litros por día producido por la raza alemana EF (Hamann *et al.*, 2004). La alimentación y el manejo podrían explicar esta diferencia, aunque mayoritariamente lo explica el pool génico inicial, por ej., efecto fundador, pues la raza Corriedale (no lechera) tiene una fuerte influencia en Pampinta. Otra de las razones que pueden explicar el nivel de producción de leche es la falta de selección por mayor producción lechera. Sin embargo, en relación con otras razas empleadas a nivel nacional su nivel de producción es aceptable, tal es así que según una encuesta (Suárez y Buseti, 2009) Pampinta es una de las razas predominantes en los tambos activos en Argentina.

Por otra parte, en relación con el aspecto sanitario de la ubre ovina en el tambo, se puede indicar que el mayor problema lo representa la mastitis. Esta es una inflamación del tejido mamario, no siempre debida a una infección. En el proceso inflamatorio se produce una migración de leucocitos, principalmente neutrófilos, al lumen alveolar mamario que traspasan a la leche (Harmon, 1994). La mastitis puede tener una presentación clínica y otra subclínica. Esta última, MSC, sin alteraciones "visibles" de la leche o de las glándulas mamarias, puede ser identificada indirectamente mediante el recuento de células somáticas (RCS) en leche o a través del test mastitis california (TMC). Este último se fundamenta en la ruptura de la membrana celular mediante un compuesto químico, con lo cual, los filamentos de ADN celular salen fuera de las células, y se unen unos con otros formando una estructura tipo gel que se revela con un colorante. A mayor cantidad de gel mayor será la inflamación. Por una parte, en Argentina, Suárez *et al.* (2002) reportaron para ovejas en ordeño una incidencia del 18 al 36% de MSC evaluadas mediante el TMC. Además, estimaron una asociación positiva entre RCS y TMC para Pampinta. Esto permitiría el uso del TMC, un indicador simple y económico, dentro de programas de mejora genética. Por otra parte, diversos estudios han demostrado la posibilidad de utilizar el RCS para seleccionar por resistencia al desarrollo de mastitis (Barrilet *et al.*, 2001). A nivel nacional, el RCS tiene un costo muy alto como para ser empleado a nivel poblacional; por lo cual, el TMC sería una alternativa para uso extensivo en programas de mejora genética.

Para implementar un esquema de selección en la raza Pampinta que considere tanto la producción de leche en litros como su composición y la sanidad de las ovejas, es necesario primero contar con estimaciones de los parámetros genéticos. En consecuencia, el presente trabajo tuvo como objetivo estimar componentes de varianza y covarianza genéticas y fenotípicas, y parámetros genéticos tales como h^2 , repetibilidad y correlaciones genéticas para producción de leche (PL); grasa total (GT); proteínas totales (PT); porcentaje de grasa (G%); porcentaje de proteínas (P%) y mastitis subclínica (MSC) en 210 días de lactancia. A fin de realizar las estimaciones, se ajustaron modelos que reflejen los efectos de los principales factores ambientales sobre las variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo se emplearon los controles lecheros (CL) de las ovejas Pampinta del tambo de la EEA Anguil, realizados entre los años 2009 y 2017. Durante este período, las ovejas fueron alimentadas, básicamente, con verdeos de invierno (triticale) o de verano (sorgo forrajero), según el período de parto, y tuvieron acceso a pasturas de alfalfa entre noviembre y febrero. De acuerdo al año, y a la oferta forrajera lograda, se las suplementó con rollos de moha. A su vez, en el momento de ordeño se las suplementó con un balanceado para lecheras con 18% de proteína. Se realizó un solo ordeño diario por la mañana, y las ovejas ingresaron al ordeño al día siguiente del destete de sus crías. Los destetes se realizaron cuando el peso de la cría superó 2,5 veces el peso al nacer, lo que ocurrió en promedio a los 45 días (d) posparto. Los CLs se realizaron cada 28 a 35 d, con un tiempo promedio desde el parto al primer CL de 63,9 d con un desvío estándar (DE) de 18,5 d. En cada CL la producción se midió en kilogramos mediante lactómetros (Marca TRU-TEST®, Nueva Zelanda) y la presencia/ausencia de MSC por el método TMC (Schalm y Noorlander, 1957). Posteriormente, en laboratorio, se determinó la composición (grasa total, proteínas totales, densidad y residuo sólidos totales) mediante un equipo de infrarrojo (EKOMILK, Córdoba, Argentina). Se consideró con MSC a aquella oveja que tuvo al menos un TMC positivo a lo largo de la lactancia. Los kilogramos de leche de cada oveja se pasaron a litros de leche empleando la densidad individual. Las ovejas se secaron (en otras palabras, se terminó la lactancia) cuando la cantidad de leche ordeñada fue igual o menor a 0,3 l/d en el día del CL, lo que ocurrió en promedio a los 209 d con un DE de 51 d. Para el análisis estadístico solo se incluyeron las ovejas con tres o más CLs entre el inicio del ordeño y los 210 d posparto. La producción de leche acumulada entre el día del parto y los 210 d se estimó empleando el procedimiento sugerido por Legarra y Ugarte (2001). Así se obtuvieron 833 lactancias para el período 2009-2017 correspondientes a 425 ovejas. En el año 2009 solo se registró la producción de leche y MSC. En el armado de la genealogía de las ovejas ordeñadas, fueron incorporados los ancestros de estas que conectaban a dos o más ovejas

con registros productivos. De esta manera, se obtuvo una genealogía con 1092 ovinos que incluyó: 425 ovejas con datos productivos, 218 padres (95 de los cuales tenían hijas con registros) y 637 madres (286 de ellas con hijas con registros). En promedio, 67% de los padres de las ovejas en el tambo durante un año estación se repitieron como padres en el siguiente año estación. Nótese, que los servicios en el período de estación reproductiva (Pampinta es poliéstrica estacional) han sido a corral, con detección de celo en las hembras mediante retajos marcados. Cuando los servicios fueron contra estación reproductiva, se emplearon protocolos de sincronización a fin de estimular el celo, y el servicio fue a corral.

Los seis caracteres evaluados fueron PL (l/d), GT (g/d), PT (g/d), G% (%) y P% (%), computadas como el promedio de producción en 210 días de lactancia, y presencia/ausencia MSC a partir de TMC en 210 d de lactancia. Se consideraron además los siguientes factores clasificatorios:

1. Edad al primer parto (EPP). Este factor tuvo tres niveles: 1) menor o igual a 14 meses; 2) entre 15 y 22 meses; y 3) mayor a 23 meses;
2. La combinación año de parto y época de parto (AEP): los años 2009 a 2015 y la época: 1) si el parto ocurrió entre julio y octubre y 2) si ocurrió en otros meses. Hubo nueve niveles pues solo los años 2013 y 2015 tuvieron partos fuera de estación reproductiva (llamados partos contra estación).
3. Orden de parto (OPAR), con cuatro niveles: primer; segundo; tercer y cuarto o más partos. Este efecto clasificatorio estuvo altamente asociado ($p < 0,01$) con la edad al parto, motivo por el cual solo se empleó OPAR.
4. Tipo de parto y crianza (TPC) con cinco niveles, resultado de la combinación del número de nacidos [agrupados como uno (1) y dos o más (2 o +)] y el número de crías destetadas [agrupadas como cero (0), una (1) y dos o más (2o+)]. Por ejemplo, "21" indica un parto doble con el destete de una sola cría.
5. Días desde el parto al primer control lechero (DPPCL), con tres niveles: 1) menor a 52 días; 2) entre 52 a 75 días; y 3) mayor a 75 días.
6. Duración de lactancia (DLAC), que tuvo tres niveles: 1) la lactancia fue menor a 200 d; 2) la lactancia estuvo entre 200 d y 220 d; 3) la lactancia fue mayor a 220 d.

Antes de realizar la estimación de los componentes de varianza, se efectuó un análisis para seleccionar cuáles de estos factores clasificatorios se incluirían en el modelo estadístico para cada carácter. Este se realizó ajustando modelos mixtos unicarácter para observaciones repetidas empleando el paquete lme4 (Bates *et al.*, 2015) en el programa R (R Core Team, 2014; <https://www.r-project.org/>). Para cada carácter, el modelo incluyó los seis factores clasificatorios como efectos fijos y las ovejas como efecto aleatorio asumiendo que no estaban relacionadas. Para cada carácter, se seleccionaron los factores clasificatorios con valores p menores o iguales a 0,10.

Una vez definidos los factores clasificatorios (o efectos fijos), se consideraron los siguientes factores aleatorios para la estimación de componentes de varianza. Un componente permanente, que modeló las observaciones repetidas entre lactancias de una misma oveja, para el cual se asumió que sigue una distribución normal e independiente entre ovejas. Un componente genético aditivo, que se asumió que sigue una distribución normal multivariada con matriz de covarianzas proporcional a la matriz de relaciones aditivas (A) entre todos los individuos que conformaron la genealogía. Y, finalmente, el término del error, para el cual se asumió que sigue una distribución normal e independiente entre las ovejas y las lactancias.

Para PL, GT, PT, G% y P% se emplearon modelos lineales mixtos con observaciones repetidas. En tanto que para MSC, por su naturaleza dicotómica, se empleó un modelo umbral mixto con observaciones repetidas, asumiendo un valor igual a cero para el umbral entre presencia y ausencia de MSC, y una varianza constante para el término del error e igual a uno (Sorensen y Gianola, 2002). Tomando en consideración el carácter dicotómico de la MSC, y la conveniencia para realizar las estimaciones de los componentes de covarianza, se empleó un procedimiento bayesiano mediante el muestreo de Gibbs (Sorensen y Gianola, 2002). A tal fin, se usó el programa Threshold Model (TM) de Legarra *et al.* (2008).

Para las estimaciones se procedió de la siguiente manera. Primero, se ajustaron modelos mixtos unicarácter para cada variable respuesta; estos incluyeron los factores clasificatorios seleccionados (o sea, $p < 0,10$) y los aleatorios antes mencionados, y se realizaron estimaciones de componentes de varianza. Luego, tomando estas estimaciones como valores iniciales, se ajustaron modelos bicarácter para cada par de caracteres, un total de 15 modelos, y se realizaron las estimaciones de componentes de varianza y covarianza. Se intentó ajustar modelos con tres o más caracteres (multicarácter), pero hubo problemas numéricos de convergencia en algunos muestreos de Gibbs. Por este motivo, las estimaciones reportadas para correlaciones corresponden a los modelos bicarácter, y las de repetibilidad y heredabilidad, para cada carácter, surgen de realizar una mezcla (pool) de los cinco muestreos de las distribuciones posteriores realizadas con las estimaciones bicarácter.

En cada situación, unicarácter o bicarácter, se generó una muestra de 1×10^6 elementos (cadena única) de las distribuciones posteriores de cada componente de varianza (varianza genética aditiva, de ambiente permanente, y del error) y las respectivas covarianzas. *A priori*, los períodos de calentamiento (burn-in) fueron las primeras 1×10^5 muestras; y se tomaron valores cada 100 muestras de la cadena única para disminuir los efectos de la autocorrelación sobre las estimaciones. Se utilizó el paquete BOA (*Bayesian Output Analysis Program for MCMC*; Smith, 2005) en el programa R para comprobar la correcta convergencia de los muestreos. Se obtuvieron los siguientes gráficos: a) valor muestreado del componente de varianza en función del número de iteración (traceplot), b) las densidades de la distribución posterior de los componentes de varianza, c) las

medias de los valores muestreados de los componentes de varianza hasta una iteración en función de esta última (running mean) y d) los gráficos de autocorrelaciones de los valores muestreados de componentes de varianza para distintas iteraciones. Además, para el diagnóstico de convergencia se realizaron las pruebas de Geweke (Geweke, 1992), y de Heidelberger y Welch (Heidelberger y Welch, 1983), ambas utilizando, también, el paquete BOA. La primera probó la hipótesis de que ambas cadenas de Markov provienen de una misma distribución. Para ello, compara las medias de dos partes de la cadena: el 10% inicial y el 50% final. En tanto que la segunda prueba, calculó un estadístico para probar si la cadena muestreada corresponde a una distribución estacionaria.

Como las distribuciones posteriores fueron simétricas, se reportan las medias de estas como los estimadores puntuales de los componentes de la varianza y covarianza, fenotípicos y genéticos de cada carácter considerado: varianza genética aditiva (VGa), varianza de ambiental permanente (VEp) y varianza del error (VE); la h^2 , la repetibilidad (r). Además, se reportan los desvíos estándares de cada parámetro y los respectivos intervalos de credibilidad del 95% para cada carácter considerado. También se estimaron las correlaciones genéticas y fenotípicas, y los respectivos intervalos de credibilidad del 95% entre los caracteres estudiados.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los promedios, los desvíos estándares, medianas y valores mínimos y máximos de los caracteres de producción y composición de leche (PL, GT, PT, G% y P%). Estos fueron estimados a partir de 833 lactancias para PL y 768 para los otros caracteres registrados en el período 2009-2017. Las distribuciones de los valores fenotípicos fueron simétricas. Por su parte, para el período mencionado la incidencia de MSC fue 0,174.

Tomando en consideración un valor de p menor o igual a 0,10 para la inclusión, o no, de un factor clasificatorio, los modelos de todos los caracteres incluyeron AEP, pero ninguno incluyó EPP. A su vez, OPAR no fue incluido en el modelo de PT; TPC no lo fue para PL y PT; DPPCL no lo fue

para MSC; y en tanto que DLAC no lo fue para P% y MSC.

Las pruebas de Geweke y de Heidelberger y Welch indicaron que los muestreos convergieron a las distribuciones posteriores. El período de calentamiento de 1×10^5 fue adecuado en general, aunque en muy pocas situaciones se lo debió incrementar para obtener un muestreo estable. Los gráficos diagnósticos coincidieron claramente con los resultados de las pruebas mencionadas. Como es esperable, las autocorrelaciones disminuyeron a mayores lapsos entre muestreos. Esto ocurrió más rápido para los componentes de varianza que para los de covarianza. Las densidades, en general, fueron simétricas; las densidades que tomaron valores muy cercanos a cero, tuvieron una leve cola a derecha. Los gráficos *traceplot* y *running mean* mostraron la estacionalidad de los muestreos. Esto permite asumir que los muestreos de Gibbs representaron muestras de las distribuciones posteriores de los componentes de varianza y los parámetros genéticos que se estimaron.

En tabla 2, se presentan las estimaciones de r , en tanto que en tabla 3, las de h^2 . Se presentan medias y medianas de las distribuciones posteriores de los respectivos parámetros para cada uno de los caracteres bajo estudio como así también los desvíos estándares de las distribuciones posteriores y los intervalos de credibilidad del 95%. Por una parte, las estimaciones de r para los caracteres de producción lechera fueron intermedias, variando entre 0,41 y 0,51, en tanto que para MSC fue de 0,20. Por otra parte, las estimaciones de h^2 resultaron intermedias a bajas para los caracteres de producción, variando entre 0,21 y 0,33, mientras que para MSC fue baja, h^2 de 0,10. Acorde a la información analizada, los rangos de los intervalos de credibilidad son amplios para h^2 . Debe destacarse que, en función de las VGa y las medias fenotípicas, los coeficientes de variación genética aditiva (CVa%) resultaron de bajos a muy bajos, siendo iguales a 15, 16, 17, 7, y 3% para PL, PG, PT, G% y P%, respectivamente.

Las estimaciones de correlaciones fenotípicas y genéticas entre los caracteres bajo estudio se observan en las tablas 4 y 5, respectivamente. Las correlaciones entre PL-GT, PL-PT y GT-PT resultaron altas tanto las fenotípicas como las genéticas, con valores ente 0,92 y 0,98. Los intervalos de credibilidad de 95% para la mayoría de las co-

Características	N	Media	DE	Mediana	Mínimo	Máximo
PL (l/d)	833	1,0	0,38	1,0	0,2	2,2
GT (g/d)	768	66,3	26,5	65,4	12,7	162,1
PT (g/d)	768	61,7	24,1	60,9	9,4	139,9
G% (%)	768	6,6	0,91	6,6	3,8	10,1
P% (%)	768	6,1	0,39	6,1	4,7	7,9

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las observaciones fenotípicas de producción de leche acumulada en 210 días, expresadas como promedio diario, para lactancias de ovejas Pampinta con tres o más CLs entre los años 2009 y 2017.

Epígrafe: N: número de observaciones; DE: desvío estándar.

Características	media	DE	mediana	Intervalo de credibilidad de 95%	
				2,50%	97,50%
PL	0,5109	0,0414	0,5119	0,4271	0,5892
GT	0,4643	0,0451	0,4655	0,3729	0,5492
PT	0,5085	0,0433	0,5097	0,4203	0,5897
G%	0,4118	0,0456	0,4119	0,3223	0,5001
P%	0,4204	0,0466	0,4212	0,3269	0,5095
MSC	0,2003	0,0534	0,1989	0,0984	0,3079

Tabla 2. Estimaciones de repetibilidad, expresadas como medias y medianas, y los desvíos estándares (DE) de las distribuciones posteriores, los respectivos intervalos de credibilidad del 95%, límites inferiores (2,5%) y superiores (97,5%), para los caracteres de producción y sanidad en ovinos Pampinta.

Características	media	DE	mediana	Intervalo de credibilidad de 95%	
				2,50%	97,50%
PL	0,2083	0,0688	0,2066	0,0827	0,3488
GT	0,2048	0,0706	0,2029	0,0709	0,3489
PT	0,2272	0,0722	0,2251	0,0992	0,3767
G%	0,3367	0,0706	0,3417	0,1850	0,4608
P%	0,2554	0,0754	0,2536	0,1154	0,4067
MSC	0,1032	0,0530	0,0973	0,0198	0,2205

Tabla 3. Estimaciones de heredabilidad, expresadas como medias y medianas, y los desvíos estándares (DE) de las distribuciones posteriores, los respectivos intervalos de credibilidad del 95%, límites inferiores (2,5%) y superiores (97,5%), para las características de producción y sanidad en ovinos Pampinta.

relaciones fenotípicas no incluyeron el cero, en tanto que para las correlaciones genéticas la mayoría lo incluyó con excepción de las correlaciones genéticas entre PL-GT, PL-PT y GT-PT. Las medias de las correlaciones fenotípicas entre MSC y los caracteres productivos resultaron negativas, en tanto que las medias de las correlaciones genéticas resultaron todas positivas. Los amplios rangos de los intervalos de credibilidad para las correlaciones genéticas indican que se contó con poca información para inferir correctamente.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo, se realizaron estimaciones de parámetros genéticos con procedimientos bayesianos para los caracteres producción de leche, grasa total, proteínas totales, porcentaje de grasa y de proteínas, y mastitis subclínica, definida como presencia/ausencia según el Test Mastitis California, en lactancias de 210 días. Para ello, primero se procedió a seleccionar los factores clasificatorios a incluir en cada modelo de estimación, empleando modelos

mixtos y los registros de los controles lecheros obtenidos en el tambo experimental de la Cabaña Pampinta de la EEA Anguil, entre los años 2009 y 2017.

Todos los caracteres analizados fueron afectados por la época y año de parto. En este sentido, es importante indicar que en el período analizado hubo una gran variabilidad de temperaturas promedio, anuales y semestrales, y de precipitaciones, lo cual es típico de la región semiárida. Esto se tradujo en que algunos años fueron muy húmedos y otros muy secos, y por ende la oferta forrajera varió más de lo esperado, generando importantes diferencias en las medias de producción de leche entre años y picos de incidencia de mastitis subclínica. Se destaca que, a diferencia de lo encontrado en la bibliografía, la edad al primer parto no resultó significativa para ninguna de las variables respuesta. Esto podría deberse a la definición de esta, que en el presente trabajo fue en semestres, cuando normalmente lo es en meses. En relación con el orden de parto y con el tipo de parto-crianza, los resultados del presente trabajo están en correspondencia con lo reportado para la raza Rambouillet por Ochoa-Cordero *et al.* (2007) y para la raza East Friesian

Características	media	DE	mediana	Intervalo de credibilidad de 95%	
				2,50%	97,50%
PL-GT	0,9418	0,0048	0,9420	0,9318	0,9506
PL-PT	0,9860	0,0012	0,9861	0,9836	0,9882
PL-G%	-0,0777	0,0436	-0,0781	-0,1628	0,0089
PL-P%	0,2225	0,0414	0,2230	0,1403	0,3032
PL-MSC	-0,1503	0,0560	-0,1507	-0,2590	-0,0401
GT-PT	0,9391	0,0051	0,9393	0,9285	0,9485
GT-G%	0,2203	0,0425	0,2209	0,1365	0,3022
GT-P%	0,2599	0,0407	0,2602	0,1789	0,3382
GT-MSC	-0,1880	0,0578	-0,1885	-0,3000	-0,0725
PT-G%	-0,0617	0,0444	-0,0618	-0,1484	0,0264
PT-P%	0,3693	0,0384	0,3699	0,2924	0,4433
PT-MSC	-0,1809	0,0576	-0,1811	-0,2913	-0,0662
G%-P%	0,1553	0,0430	0,1553	0,0707	0,2400
G%-MSC	-0,1052	0,0584	-0,1053	-0,2185	0,0100
P%-MSC	-0,1822	0,0564	-0,1825	-0,2913	-0,0707

Tabla 4. Estimaciones de correlaciones fenotípicas entre caracteres de producción y sanidad en ovinos Pampinta, expresadas como medias y medianas, los desvíos estándares (DE) de las distribuciones posteriores, y los respectivos intervalos de credibilidad del 95%, límites inferiores (2,5%) y superiores (97,5%).

Características	media	DE	mediana	Intervalo de credibilidad de 95%	
				2,50%	97,50%
PL-GT	0,9024	0,0691	0,9154	0,7725	0,9639
PL-PT	0,9857	0,0088	0,9876	0,9633	0,9964
PL-G%	-0,2603	0,2545	-0,2755	-0,7203	0,2811
PL-P%	0,1311	0,2675	0,1432	-0,4327	0,6151
PL-MSC	0,2558	0,4971	0,2773	-0,9659	0,9973
GT-PT	0,9216	0,0387	0,9292	0,8247	0,9729
GT-G%	0,0671	0,2674	0,0811	-0,5032	0,5513
GT-P%	0,2379	0,2553	0,2566	-0,3095	0,6885
GT-MSC	0,2333	0,4523	0,2346	-0,6582	0,9740
PT-G%	-0,2771	0,2409	-0,2876	-0,7215	0,2198
PT-P%	0,2737	0,2498	0,2970	-0,2750	0,6865
PT-MSC	0,1292	0,4674	0,1140	-0,7694	0,9648
G%-P%	0,4137	0,2139	0,4209	-0,0208	0,8173
G%-MSC	0,1368	0,3844	0,1320	-0,6273	0,8936
P%-MSC	0,0690	0,4196	0,0825	-0,8647	0,8329

Tabla 5. Estimaciones de correlaciones genéticas aditivas entre caracteres de producción y sanidad en ovinos Pampinta, expresadas como medias y medianas, los desvíos estándares (DE) de las distribuciones posteriores, y los respectivos intervalos de credibilidad del 95%, límites inferiores (2,5%) y superiores (97,5%).

por Kremer *et al.* (2015): la producción lechera aumentó con el número de lactancia y el número de crías nacidas. En relación con los días desde el parto al primer control lechero y la duración de lactancia, estos no resultaron necesarios para corregir la presencia/ausencia de mastitis subclínica.

Las repetibilidades para los caracteres productivos resultaron entre 0,41 y 0,51 indicando que un registro fenotípico sería un buen predictor de la futura producción, pues alrededor del 50% del carácter dependería del componente genético (total) más el ambiente permanente. Las estimaciones fueron mayores que las reportadas por Ramón *et al.* (2006) para la raza Manchegas, y para el porcentaje de proteína reportado por Serrano *et al.* (2001). Esto puede deberse a que, en el presente trabajo, se analizó un solo predio favoreciendo la estabilidad del ambiente entre contemporáneos. Sin embargo, para mastitis subclínicas la repetibilidad resultó baja, tan solo 0,20. Esto indica la influencia del ambiental en la expresión de esta característica, resaltando la importancia de implementar manejos y rutinas de ordeño adecuados para disminuir la incidencia de esta enfermedad que afecta la calidad de la leche.

En general, las estimaciones de heredabilidad y de correlaciones genéticas para los caracteres de producción se encontraron dentro de los rangos reportados en la revisión bibliográfica de Carta *et al.* (2009). Para producción de leche, se obtuvo una estimación de 0,21 que está en concordancia con las reportadas previamente. Por una parte, en la misma población y con la misma definición de PL, pero empleando registros productivos generados entre los años 2001 y 2006, Maizon *et al.* (2008) reportaron una h^2 levemente menor de 0,18, pero dentro de un desvío estándar de esta. Por otra parte, Ligda *et al.* (2000) reportaron una estimación de 0,23 para la raza Chíos con producción acumulada a 180 días y Legarra y Ugarte (2001) una h^2 de 0,20 para la raza Latxa con producción acumulada a 120 días. La estimación del presente trabajo fue levemente superior a la reportada (0,15) por Hamann *et al.* (2004) para la raza East Friesian. Cabe recordar que Pampinta se origina a partir de esta última raza. También fue superior a la reportada (0,16) por Ramón *et al.* (2006) con producción acumulada a 120 días a 120 días en la raza Manchega. Estas diferencias se deben, fundamentalmente, a que las h^2 fueron estimadas en distintas poblaciones y siendo parámetros poblaciones estas *a priori* van a diferir, al cual se le suma una multiplicidad de condiciones ambientales y de manejos.

Las estimaciones de heredabilidad para grasa total y proteína totales resultaron levemente superiores a las reportadas por Legarra y Ugarte (2001) para la raza Latxa y por Hamann *et al.* (2004) en East Friesian. La heredabilidad estimada para porcentaje de grasa resultó sustancialmente mayor en Pampinta que las estimadas en las razas Latxa (Legarra y Ugarte, 2001), East Friesian (Hamann *et al.*, 2004) y Manchega (Ramón *et al.*, 2006). En tanto que la estimada para porcentaje de proteínas fue intermedia a las obtenidas para Latxa y East Friesian, por Legarra y Ugarte (2001) y Hamann *et al.* (2004), respectivamente, y se asemejó a la estimada para la raza Manchega en lactancia de 150 días, mediante un modelo del día de control lechero

(Serrano *et al.*, 2001) y para la misma raza en lactancia acumulada a 120 días (Ramón *et al.*, 2006).

Para mastitis subclínica la estimación de heredabilidad fue 0,10 en ovejas Pampinta. Es importante destacar que para esta característica no se han reportado estimaciones de heredabilidad previamente. La estimación resultó levemente inferior a las estimaciones para recuento de células somáticas, característica que se usa para seleccionar indirectamente por resistencia a mastitis. Por ejemplo, Hamann *et al.*, (2004) reportaron una heredabilidad de 0,16 para East Friesian, Barillet *et al.* (2001) reportaron una heredabilidad de 0,15 en la raza Lacaune, en tanto que Riggio *et al.* (2007) estimaron una de 0,14 para la raza Valle del Belice. Aunque estas son mayores, la medición de rutina para mastitis subclínica mediante el Test Mastitis California resultaría mucho más económica, y, por lo tanto, posible de adoptar a nivel nacional.

Por una parte, las estimaciones de las correlaciones fenotípicas resultaron negativas entre mastitis subclínicas y los caracteres productivos. Esto indicaría, por ejemplo, que ambientes favorables aumentarían la producción y disminuirían la incidencia de mastitis subclínicas, lo cual es esperable. Por otra parte, las estimaciones de las correlaciones genéticas estuvieron, en general, dentro de los rangos informados en la revisión bibliográfica de Carta *et al.* (2009). La excepción fueron las correlaciones entre porcentaje de proteínas con grasa total y con proteínas totales; estas, en el presente trabajo, fueron positivas, en tanto que el rango informado por Carta *et al.* (2009) fue negativo. Esto implica que si aumenta la producción de leche por selección también aumentará la incidencia de mastitis subclínicas. Sin embargo, como el conjunto de datos fue pequeño y las estimaciones de correlaciones requieren un importante número de observaciones, las estimaciones del presente trabajo tienen poca precisión. Para East Friesian, Hamann *et al.* (2004) reportaron correlaciones genéticas entre recuento de células somáticas con caracteres de producción cercanas a cero.

Aunque un gran desafío, como las estimaciones de correlaciones genéticas son bajas, sería posible seleccionar para mejorar la producción de leche y composición, y, a su vez, reducir la incidencia de mastitis subclínica. La variabilidad genética aditiva es suficiente para emplear estas características como criterios de selección en la mejora de ovinos lecheros Pampinta. Por último, cabe destacar, una vez más, la importancia de realizar estudios en poblaciones locales debido a que las estimaciones de los parámetros genéticos de las características de interés productivo varían según la raza, el ambiente y la definición de las características, como se comprueba por las diferencias observadas con los resultados reportados en la bibliografía.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parte del Proyecto Específico 1126033 del Programa Nacional de Producción Animal de INTA. MFS fue Becaria de Doctorado del CONICET durante el desarrollo de este.

BIBLIOGRAFÍA

- BARILLET, F.; RUPP, R.; MIGNON-GRASTEAU, S.; ASTRUC, J.M.; JACQUIN, M. 2001. Genetic analysis for mastitis resistance and milk somatic cell score in French Lacaune dairy sheep. *Genet. Sel. Evol.* 33, 397-415.
- BATES, D; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.M.; WALKER, S.C. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 67 (1). (Disponible: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v067i01> verificado: 05 de abril de 2018).
- CARTA, A.; CASU, S.; SALARIS, S. 2009. Invited review: Current state of genetic improvement in dairy sheep. *J. Dairy Sci.* 92, 5814-5833.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4.ª Edición. Editorial Longman, Londres. 480 p.
- GEWEKE, J. 1992. Evaluating the accuracy of sampling based approaches to the calculation of posterior moments. En: BERNARDO, J.M.; BERGER, J.O.; DAWID, A.P.; SMITH, A.F.M. (eds.). *Bayesian Statistics 4*, Oxford: Oxford University Press. 169-193 pp.
- HAMANN, H.; HORSTICK, A. 2004. Estimation of genetic parameters for test day milk production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. *Livest. Prod. Sci.* 87, 153-160.
- HARMON, R.J. 1994. Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J. Dairy Sci.* 77, 2103-2112.
- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. 1983. Simulation Run Length Control in the Presence of an Initial Transient. *Oper. Res.* 31, 1109-1144.
- KREMER, R.; GIORDANO, J.P.; ROSÉS, L.; RISTA, L. 2015. Producción de ovejas Milchschaef en un sistema lechero en pastoreo. *Veterinaria (Montevideo)* 51, 12-23.
- LEGARRA, A.; UGARTE, E. 2001. Genetic parameters of milk traits in Latxa dairy sheep. *Anim. Sci.* 73, 407-412.
- LIGDA, C.H.; GABRIILIDIS, G.; PAPADOPOULOS, T.H.; GEORGIOUDIS, A. 2000. Estimation of genetic parameters for production traits of Chios sheep using a multitrait animal model. *Livest. Prod. Sci.* 66, 217-221.
- MAIZON, D.O.; BUSETTI, M.R.; SUÁREZ, V.H. 2008. Parámetros Genéticos para Producción Lechera en Ovinos Pampinta. *Journal of Basic & Applied Genetics*. XIX (Supp.1), 186.
- MAIZON, D.O.; ETCHEGARAY, J.L.; BUSETTI, M.R.; GIGLI, I. 2011. Control lechero y mejora genética en ovinos Pampinta. *Revista Argentina de Producción Animal*. 31 (Supp.1), 117.
- OCHOA-CORDERO, M.A.; TORRES-HERNANDEZ, G.; MANDEVILLE, P.B.; DIAZ-GOMEZ, M.O. 2007. Effects of physiological and management factors on the milk composition of Rambouillet ewes. *Agrociencia*. 41, 263-270.
- R CORE TEAM. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (Disponible: <http://www.R-project.org/> verificado: 05 de abril de 2018).
- RAMÓN, M.; FERNÁNDEZ-PEREA, M.T.; PÉREZ-GUZMÁN, M.D.; SÁNCHEZ, P.J.; SERRANO, M. 2006. Parámetros genéticos de los caracteres lecheros en la raza ovina manchega. *ITEA*. 102, 115-121.
- RIGGIO, V.; FINOCCHIARO, R.; VAN KAAM, J.B.C.H.M.; PORTOLANO, B.; BOVENHUIS, H. 2007. Genetic parameters for milk somatic cell score and relationships with production traits in primiparous dairy sheep. *J. Dairy Sci.* 90, 1998-2003.
- SCHALM, O.W.; NOORLANDER, D.O. 1957. Experiment and observations leading to development of the California mastitis test. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 5, 199-207.
- SERRANO, M.; UGARTE, E.; JURADO, J.J.; PEREZ-GUZMAN, M.D.; LEGARRA, A. 2001. Test day models and genetic parameters in Latxa and Manchega dairy ewes. *Livest. Prod. Sci.* 67, 253-264.
- SORENSEN, D.; GIANOLA, D. 2002. Likelihood, Bayesian, and MCMC methods in quantitative genetics. Springer-Verlag, Nueva York. 740 p.
- SUÁREZ V.H.; BUSETTI, M.R.; MIRANDA, A.O.; CALVINHO, L.F.; BEDOTTI, D.O.; CANAVESIO, V.R. 2002. Effect of Infectious Status and Parity on Somatic Cell Count and California Mastitis Test in Pampinta Dairy Ewes. *J. Vet. B. Infect. Dis. Vet. Public Health* 49, 1-5.
- SUÁREZ, V.H.; BUSETTI, M.R. 1999. Lechería ovina y aptitud lechera de la raza Pampinta. *Boletín de divulgación técnica* N.º 63, 61 p.
- SUÁREZ, V.H.; BUSETTI, M.R. 2009. Encuesta descriptiva sobre Prácticas de Ordeño, Manejo y Producción en el Tambo Ovino. *Vet. Arg.* xxvi, 256.

Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos

Mesa, V.A.M.; Marín, P.A.; Ocampo, O.; Calle, J.; Monsalve, Z.

Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina

Valeiro, A.; Biaggi, C.

Producción y persistencia de una mezcla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) bajo intensidades y frecuencias de pastoreo contrastantes

Kloster, A.M.; Zurbriggen, G.A.

Transición agroecológica en producciones extensivas de la región semiárida pampeana argentina

Gabella, J.I.; López, F.; Álamo, M.

Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings

LLanes, A.; Iparraguirre, J.; Masciarelli, O.; María, N.; Luna, V.

Calidad de frutos y maduración en naranjo dulce 'Valencia Late' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] cv Limeira, sobre diferentes portainjertos

Chabbal, M.D.; Giménez, L.I.; Mazza, S.M.; Ramírez, M.D.J.; Rodríguez, V.A.

Caracterización sensorial de mieles de abeja mediante análisis multivariado a tres vías

Altendorff, L.; Winter, J.; Lavalle, A.

Estudio de la respuesta inmune frente a la vacunación con virus respiratorio sincitial bovino (VRSB) inactivado en bovinos. Evaluación de la inmunidad pasiva

Margineda, C.A.; Ferella, A.; Perez Aguirreburualde, M.S.; Sammarruco, A.; Gonzalez, D.D.; Toledo, G.; Dus Santos, M.J.; Mozgovej, M.

Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana

Blanco, L.J.; Durante, M.; Ferrante, D.; Quiroga, R.E.; Demaría, M.; Di Bella, C.M.

Respuesta del tabaco al riego deficitario para dos fechas de trasplante

Diez, J.; Acreche, M.M.

Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un Inceptisol en la ceja de selva peruana

Mestanza Novoa, C.J.; Zorogastúa Cruz, P.E.

Estimación de parámetros genéticos para caracteres de producción de leche y mastitis subclínica en ovinos Pampinta

Stazionati, M.F.; Maizon, D.O.; Giovambattista, G.; Gigli, I.



Secretaría
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación