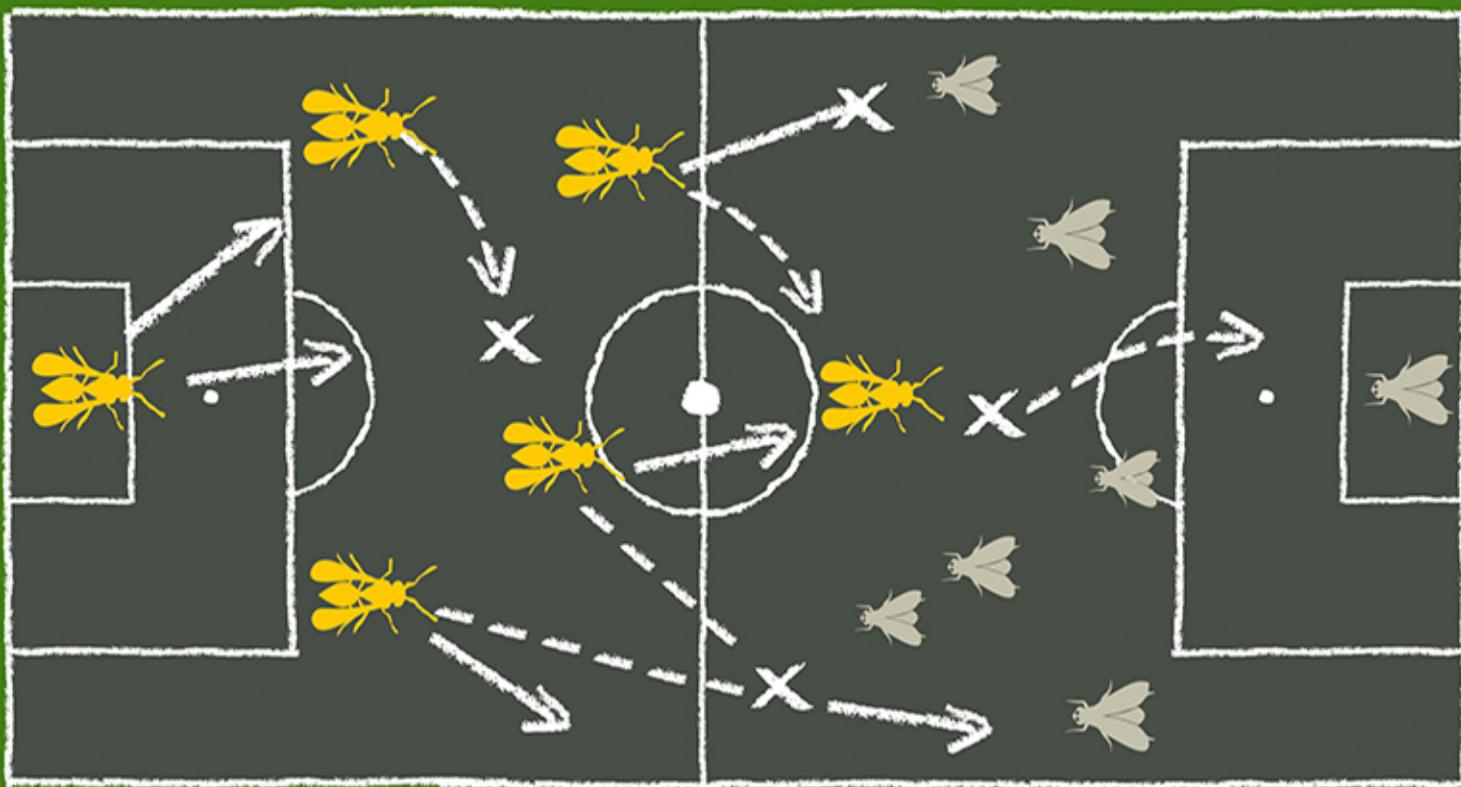


ESTUDIAN CÓMO DISEÑAR
SEMILLAS MULTIRRESISTENTES

ENTREVISTA A MARTÍN LEMA
"ESTAMOS SUJETOS AL ESCRUTINIO
PERMANENTE DE LA SOCIEDAD"

FIEBRE AFTOSA: EL RIESGO SIGUE
VIVO PARA LA GANADERÍA MUNDIAL

Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable





ISSN 0325-8718
ISSN 1669-2314

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 44 N.º 2
Agosto 2018, 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.

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

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

Indexada en:
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).

Dra. Cecilia Gargano. Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

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. Carlos Juan Perfumo. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). 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.



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

Control biológico: Llamado a ser un protagonista en la agricultura del futuro

En la actualidad la sociedad manifiesta preocupación respecto a las posibles consecuencias negativas de los métodos de control de plagas que normalmente usa el productor agropecuario. Esa preocupación pasa por dos aspectos fundamentales: los riesgos directos para la salud humana o por la potencial contaminación de alimentos y el impacto que estos plaguicidas puedan tener en el ambiente -agua, aire y suelo-. El compromiso creciente de los consumidores con la inocuidad alimentaria y de la sociedad por el cuidado ambiental es cada día más notable. Reflejo de ello es que la industria de los agroquímicos incrementó la oferta de productos menos tóxicos, denominados “banda verde”.

Una alternativa válida en la búsqueda de prácticas de control amigables con el ambiente es el control biológico (CB), es decir, el uso de un organismo vivo para el control de otro organismo vivo perjudicial patógeno, maleza o plaga animal. Es uno de los tantos servicios ecosistémicos que provee la naturaleza y es considerado por muchos especialistas como alimentariamente inocuo, ambientalmente seguro y económicamente más rentable que otras alternativas disponibles para el control de plagas. No obstante, los desafíos que enfrenta su utilización como práctica agrícola no son menores y esto ha resultado en que su implementación no tenga todo el peso que debería tener.

Se pueden diferenciar las experiencias obtenidas con dos modelos distintos de biocontroladores; los de “importación” -introducidos, no nativos-, con los que se encontraron algunos inconvenientes y las estrategias de “incremento” y de “conservación” con las cuales no se encontró, hasta el presente, ningún inconveniente.

En el método de CB por “incremento” se tiende a adicionar biocontroladores artificialmente al ambiente por cría y liberación. El de “conservación”, que es el que pregona la estrategia del Manejo Integrado de Plagas para los cultivos extensivos, implica que las prácticas agronómicas deben tender a la protección de los enemigos naturales de las plagas para que su diversidad y abundancia se incremente naturalmente. Es la práctica que, probablemente, requiere más estudio y comprende más complejidad, pero es la más sostenible en el tiempo. Además, esta modalidad de CB no requiere intermediarios ni proveedores de insumos ya que son los propios productores quienes generan los paisajes adecuados.

Un inconveniente que agrega complejidad a la aplicación de prácticas con agentes de biocontrol, fundamentalmente a las de “incremento”, es lo engorroso de las pautas regulatorias para permitir que un determinado biocontrolador sea autorizado a comercializarse como tal. A nadie escapa que el nivel de regulación y vigilancia a utilizar para la “importación” de un agente de control biológico debe ser estricto, más si se consideran los inconvenientes encontrados en experiencias previas en el mundo.

Sin embargo, la política de Estado para regular la comercialización de un agente de biocontrol nativo, es decir, ya

presente en el país donde se lo utilizará, debería ser más flexible. Una vez determinada la inocuidad para el consumo humano y animal, tendría que facilitarse su registro e inclusive promoverse su utilización como una manera de contrabalancear el uso de plaguicidas químicos.

Los sistemas agrícolas, como cualquier otro sistema biológico, para que sean sostenibles en el tiempo deben encontrar su equilibrio. La agricultura se beneficia de los servicios del CB que le proporcionan los enemigos naturales de las plagas. Pero para que esos enemigos naturales alcancen un nivel poblacional tal, que limite el efecto deletéreo de las plagas, requieren de alimento (en la forma de polen y néctar de la flora espontánea) y refugios dispersos en el espacio y en el tiempo a través del paisaje. De otra manera, el equilibrio se volcará a favor de la plaga y el uso de plaguicidas químicos será inevitable.

Existen en el mundo innumerables ejemplos que la composición y disposición espacial de los hábitats de cultivos y no cultivos en un paisaje en mosaico pueden influir favorablemente en la abundancia y diversidad de los enemigos naturales de las plagas y por lo tanto en la efectividad del CB. Enormes extensiones de monocultivos como los que pueden verse en nuestro país hacen muy difícil que se generen biocontroladores en una variedad y nivel de abundancia suficientes para suprimir o contener a las poblaciones plaga.

¿Cómo romper este círculo vicioso en el cual más plaguicidas significan menos enemigos naturales y, como consecuencia de ello, menos enemigos naturales implican más plaguicidas? Obviamente la respuesta no es simple ni directa, pero sin duda que el CB es un protagonista del Manejo Integrado de Plagas si verdaderamente se busca una agricultura con menos riesgos. Para ello debemos empezar por la educación de pregrado y de grado con un mensaje claro y potente sobre la importancia y factibilidad del control biológico para el manejo de las plagas. Para imaginar el cambio basta con tener en cuenta que las plagas de un cultivo se pueden contar con los dedos de una mano y los enemigos naturales -en su conjunto- son cientos. Conocerlos es el desafío. Esto implica todo un cambio de mentalidad que podría iniciarse al modificar el concepto de Terapéutica Vegetal por el de Fundamentos del Manejo de Insectos donde el fuerte sea el CB.

Por otro lado, los organismos del Estado deben apoyar decididamente este tipo de tecnologías de control mediante políticas regulatorias más simples para que los productos biológicos puedan desarrollarse y crecer a un nivel tal que transformen la agricultura moderna. En resumen, el CB es sin duda una herramienta central en el Manejo Integrado de Plagas en la agricultura, aunque debe necesariamente integrarse con otras estrategias para lograr un resultado satisfactorio y modificar el modelo agrícola-industrial de producción que prima en nuestro país y en otros países del mundo.

Actualidad en I+D

Editorial

- 2** Control biológico: llamado a ser un protagonista en la agricultura del futuro

Protagonista del Manejo Integrado de Plagas para una agricultura con menos riesgos, requiere de más integración con otras estrategias para lograr un resultado satisfactorio y modificar el modelo agrícola-industrial.

Notas

- 4** Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable

Especialistas reconocen los beneficios de este método de control, mediante el uso de los controladores naturales, para disminuir y hasta anular el impacto de las plagas y enfermedades en las plantas y suelos.

- 9** Estudian cómo diseñar semillas multirresistentes

El conocimiento sobre los genes del maíz permite crear variedades del cereal del futuro que deberá combinar: rendimientos estables, más granos y de mayor tamaño, y más tolerantes al calor extremo o a la sequía.

- 14** Fiebre aftosa: el riesgo sigue vivo para la ganadería mundial

Un análisis nacional y de países con matriz productiva ganadera, supone los peligros de este virus altamente variable. Pese a su baja mortandad, la enfermedad es número uno en relación con el impacto económico negativo.

- 20** "Estamos sujetos al escrutinio permanente de la sociedad"

Martín Lema, director de Biotecnología del Ministerio de Agroindustria, se refiere a las nuevas técnicas de mejoramiento que aplican técnicas de biotecnología moderna y a los aspectos regulatorios en el país.

Trabajos

Revisión

- 25** Biotécnicas reproductivas en la especie porcina: pasado, presente y futuro
Marinone, A.I.; Kaiser, G.; Hozbor, F.; Mucci, N.

Artículos

- 39** Variación temporal de indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos
Martínez, L.E.; Vallone, R.C.; Pino, M.M.

- 48** Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes

Romaniuk, R.; Navarro, R.; Beltrán, M.; Eiza, M.; Castiglioni, M.; Mousegne, F.

- 61** Caracterización de aislamientos de moho verde (*Penicillium digitatum*) resistentes al fungicida pirimetanil en la región citrícola del río Uruguay
Panozzo, M.; Almirón, N.; Bello, F.; Vázquez, D.

- 65** Estimación del contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada
Worlock, J.; Urfalino, D. P.

- 74** Eficiencia en el uso de agua para la producción de carne en sistemas irrigados con diferentes niveles de intensificación
Miñon, D.P.; Zapata, R.R.; Gallego, J.J.

- 80** Relevamiento de la actividad avícola en el territorio norte del Área Metropolitana de Buenos Aires
Sepulcri, M.G.; Palacios, D.; Magri, L.I.; Barbano, P.M.

- 88** Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y β -glucanos en el grano de la avena (*Avena sativa* L.)
Hernández-Campuzano, A.V.; Martínez-Rueda, C.G.; Estrada-Campuzano, G.; Domínguez-López, A.

- 96** Desarrollo morfológico de *Digitaria eriantha* Steud. ssp. *eriantha* y *Panicum coloratum* L. var. *Coloratum*
González, F.A.; Ventimiglia, P.; Jouve, V.V.; Ferri, C.M.

- 105** Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo
Voisin, A.; Novillo, B.; Chamorro, A.; Bezus, R.; Pellegrini, A.; Golik, S.

- 113** Producción y crecimiento de las plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. en la provincia Chaco
Kees, S.M.; Ferrere, P.; Lupi, A.M.; Michela, J.F.; Skoko, J.J.

- 121** Efecto del rolado de baja intensidad (RBI) sobre la distribución radical de pastos y arbustos en un bosque del Chaco occidental
Ledesma, R.; Elías, A.; Kunst, C.; Navarrete, V.; Godoy, J.

- 129** Modelación productiva, económica y emisión de metano en sistemas de cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales
Fernández Rosso, C.; Lauric, A.; De Leo, G.A.; Bilotto, F.; Torres Carbonell, C.; Machado, C.F.

Variedades

- 136** Nuevos cultivares de *Glandularia* obtenidos en Argentina
Bologna, P.

PLAGAS

Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable

Utiliza a los enemigos naturales de las plagas y enfermedades en las plantas y suelos para reducir su impacto, lo que implica usar tres veces menos de sustancias químicas, con el mismo rendimiento y un costo menor. Ventajas y debilidades de una alternativa clave para garantizar la sustentabilidad de los sistemas productivos a largo plazo.

POR LAURA PÉREZ CASAR

A la sombra de los sistemas productivos simplificados y dependientes de los insumos sintéticos que se expanden e intensifican, crece y se fortalece la convicción de que existen alternativas de manejo más sustentables como rentables. Los especialistas reconocen un viraje extendido socialmente hacia la toma de conciencia que impulsa un cambio de paradigma en los sistemas productivos.

Este giro hacia la sustentabilidad es impulsado, en gran parte, por la sociedad y sus consumidores que, cada vez con más conciencia ecológica y social, exigen una mayor sustentabilidad en los procesos y denotan su preocupación por el cuidado del ambiente, de los recursos naturales y de la salud.

Con la sustentabilidad como meta resurgen alternativas –como el control biológico de plagas– que estrechan la relación de la humanidad con la naturaleza, al punto de conocer las características de ambientes, cultivos e interacciones biológicas y comprender los ciclos productivos.

Se trata de un método de control que mediante el uso de los controladores naturales se logra disminuir y hasta anular el impacto de las plagas y enfermedades en las plantas y suelos. Si bien esta estrategia no es una técnica innovadora ni moderna, los especialistas coinciden en que se trata de una alternativa beneficiosa y en auge que permite reducir el uso

de insumos químicos y bajar, así, la contaminación ambiental.

En este sentido, Juan Carlos Gamundi –entomólogo del INTA Oliveros, Santa Fe–, destacó las numerosas ventajas de la estrategia de control: “Por lo general, no tiene ningún efecto colateral sobre otros enemigos naturales, no genera resistencia, evita la aparición de plagas secundarias o su resurgimiento –algo que suele suceder con los manejos preventivos y tempranos tradicionales– y no produce desequilibrios en los ecosistemas”.

Como si con esto no fuera suficiente para destacar las numerosas ventajas, el investigador agregó: “Mediante el control biológico, en algunas producciones, se alcanzan los mismos rendimientos que con los insecticidas químicos, pero con tres veces menos de principios activos y de impacto ambiental, además de un costo reducido”.

A su vez, la relación costo beneficio es muy favorable. “Se han hecho estudios a escala mundial en los que se muestra que el retorno con técnicas de control biológico es de 30 a 1, algo que no sucede con los insecticidas químicos”, indicó el entomólogo.

Para Laura Gasoni –especialista en control biológico de INTA que estudia el tema desde hace dos décadas–, “el progreso en la implementación de metodologías de control biológico revela las numerosas funciones de los anta-

gonistas para reducir el nivel de inóculo patogénico, proteger a los cultivos de la invasión de patógenos o estimular el crecimiento vegetal”.

Pero, no es una técnica infalible. Así lo sostiene Viviana Barrera –especialista en micología del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) del INTA Castelar–, quien explicó: “No es un control absoluto, como el químico”. A pesar de ello, “permite jugar con muchas variables, algo que con una sustancia química es imposible porque hay una única fórmula que se aplica a todo por igual”.

Gamundi, por su parte, agregó que se trata de una técnica “con limitaciones” y su aplicación práctica no es tan efectiva ni sirve para controlar a las plagas cuando superan el nivel de daño.

A modo de ejemplo, el entomólogo se refirió a los insectos plaga como las orugas en soja o las chinches que colonizan muy rápido el cultivo. “En estos casos específicos, las técnicas de control biológico no son eficientes”, reconoció.

“No hay secretos para adoptarla”, insistió el entomólogo quien no dudó en subrayar que el control biológico, a diferencia del control químico tradicional, requiere un amplio conocimiento de todas las variables que influyen en el agroecosistema.

Barrera fue más allá al asegurar que “se pueden seleccionar las cepas de mi-



Larva muerta por virus entomopatígeno.



Hormigas controladas con Beauveria bassiana.

croorganismos más eficientes para combatir ciertas enfermedades en vegetales, o bien combinarlas con otras cepas. A su vez, se las puede complementar con otras estrategias como la solarización, enmiendas o rotaciones. “El control químico, en cambio, tiene una única fórmula para todo”, especificó la técnica del IMyZA.

Numerosas ventajas, algunos riesgos

El control de plagas tiene, al menos, dos modos de implementarlo: por conservación o introducción. Por un lado, se puede optar por conservar los agentes de control biológico disponibles en la naturaleza para, así, obtener un beneficio ecosistémico. Mientras que, en el método de introducción, se crían enemigos naturales en laboratorios o en biofábricas para, luego, liberarlos a campo o en ambientes controlados.

Jorge Frana —especialista en control biológico y manejo integrado de plagas del INTA Rafaela, Santa Fe— no dudó en ponderar la conservación de los enemigos naturales para cultivos extensivos. En cuanto a la introducción de enemigos naturales en los ecosistemas, conocido como Control Biológico Clásico, Frana reconoció que “implica riesgos”.

En este sentido, advirtió: “Hay que tener mucho cuidado y responder con los test de especificidad” y recordó un caso en Hawái, Estados Unidos, en el que —

por error— se introdujeron caracoles —en un ambiente apto y sin sus controladores naturales—, lo que generó las condiciones ideales para un crecimiento exponencial de estos moluscos.

“Para controlarlos, y sin demasiadas investigaciones, liberaron caracoles de caparazón truncado que son depredadores de caracoles y, esos mismos, diezmaron la población de los caracoles nativos en el archipiélago”, señaló el técnico.

Gamundi, por su parte, sostiene la eficacia de la introducción de enemigos naturales en el caso que se deban controlar plagas exóticas que fueron introducidas al país mediante el transporte de mercadería o la mera comercialización de productos. En esta línea, la consideró una estrategia “muy exitosa”.

“Es que esa plaga en ese nuevo territorio no tiene controladores naturales, entonces sí resulta efectivo ir al país de origen, buscar los enemigos naturales e introducirlos, que es uno de los métodos para combatirlos”, explicó Gamundi.

Cuando no se hacen los estudios adecuados para analizar la introducción y la competencia con los organismos nativos a fin de asegurar la eficacia de la estrategia de control, suceden los errores.

Como cuando en el país se introdujeron enemigos naturales tales como abejorros y vaquitas para controlar los pulgones. “Al ser muy agresivos y con

una alta tasa de reproducción, lograron desalojar a los depredadores naturales y generaron un desequilibrio circunstancial en el ecosistema”, reconoció preocupado el especialista de Oliveros quien volvió a destacar la necesidad de “realizar estudios de especificidad”.

Una alternativa, más controlada y medida, es el uso de formulaciones de diversas cepas de microorganismos benéficos que sirven tanto para realizar un control biológico de enfermedades del suelo provocadas por hongos, como así también en plantas.

Sin embargo, Barrera también se refirió al riesgo que representa la proliferación en masa de esporas aplicadas al suelo y no dudó en manifestarse en contra. “Esto representa un riesgo —no estudiado ni medido— que sobrepasan los objetivos”, aseguró al tiempo que agregó: “Estamos frente a hongos ambientales capaces de dispersarse por todos lados”.

El control biológico implica usar tres veces menos de sustancias químicas, con el mismo rendimiento y un costo menor.

El control biológico es una técnica beneficiosa, pero no infalible ni absoluta.



Para evitar errores, los científicos coincidieron en la importancia de estudiar muy bien el agroecosistema, conocer la bioecología de la planta o suelo –según el caso– y analizar el conjunto de enemigos naturales para entender cómo actuará el enemigo natural introducido. “Hay que tener cuidado para no cometer errores y lograr una introducción armoniosa con el ambiente”, subrayó Gamundi.

En esta línea, Frana consideró “fundamental” estudiar la especificidad de la especie que se quiere controlar a fin de evitar efectos colaterales. “La clave está en la investigación y el estudio”, destacó.

En otras palabras, Silvia Lopez –investigadora del Insectario de Investigaciones para Lucha Biológica del IMyZA del INTA Castelar– remarcó: “El éxito o el fracaso de cualquier estrategia de control de plagas reside en el nivel de conocimiento que se tenga del sistema cultivo-plaga-enemigo natural”. Para la investigadora, “todo programa de control biológico requiere de monitoreo para las principales plagas del cultivo, a fin de disponer de un método objetivo de diagnóstico del estado sanitario de las plantas”.

Una herramienta beneficiosa, pero poco implementada

Todos coinciden en los beneficios del control biológico por sobre el químico.

Entonces, ¿por qué su adopción es baja y parcial? ¿qué falta? Para Gamundi, la causa principal radica en “la idiosincrasia propia de los productores que esperan un volteo rápido de la plaga” y no estarían dispuestos a esperar. Por su parte, los asesores también tienen su cuota de responsabilidad dado que, ante la ausencia de monitoreos por falta de tiempo, optan por las aplicaciones preventivas –con más contraindicaciones que beneficios–.

Para Barrera, sin embargo, es más simple: “Los productores no lo aplican porque no garantiza un 100 % de efectividad y contempla una mínima presencia de enfermedad en el producto final. Esto, sumado a las exigencias de calidad de los mercados, complejiza aún más la implementación”.

De acuerdo con los investigadores solo queda un camino para sumar adeptos: la capacitación. Gamundi destacó la necesidad de formar mejor a los profesionales en las facultades, a fin de que tengan prácticas en las que “vivan” el manejo de plagas y la acción de los enemigos naturales. “Solo así serán capaces de transmitir los beneficios de la técnica”, aseguró, al tiempo que subrayó: “La capacitación es clave”.

Mientras que para Barrera resulta “significativo” el rol de organismos como el INTA que, de la mano de sus extensio-

nistas, sean quienes trasladen el conocimiento del laboratorio al campo y sus productores: “Necesitamos más técnicos que nos ayuden a compartir los beneficios de estas tecnologías”, indicó.

A pesar de los obstáculos a los que se enfrenta la implementación de esta técnica, Gamundi se declaró “optimista” y aseguró que el tiempo ayudará a que las cosas cambien y se vuelvan más sostenibles. Entre las causas, el especialista explicó que “los insumos sintéticos son derivados del petróleo, lo que causará su encarecimiento y consecuente vuelco hacia nuevas alternativas, más sostenibles”.

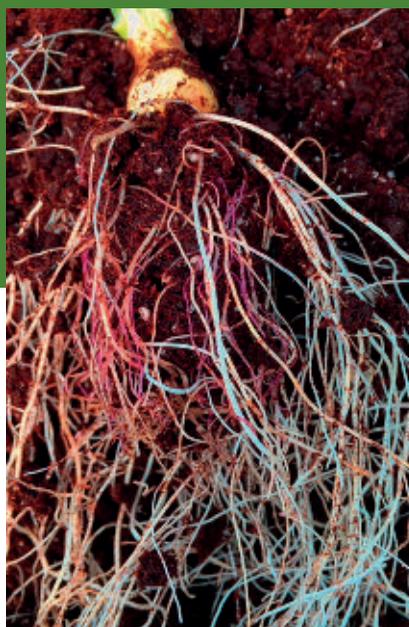
Consumidores: los últimos serán los primeros

De acuerdo con los especialistas, las sociedades se volvieron más exigentes, con mayor conciencia ecológica y cuestionan el uso de insumos químicos. Ambos se mostraron convencidos de que la clave del cambio de paradigma está en la demanda generada por los consumidores, quienes impulsan que las conductas de los productores y la industria química se modifiquen.

“Esto, a su vez, impulsa una tendencia mundial en la industria de insecticidas que buscan alternativas más sostenibles, como el desarrollo de los bioinsumos”, señaló Gamundi.



Larva muerta con *Bacillus* y testigo.



Exposición de sintomatología.

El éxito reside en el nivel de conocimiento que se tenga del sistema cultivo-plaga-enemigo natural.

Liliana Cichón, especialista en control biológico de plagas en fruticultura del INTA, sumó una cuestión más a tener en cuenta: la baja disponibilidad comercial de bioinsumos en el país. “En producciones sensibles, por su consumo en fresco y exigencias en inocuidad, como la fruti-hortícola, las pocas herramientas biológicas se emplean habitualmente en producciones orgánicas, biodinámicas y bajos residuos”.

Para Barrera resulta “trascendental” un cambio cultural profundo en el que se entienda el sufrimiento que padecen los sistemas naturales por el impacto ambiental generado por las producciones agrícolas a gran escala y el daño –visible e invisible– que producen los insumos sintéticos en los agroecosistemas.

En esta línea, López recalcó la importancia de implementar alternativas biológicas de control basadas en el manejo racional de enemigos naturales a fin de reducir el uso de plaguicidas. “Combatir las plagas con agroquímicos se contraponen con la demanda mundial de producir alimentos sanos, con menores niveles de residuos químicos y obtenidos bajo sistemas productivos respetuosos del ambiente”, señaló la especialista.

Gasoni dio un paso y aseguró: “Las tendencias para el futuro requieren de una agricultura competitiva, con empleo de alternativas de control de mínimo im-

pacto ambiental. Se podrá satisfacer la creciente demanda de alimentos libres de pesticidas mediante el uso sostenible de los recursos biológicos”.

La clave, ser parte de la naturaleza

La avispa –*Goniozus legneri*– tiene la capacidad de parasitar a las larvas de lepidópteros, es decir, a polillas o mariposas –principales insectos que afectan la calidad y sanidad de la fruticultura de la Norpatagonia–. Asimismo, idearon un método de cría artificial, a fin de obtener un gran número de avispas para ser liberadas en forma inundativa y periódica en el campo, y provocar un efecto depresor sobre plagas como la “carpocapsa” que afecta a peras y manzanas.

Cichón señaló que “la liberación de estas avispas permite reducir sustancialmente el número de aplicaciones de

insecticidas, emplear solo aquellos de baja toxicidad (banda verde) y obtener la misma eficacia que en las estrategias de control convencional”.

A su vez, el INTA Bella Vista en Corrientes encabeza un proyecto de cría de la avispa *Tamarixia radiata*, un enemigo natural que disminuye las poblaciones de *Diaphorina citri* –vector que transmite la enfermedad del HLB– y contribuye con el control de la plaga sin productos químicos en zonas urbanas.

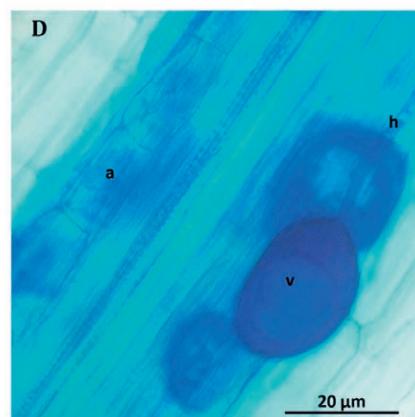
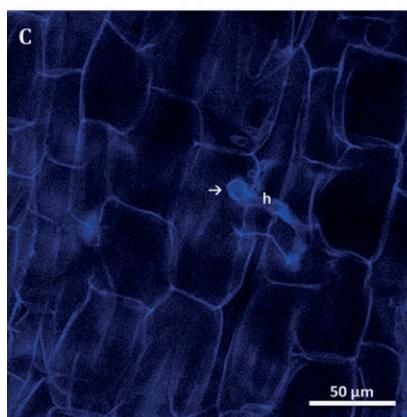
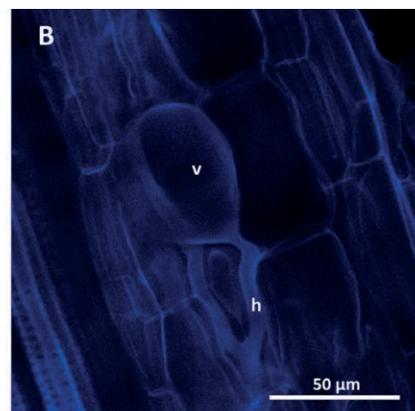
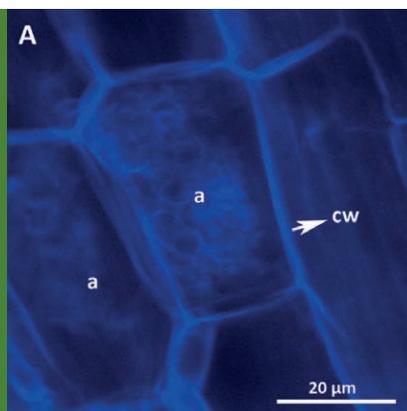
Otro caso exitoso, del que participaron las científicas Gasoni y Barrera, es el desarrollo del primer fungicida biológico del país que se aplica de forma directa sobre semillas y controla más del 40 % de los hongos del suelo que afectan al trigo y otros cereales. Se trata de un bioinsumo que limita el daño que ocasionan los organismos fitopatógenos en el cultivo y evita que se elimine la flora benéfica del suelo.

Además, el INTA investiga el uso de los hongos micorrícicos para el manejo de la podredumbre carbonosa y la muerte súbita de la soja, ambas enfermedades causadas por hongos de suelo. También, en la evaluación y desarrollo de biofungicidas para hongos de suelo en base a bacterias nativas promotoras de crecimiento.

“Actualmente, contamos con cepas de *Bacillus* con excelente capacidad de

Los consumidores demandan mayor sustentabilidad en los sistemas productivos que impulsa un cambio de conducta.

Micorrizas.



control del hongo causante de la raíz rosada de la cebolla, entre otros”, afirmó Daniel Ducasse –coordinador del Programa por Área Temática Protección Vegetal del INTA–.

Asimismo, para controlar las hormigas cortadoras, el INTA estudia el efecto de los hongos entomopatógenos –de las especies *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*– como una medida de control. Roberto Lecuona –director del Instituto de Microbiología y Zoolología Agrícola (IMyZA) del INTA Castellar– destacó las ventajas del control microbiano de hormigas cortadoras con hongos entomopatógenos por tratarse

de “una estrategia sustentable que preserva la salud humana y la seguridad ambiental”.

Los hongos entomopatógenos son un grupo de microorganismos benéficos que tienen la particularidad de parasitar a diferentes tipos de artrópodos –insectos y ácaros– y de encontrarse en los hábitats más variados. Estos, pueden ser producidos y formulados como microinsecticidas para ser empleados como cebos o en aplicaciones líquidas.

Entre las plagas más frecuentes en hortalizas se destacan las moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), los trips (Thysanoptera: Thripidae), las polillas

(Lepidoptera), las arañas (Acari: Tetranychidae) y los pulgones (Hemiptera: Aphididae).

“Tradicionalmente, el control de los artrópodos plagas era químico, mientras que ahora se busca reemplazarlo por el uso de enemigos naturales y el manejo de hospederas”, indicó López, quien para ejemplificarlo citó a las especies más estudiadas como agentes de control biológico para la mosca blanca: los parasitoides *Encarsia* y *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae) y la chinche depredadora *Tupiocoris cucurbitaceus* (Hemiptera: Miridae).

Mientras, los avances más importantes en control biológico de trips se lograron mediante el uso de la chinche depredadora *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) en el cultivo de pimiento para el control de *F. occidentalis*.

Más información: Daniel Ducasse ducasse.daniel@inta.gob.ar; Jorge Frana frana.jorge@inta.gob.ar; Juan Carlo Gamundi gamundi.juan@inta.gob.ar; Laura Gasoni gasoni.amelia@inta.gob.ar; Liliana Cichón cichon.liliana@inta.gob.ar; Roberto Lecuona lecuona.roberto@inta.gob.ar; Silvia Lopez lopez.silvia@inta.gob.ar; Viviana Barrera barrera.viviana@inta.gob.ar



Hifas de *Trichoderma*.



Chinche del tallo arroz muerta por *Metarhizium anisopliae*.

ADN DEL MAÍZ

Estudian cómo diseñar semillas multirresistentes

Rendimientos estables, resistente a enfermedades y tolerante a temperaturas más altas son los requisitos que deberá combinar el cereal del futuro. Para esto, un equipo de investigadores estudia cuáles son las regiones del genoma y los mecanismos que se activan frente al ataque de diversos patógenos o de golpes de calor. Estos resultados ayudarán al desarrollo de variedades mejor adaptadas a los desafíos que se vienen.

POR CECILIE ESPERBENT

Originario de Centroamérica y domesticado por el hombre durante los últimos 10.000 años, el maíz (*Zea mays*) es uno de los tres cereales más cultivados del mundo que, gracias a su capacidad para adaptarse, logró consolidarse en los sistemas productivos.

Utilizado tanto para la alimentación humana, animal como para la fabricación de biocombustibles, entre otros múltiples usos industriales, la expansión mundial de este cultivo está ligada a la mejora genética y desarrollo de variedades adaptadas a las necesidades de cada lugar: hoy el cereal puede encontrarse desde las latitudes más cálidas hasta las más templadas y desde el nivel del mar hasta más de 3.500 metros de altura.

Secuenciado en 2009 por un equipo internacional de científicos, ahora se sabe que el ADN del maíz está formado por 32.000 genes insertados en 10 cromosomas. Este hallazgo confirmó lo complejo que es el genoma del cereal debido a que el 85 % de sus secuencias genómicas se repiten múltiples veces.

En otras palabras, los *transposones* – elemento genético que puede moverse a diferentes partes del genoma– saltan llevándose consigo parte del ADN que los rodea, lo que genera mutaciones, incrementa la variabilidad genética y dificulta la secuenciación del ADN. Por esto, su estudio fue un gran desafío.

Gerardo Cervigni es experto en Genómica y trabaja en el Centro de Estudios Foto-

sintéticos y Bioquímicos del Conicet, ubicado en Rosario –Santa Fe–. Allí, estudia la estructura, función y evolución de los genes que integran el ADN del maíz. Con el genoma descifrado, Cervigni puede mapear los genes, conocer cómo funcionan y predecir las interacciones que prevalecen.

“La localización exacta de los genes es fundamental para conocer su función”, aseguró Cervigni y señaló: “Con el mapa del maíz, completo y ordenado, y mediante el uso de marcadores moleculares, podemos identificar y asociar los genes de resistencia de una enfermedad, plaga o alguna característica de interés”.

Saber exactamente dónde están los genes hará más fácil el trabajo de los fitomejoradores para crear variedades



“Con el mapa del maíz, y mediante el uso de marcadores moleculares, podemos identificar y asociar los genes de resistencia de una enfermedad, plaga o alguna característica de interés” (Gerardo Cervigni).



“Los materiales argentinos cultivados hace más de 50 años contenían una gran variabilidad genética” (Marcelo Ferrer).

que produzcan más granos, de mayor tamaño o que resulten más tolerantes al calor extremo o a la sequía.

El mejoramiento asistido mediante marcadores moleculares trabaja directamente con la información del ADN. Esto quiere decir que el investigador identifica cuáles son los genes que aportarán las características deseadas. “Esta selección se puede aplicar en el estadio de plántulas, por lo que se disminuye el tiempo para obtener mejores genotipos y se reducen los tiempos y costos de la investigación considerablemente”, expresó Cervigni.

Seleccionar las mejores características y minimizar las probabilidades de que los cultivos sean perjudicados por factores externos son básicamente los objetivos de la genética clásica aplicada a los vegetales. “Conocer dónde están los genes

que contienen las características de interés agrícola y cómo funcionan es muy importante para el futuro desarrollo de variedades”, señaló Marcelo Ferrer, especialista en Recursos Genéticos del INTA.

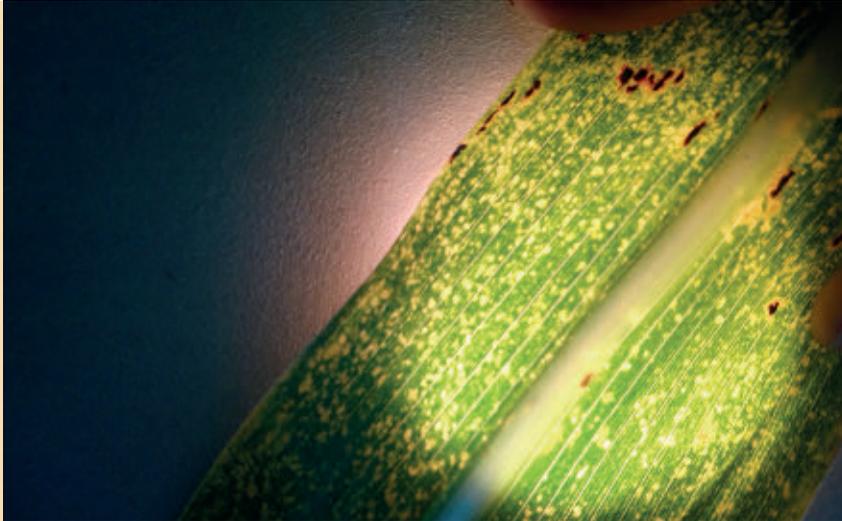
De acuerdo con Ferrer, el maíz que se cultiva en la actualidad es el resultado de un proceso de domesticación, realizado por pueblos indígenas de América, que consistió en seleccionar las mejores semillas y descartar el resto.

“En la Argentina, existen más de 40 tipos de variedades o razas locales de maíz diferentes que son cultivadas por los agricultores desde tiempos ancestrales y que hoy perduran en algunas regiones del norte del país, como en la Quebrada de Humahuaca”, indicó Ferrer, quien agregó: “La adaptación a esas condiciones climáticas fue posible por la gran riqueza genética que presentan cultivos como maíz, papa y poroto”.

Con el avance de la tecnología y la incorporación de técnicas para el mejoramiento vegetal fue posible obtener cultivos adaptados a las condiciones de clima y suelo de un lugar.

Sin embargo, para enriquecer el conocimiento y las posibles mejoras agrícolas que se puedan incorporar, Ferrer destacó la importancia de trabajar con materiales locales como insumos básicos de germoplasma tanto para el mejoramiento como para diversas investigaciones genéticas básicas para el cultivo.

“Los materiales argentinos cultivados hace más de 50 años, contenían una gran variabilidad genética”, expresó Ferrer y agregó: “En la actualidad, lo más común –tanto en la zona núcleo



“Es importante maximizar la selección de genotipos resistentes a la mayor cantidad de enfermedades posibles, debido a que se convertirán en alternativas más durables y socioambientalmente más amigables” (Juliana Iglesias).

como en el resto del país donde se produce maíz en gran escala— es encontrar lotes sembrados solo con ‘híbridos comerciales’ que son muy productivos, pero son muy uniformes y, en general, presentan vulnerabilidad ya que resisten o toleran el ataque de alguna plaga o enfermedad. Esto se debe a que perdieron la variabilidad que caracterizaba a su genoma”.

Desde 1950, el Banco de Germoplasma del INTA Pergamino conserva semillas de más de 2.500 entradas de maíz provenientes de todo el país. “Además de conservar los recursos genéticos de un país, el banco de germoplasma, mediante los trabajos de caracterización y evaluación, nos permite identificar materiales que resistan a factores bióticos y abióticos, que se adapten a suelos salinos, a mayores temperaturas o a la falta de agua”, ejemplificó Ferrer.

Maíz súper resistente

Con una población que continúa en aumento, se vuelve imperiosa la necesidad de contar con cultivos cada vez más eficientes, rendidores, estables y resistentes tanto a plagas, enfermedades, como al estrés hídrico —por exceso o déficit— y a los efectos térmicos.

Según datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), en 2017, la producción mundial de maíz alcanzó los 1031,86 millones de toneladas. Sin embargo, año tras año, esos valores son modificados por diversas enfermedades que afectan su productividad y la calidad de los granos.

En este sentido, un equipo de investigadores del INTA Pergamino —Buenos Aires— busca identificar en el genoma del maíz cuáles son los mecanismos que se ponen en marcha frente al ataque de diversos patógenos.

Juliana Iglesias, especialista en genética vegetal del INTA y responsable del estudio, utiliza herramientas de asociación genómica para encontrar regiones genéticas del maíz que se activen y le permitan a la planta resistir a múltiples enfermedades.

Iglesias junto con María Belén Kistner —becaria INTA-Conicet— tienen como objetivo detectar plantas que posean los mayores atributos genéticos para resistir a las enfermedades más comunes y de interés económico.

“Nos enfocamos en la búsqueda e identificación de ejemplares que tengan resistencia genética a varias enfermedades para, en un futuro, desarrollar variedades que tengan mejor comportamiento

al ataque de múltiples patógenos”, señaló Iglesias y agregó: “Apostamos a que sea una herramienta para reducir el uso de los productos fitosanitarios y contribuir a su manejo sustentable”.

De acuerdo con Iglesias, la búsqueda de resistencia a múltiples enfermedades (MDR, por su sigla en inglés) se basa en poder encontrar *hotspots* de resistencia (según el término académico). “Conocidos como las regiones genómicas donde se acumulan genes para resistencia a varias enfermedades, el hallazgo de los *hotspots*, además de posibilitar la localización del gen o grupo de genes que se encienden para resistir a las enfermedades, nos ayudará en el estudio de los mecanismos que se ponen en marcha frente al ataque de diversos patógenos”, explicó.

“Los grupos de genes nos hablan de patrones, de una relación entre los hábitos patogénicos y la respuesta de defensa o susceptibilidad que puede dar





“Nos enfocamos en la búsqueda e identificación de ejemplares que tengan resistencia genética a varias enfermedades para, en un futuro, desarrollar variedades que tengan mejor comportamiento al ataque de múltiples patógenos” (Juliana Iglesias).

la planta”, analizó Iglesias, quien realizó un doctorado en Biología Celular y Molecular en la Universidad de Estrasburgo, Francia.

Estudios realizados en Pergamino – Buenos Aires– y en Leales –Tucumán– permitieron identificar cuáles son los genotipos con mejor comportamiento a patógenos y enfermedades. Resultados preliminares mostraron que es posible agruparlos según su comportamiento frente a patógenos que poseen el mismo modo de ataque.

Los patógenos pueden ser biótrofos, hemiótrofos y necrótrofos, cada uno tiene mecanismos distintos para nutrirse, infectar y producir síntomas. A su vez, las plantas poseen diferentes estrategias de defensa que se ponen en funcionamiento según el tipo de ataque que recibe.

“Enfermedades tales como royas, podredumbre de espiga y tizones generan determinadas respuestas de defensa que se deben al reconocimiento del patógeno que provoque el ataque”, expresó la bióloga del INTA y agregó: “Con estos resultados, podremos combinar esos genes, que se activan frente a mecanismos de ataque similares y replicar su estructura para la obtención de variedades con caracteres mejorados”.

“Estudiamos la respuesta sanitaria de aproximadamente 100 líneas endocria-

das, que son parte del Programa de Mejoramiento de Maíz del INTA”, indicó Iglesias.

La evaluación de enfermedades foliares en Pergamino (roya, tizón, bacteriosis, carbón o carbones de la espiga) y en Leales (mancha gris y tizones), más la información obtenida sobre podredumbres de espiga y granos (*Fusarium* y *Aspergillus*), permitió que el equipo de investigadores identifique genotipos con resistencia a más de una enfermedad.

Para Cervigni, este es un hallazgo importante en el conocimiento general del cultivo. “Podremos establecer un protocolo eficiente de caracterización fenotípica y selección rápida de genotipos, cuyos genomas combinen los genes deseables necesarios para obtener mejores resultados en la producción de maíz”, manifestó.

Cultivos del futuro

En el mundo, las mermas en los rindes o pérdida de calidad, causados por bacterias u hongos, pueden ascender hasta el 8 %; mientras que los virus causan un 2,9 % de las enfermedades. Sin embargo, el clima puede hacer que esos valores aumenten.

El cambio en el clima transformó el régimen de lluvias y de temperaturas a escala global y, la Argentina no es ajena

a esta situación. En este punto, la clave para el sector agropecuario estará en implementar las prácticas necesarias para adaptarse y no quedar en el intento.

Según el último informe del Panel Intergubernamental de la ONU sobre Cambio Climático (IPCC), la temperatura en la superficie continuará en aumento a lo largo del siglo XXI, con la posibilidad de alcanzar un incremento de entre 0,3 °C y 0,7 °C para el período 2016-2035 y de entre 1,5 y 4,6 °C al 2100, con



“En el caso del maíz, el registro de temperaturas superiores a 35 °C, durante el período de floración, puede provocar disminuciones en los rindes” (Jorge Parrado).



respecto a los niveles preindustriales. Datos que proyectan un futuro cada vez más complejo.

En este sentido, la Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos informó en 2016 que, por tercer año consecutivo, las temperaturas fueron las más altas desde que comenzaron los registros en 1880. “La temperatura global fue 0,94 °C superior a la media del siglo XX”, señaló el documento.



Los golpes de calor son un fenómeno cada vez más frecuente. Caracterizado por temperaturas extremas que duran un breve intervalo de tiempo, este fenómeno puede poner en peligro a la agricultura.

El conocimiento actual sobre el impacto que tienen los ascensos abruptos de temperatura tanto en la productividad como en la calidad del cereal es insuficiente, investigadores del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS) del INTA, ubicado en Leales –Tucumán–, evalúa los efectos que puede tener en genotipos de maíces tropicales y templados.

“En el caso del maíz, el registro de temperaturas superiores a 35 °C, durante el período de floración, puede provocar disminuciones en los rindes”, afirmó Jorge Parrado, especialista en mejoramiento vegetal del IIACS del INTA, y explicó: “Las mermas pueden variar de un 10 hasta un 80 % según el fondo genético de material”.

De acuerdo con Parrado, encontrar cuáles son los caracteres asociados a rendimiento bajo estrés por golpe de calor ayudaría a incrementar la eficiencia en la selección de genotipos tolerantes.

Por un lado, ensayos realizados a campo con materiales del Programa de Mejoramiento de Maíz del INTA Leales y Pergamino le permitieron a Parrado

identificar híbridos y líneas tropicales tolerantes al golpe de calor en período crítico. “Esta identificación es relevante ya que dicha línea podría ser utilizada como donante para generar nuevos híbridos que permitan incrementar los pisos de producción en condiciones limitantes”, aseguró.

Por otro lado, “la caracterización de líneas contrastantes con tolerancia a golpe de calor permitirá iniciar estudios moleculares con el fin de identificar los genes responsables”, analizó Parrado.

Las modificaciones en los patrones de lluvias y en las temperaturas, por un lado, alterarán la productividad de los cultivos y de los rodeos; y, por el otro, aumentarán la presión que ejercen las malezas, plagas y enfermedades.

“Frente a un contexto complejo, es importante enfocar las estrategias a maximizar la selección de genotipos resistentes tanto a estreses bióticos como abióticos, debido a que se convertirán en alternativas más durables y socioambientalmente más amigables”, reflexionó Iglesias.

Más información: Gerardo Cervigni cervigni@cefobi-conicet.gov.ar; Marcelo Ferrer ferrer.marcelo@inta.gov.ar; Jorge Parrado parrado.jorge@inta.gov.ar; Juliana Iglesias iglesias.juliana@inta.gov.ar

MÁS DE 500 AÑOS EN LA TIERRA

Fiebre aftosa: el riesgo sigue vivo para la ganadería

En una unión global, científicos y servicios nacionales de sanidad luchan contra esta enfermedad que, aún sin control en continentes como Asia y África, causa pérdidas drásticas en la actividad ganadera. La Argentina es un modelo de referencia para la erradicación con vacunación, basado en ciencia y en una organizada y rápida acción territorial.

POR DANIELA NOVELLI
FOTOS GENTILEZA SENASA

La fiebre aftosa tiene, al menos, 504 años en la Tierra. La primera mención compatible con la enfermedad fue hecha por un monje en Venecia en 1514 y, más de 380 años después, en 1897, los investigadores Loeffler y Frosch comprobaron que era causada por un agente viral. El hallazgo constituyó la primera descripción de una enfermedad causada por virus en animales y fundó el origen de la virología como disciplina científica.

De igual modo, marcó el nacimiento de institutos de investigación como el INTA que, desde sus inicios en 1956, dedicó esfuerzos para estudiar métodos que permitan detectar el agente, conocer las características del virus, establecer su epidemiología a campo y promover la búsqueda de vacunas que protejan a los

animales. De hecho, uno de las innovaciones más recordadas de la historia del instituto es el desarrollo de la vacuna antiaftosa oleosa polivalente por el científico Scholein Rivenson, cuya formulación permitió extender el efecto inmunológico y sentó un antecedente mundial.

Gracias a los avances en tecnologías de vacunas y diagnóstico y a la implementación de rigurosas estrategias de control sanitario, la Argentina hoy es un país libre de fiebre aftosa con vacunación en la mayor parte del territorio —a excepción de la Patagonia y los Valles de Calingasta en San Juan que tienen el estatus oficial de “libres de fiebre aftosa sin vacunación”—, reconocido por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, según la sigla en inglés).

Si bien esta condición es compartida por muchos países que también pudieron controlar o erradicar la enfermedad, hay vastas extensiones del planeta, principalmente en África y Asia, donde los animales carecen de una cobertura vacunal apropiada y el virus —que no se transmite a humanos— circula libremente hasta alcanzar condiciones endémicas.

Listada por la OIE entre las enfermedades de declaración obligatoria con mayor riesgo sanitario, la fiebre aftosa afecta a especies biunguladas —de pezuña hendida—, tanto domésticas como silvestres. Ante la confirmación de un caso, el servicio de sanidad animal de cada país lo reporta a la OIE, además de suspender el movimiento de ganado en la zona del foco y bloquear las operaciones comerciales.

Uno de los desarrollos más recordados de la historia del INTA es la creación de la vacuna antiaftosa oleosa polivalente por el científico Scholein Rivenson.



Desde su creación en 1956, el INTA llevó adelante investigaciones para conocer las características de la fiebre aftosa.



“Fuera del animal, el virus puede seguir en actividad en el ambiente hasta un mes, en función de las condiciones de humedad y temperatura”
(María Gismondi).

Así, este virus representa un riesgo latente para todos los países —desarrollados y en vías de desarrollo— con actividad ganadera, debido al cierre obligado de los mercados externos luego de su declaración y a las pérdidas en el mercado interno asociadas con la disminución de la producción, el sacrificio y el bloqueo de movimiento de animales. Dada la magnitud, utilizado en contextos bélicos, el virus es considerado un arma de terrorismo biológico.

La virulencia, el amplio rango de huéspedes, la multiplicidad de variantes y la alta capacidad infecciosa y de contagio del virus de la fiebre aftosa explican su presencia y reemergencia en diferentes partes del mundo y lo convierten en un problema sanitario de escala mundial, con consecuencias económicas, sociales y ambientales.

La supervivencia en los genes

La potencia de este antaño súpervirus radica en tres aspectos principales: se transmite con facilidad entre animales susceptibles, incluso a través del aire (vía aerógena); puede modificar su información genética a medida que se multiplica de animal en animal y, de esta manera, generar variantes; y se dispersa rápidamente en el territorio. Dato científico: se estima que puede viajar por el aire hasta 60 kilómetros en regiones continentales y hasta 300 kilómetros en zonas costeras.

De acuerdo con María Gismondi, investigadora del Conicet en el Instituto de Biotecnología del INTA, el virus es altamente variable como consecuencia de que, durante su replicación, se producen

mutaciones genéticas. “De esta forma, consigue adaptarse a sus hospedadores y evade respuestas inmunes previas originadas por la infección con otras cepas o por vacunación que no se ajusta a la cepa infectante”, explicó.

El virus tiene una proteína propia, la ARN polimerasa dependiente de ARN (denominada 3Dpol), que le permite hacer copias de la molécula de ARN que contiene la información genética propia del virus.

“Durante este proceso, la 3Dpol comete errores, es decir, no hace copias ciento por ciento idénticas al molde y eso provoca la generación de nuevas moléculas de ARN viral con algunas mutaciones, que darán origen a los pequeños cambios observados entre las distintas cepas”, argumentó Gismondi. Luego de varios ciclos de replicación, la permanencia de estos cambios indica una mejor capacidad de adaptación del virus a un entorno determinado.

El virus de la fiebre aftosa es sensible a cambios de pH (se inactiva a niveles menores a 6 y mayores a 9) y resulta inestable a temperaturas mayores a 50 °C. “Fuera del animal, puede seguir en actividad en el ambiente hasta un mes, en función de las condiciones de humedad y temperatura”, señaló Gismondi.

La posible persistencia en el ambiente fundamenta la necesidad de interrumpir el movimiento animal en zonas de brote. Por ende, si un camión transporta animales infectados con el virus y luego realiza un viaje con animales sanos, esos animales podrían contagiarse.

De igual modo, si se faena un animal infectado, los productos animales per-

manecen contaminados luego de ese proceso y es motivo de riesgo de transmisión durante el transporte y la comercialización. Por la sensibilidad a altas temperaturas, el virus se inactiva en la carne cocida y desaparece su capacidad de diseminar la enfermedad.

Además de la virulencia de la cepa de virus que actúa, la severidad de los signos clínicos está relacionada con la especie del animal infectado, su edad y el estado inmune del hospedador. No obstante, “se han detectado mutaciones originadas durante la replicación viral que favorecen que un virus se multiplique mejor que otro, o que logre infectar un tipo de animal y no otro”, indicó Gismondi.

Enfermedad todo terreno

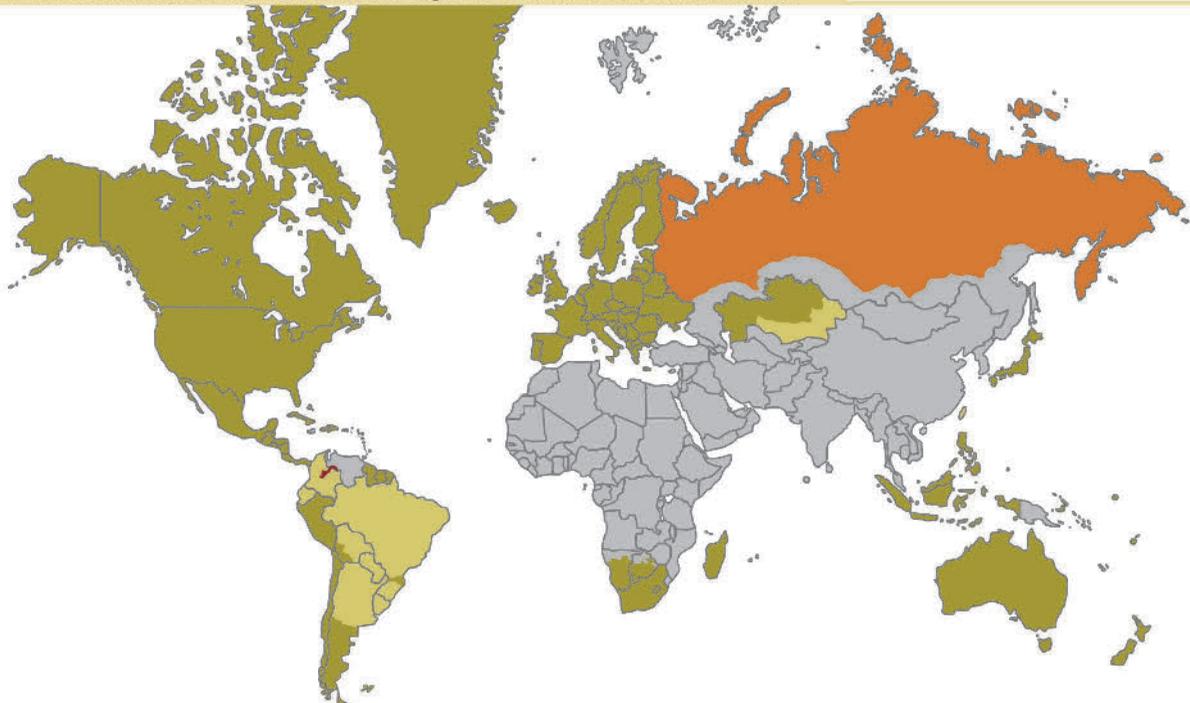
Además de las cualidades genéticas, vitales para la adaptación evolutiva y sobrevivencia, el virus no discrimina hospedadores y puede desarrollarse en animales, domésticos o salvajes, que tengan la pezuña hendida: vacas, cerdos, cabras, ovejas, búfalos, ciervos, antílopes, etc.

Para Mariano Pérez Filgueira, investigador del Instituto de Virología del INTA y designado director científico de la Alianza Internacional para la Investigación de Fiebre Aftosa (GFRA, según la sigla en inglés), “la fiebre aftosa es la enfermedad número uno en relación con el impacto económico negativo que causa pérdidas en miles de millones de pesos, no por la acción directa de provocar mortandad que es escasa, sino por la drástica disminución en los parámetros productivos tanto para carne como para leche”.

En la mayoría de los casos, el virus no provoca la muerte de los animales, sino

Fiebre aftosa en el mundo:

estatus oficial de los países reconocido por la Organización Mundial de Sanidad Animal



Países y zonas libres sin vacunación

Países y zonas libres con vacunación

Área de contención dentro de una zona libre

Suspensión del estado libre

Países y zonas sin información sanitaria oficial

Fuente: Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), julio 2018.

“Nuestro país es un modelo de referencia en el control de la enfermedad con vacunación, muy respetado a escala internacional” (Pérez Filgueira).

que los conduce a un estado febril con el desarrollo de ampollas –técnicamente denominadas vesículas– en la zona oronasal, patas y ubres, que les dificultan el movimiento y les impiden comer. A causa de estos síntomas, pierden peso, no producen leche y quedan expuestos a otras infecciones, debido a la ruptura de las vesículas.

El proceso de la enfermedad comienza resolverse alrededor de una semana después de la aparición de los síntomas. Si bien algunas cepas tienen una letalidad mayor en cerdos y en bovinos jóvenes o débiles inmunológicamente, animales adultos y sanos logran curarse y restituir su condición corporal.

“Un animal puede infectar a decenas de individuos que, a su vez, pueden contagiar a otros animales susceptibles; es una cascada que se multiplica”, aseguró Pérez Filgueira.

Los ruminantes –bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos y cérvidos, entre otros– pueden padecer una infección persistente, por la cual el virus permanece de meses a años en las vías respiratorias. Pese a eso, “estos animales no se consideran de importancia epidemiológica, ya que, excepto en el caso de los búfalos, la

evidencia científica no demostró que individuos infectados persistentemente puedan transmitir el virus a otros individuos susceptibles”, explicó el investigador.

Control en territorio

En la Argentina, el último episodio de fiebre aftosa detectado fue en Corrientes en 2006 y el anterior en 2003 en Tartagal –Salta–, que estuvo precedido por un brote grave de más de 2.000 focos entre 2000 y 2001, surgido un año después de la sanción de un decreto que ordenaba el cese de la vacunación obligatoria.

Por caso, la experiencia y los expertos coinciden en que la vacunación asegura el resguardo de los rodeos, apoyada en un manejo fiscalizado de la hacienda en el territorio. La formulación utilizada en el país contiene cuatro cepas, de las más comunes en el Cono Sur de América, y se suministra en un calendario específico según la zona en rodeos bovinos y bubalinos.

“Ante la denuncia de una sospecha, que puede hacerla el productor o alguien que observe animales con posibles síntomas, el Senasa interviene a través del veterinario local”, describió Rodolfo Bot-



“Si las pruebas confirman la enfermedad, se denuncia el caso ante la OIE y se monta un área de control” (Rodolfo Bottini).

tini, jefe del Programa de Fiebre Aftosa del Senasa. El profesional puede descartar el caso clínico, que el diagnóstico le genere dudas y tome muestras para analizar en el laboratorio o que confirme la enfermedad.

“Si las pruebas confirman la enfermedad, se denuncia el caso ante la OIE y se monta un área de control”, observó Bottini. En principio, se bloquea el movimiento de hacienda en un radio de 13 kilómetros alrededor del establecimiento afectado y también se recomienda que las personas en contacto con la enfermedad eviten acercarse a otras poblaciones susceptibles, ya que, si bien el virus no afecta a humanos, una persona puede aspirarlo y luego excretarlo —puede permanecer vivo hasta una semana en el tracto respiratorio—.

Asimismo, se realiza una investigación epidemiológica para identificar todos los animales que hayan ingresado o egresado de la zona durante los 30 días previos al inicio del foco. En función de eso, se inspeccionan las unidades que registraron movimiento y se inhabilitan para el tránsito animal hasta corroborar que no tienen el virus.

Investigación de rápida reacción

Dada la capacidad evolutiva del virus y la velocidad con que se dispersa, la mejor estrategia es tardar el menor tiempo en diagnosticarlo. En este sentido, si la enfermedad se confirma, los estudios posteriores deben aislar —lo más pronto posible— el virus para identificar la cepa que atacó, determinar si la vacuna utilizada ofrece inmunidad contra la cepa de campo y prever estrategias de vacunación específicas para contener los focos.

Para corroborar si la inmunidad que confiere una vacuna produce protección frente a una cepa de campo —científicamente denominado protección cruzada—, el INTA junto con el Conicet puso a punto una serie de técnicas serológicas que, con buenos resultados en las experimentaciones argentinas, se transfirieron al Laboratorio Mundial de Referencia en Fiebre Aftosa para la OIE en Pirbright, Reino Unido.

Lo mismo se realizó con laboratorios de Sudáfrica y Australia, interesados en esta tecnología que mejora la capacidad predictiva de la serología y reemplaza pruebas costosas que debían realizarse sobre el animal vivo. En la Argentina, el

laboratorio central del Senasa también es designado como Laboratorio de Referencia en Fiebre Aftosa para la OIE.

Alejandra Capozzo, investigadora del Conicet a cargo del Laboratorio de Inmunología Veterinaria Aplicada del Instituto de Virología del INTA, destacó la importancia de los acuerdos de transferencia, debido a que permiten validar el funcionamiento de las técnicas a partir de su empleo en ensayos de protección cruzada con muestras de todo el mundo.

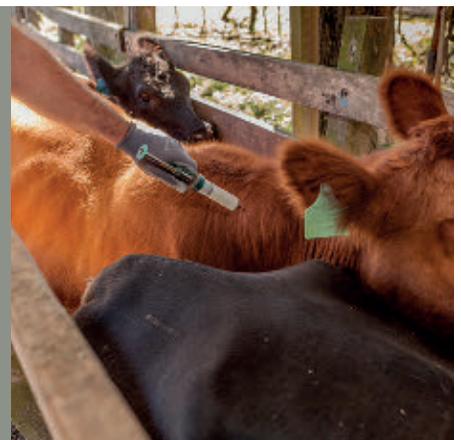
De la articulación del INTA con el Conicet nacieron dos nuevas técnicas in vitro: un test ELISA para medir la avidéz de los anticuerpos específicos y otro que identifica qué variantes de anticuerpos se unen al virus. “Combinadas, estas técnicas, ya validadas en la Argentina con resultados satisfactorios, proveen mucha más información que las técnicas clásicas en relación con la posibilidad de determinar si una cepa vacunal puede proteger contra una nueva variante del virus que surja en el campo”, valoró Capozzo.

“Si nuestras técnicas tienen buenos resultados, podrían ser incorporadas a los manuales de la OIE en el futuro, sobre

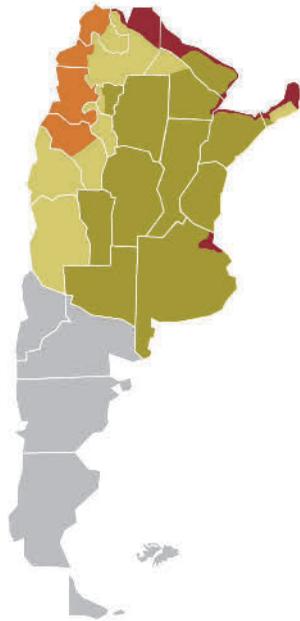
Características del virus

El virus de la fiebre aftosa (FMDV, según sus siglas en inglés) pertenece al género *Aphthovirus*, dentro de la familia *Picornaviridae*. Todos los virus de esta familia están formados por cápsides proteicas —cubiertas que sirven para proteger el material genético y le dan resistencia al virus— con estructura icosaédrica —poliedros de 20 caras—, en cuyo interior está contenido el material genético del virus. En este caso, una única molécula de ARN de simple cadena y polaridad positiva, de aproximadamente 8.200 nucleótidos de longitud.

El virus está clasificado en siete serotipos (A, O, C, Asia1, SAT-1, SAT-2, SAT-3), cuya presencia en el mundo varía según la región geográfica. Dentro de cada serotipo existen subtipos.

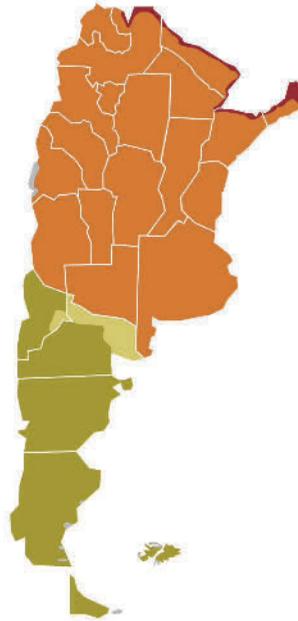


Control de fiebre aftosa: estrategias de vacunación en el país



- Sin vacunación sistemática. Solo vacunación estratégica de animales que se venden o se trasladan fuera de la zona (egresos).
- Dos campañas anuales. De todas las categorías de animales en los establecimientos de riesgo (ER*). Una campaña anual. De todas las categorías de animales en el resto de los establecimientos.
- Dos campañas anuales. De todas las categorías en todos los establecimientos.
- Una campaña anual. De todas las categorías en todos los establecimientos. Una campaña anual. Solo de las categorías menores** en todos los establecimientos.

Estatus sanitario de la Argentina reconocido por la Organización Mundial de Sanidad Animal



- Zona libre con vacunación Cordón Fronterizo
- Zona libre con vacunación Centro Norte
- Zona libre sin vacunación Valles de Calingasta
- Zona libre sin vacunación Patagonia Norte A
- Zona libre sin vacunación Patagonia

Historia de erradicación de la fiebre aftosa en el país: ¿cuándo se detectó el último caso de la enfermedad en cada provincia?



- Zona libre con vacunación
- Zona libre sin vacunación Valle de Calingasta
- Zona libre sin vacunación Patagonia Norte A
- Zona libre sin vacunación Patagonia

* ER: establecimientos con muchos movimientos o cercanos a plantas de faena, lavaderos de camiones, engorde a corral, etc.
 ** Menores: todas las categorías, menos las vacas y los toros.

Fuente: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa)

todo porque son de sencilla aplicación y de utilidad para países con bajos recursos donde el virus es endémico”, señaló la especialista.

Desde el punto de vista de la investigación, Pérez Filgueira celebró la trayectoria y el trabajo articulado entre las instituciones nacionales que conforman el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, así como el reconocimiento que recibe la ciencia del INTA en los circuitos internacionales de investigación en fiebre aftosa.

El instituto forma parte de la Red Interinstitucional de Investigación y Desarrollo en Fiebre Aftosa (RIIDFA), generada luego de la crisis de 2001 a partir de la unión de laboratorios del INTA con otros del Conicet, Senasa y Biogénesis Bagó

SA, única empresa de manufactura de vacunas en pie en ese momento.

De igual modo, el INTA participa en la Alianza Internacional para la Investigación de Fiebre Aftosa (GFRA), que reúne a los laboratorios de investigación de todo el mundo y se dedica al seguimiento de los logros científicos vinculados con el control de la enfermedad.

“Nuestro país es un modelo de referencia en el control de la enfermedad con vacunación, el más importante en Latinoamérica y muy respetado a escala internacional”, apuntó Pérez Filgueira, quien agregó: “La fortaleza de nuestra estrategia contra la fiebre aftosa no sólo radica en el desarrollo técnico-científico, sino en toda la estructura de aplicación de las vacunas, que cuenta con un gran

apoyo y compromiso de los productores, así como de los numerosísimos profesionales veterinarios que llevan adelante cada año las campañas de vacunación obligatorias organizadas por el Senasa”.

En este sentido, Alejandro Schudel, director de la Fundación para la Promoción de la Sanidad Animal y la Seguridad Alimentaria (Prosaia), también destacó los buenos resultados de la estructura sanitaria contra fiebre aftosa de la Argentina y la importancia de la articulación que incorpora, caracterizada por “un fuerte componente de interacción público/privada”.

“Esta estructura podría ser utilizada como base para la implementación efectiva de otros planes de control sanitario, sobre todo para lograr la certificación

La Argentina, un caso de referencia

Más allá de los vaivenes en la política sanitaria, el esfuerzo aunado entre el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria – Senasa–, instituciones científicas –como INTA y Conicet–, laboratorios privados, entidades dedicadas a salud animal y organizaciones internacionales permitió consolidar una estrategia de control sanitario sostenida en el tiempo y en toda la Argentina, que hoy es de referencia en el mundo.

En esta línea, el último foco de 2006 en Corrientes sirvió para sentar un precedente en las estrategias de control. “En aquel momento, Senasa actuó muy rápidamente y no sólo delimitó las zonas de control alrededor del establecimiento, sino que decidió declarar una zona de contención en la superficie que comprendía el departamento donde estaba el foco –San Luis del Palmar– y los siete departamentos que lo rodeaban”, relató Bottini.

Allí, se bloqueó el traslado de ganado y la Argentina se autoexcluyó de exportar carnes y sus derivados con origen en la zona de contención. A excepción de Chile, la medida fue aceptada por la Unión Europea y por la mayor parte de los países compradores de carne argentina.

“Fue una decisión que permitió minimizar el impacto negativo en la balanza comercial del país y sentó un antecedente, ya que se incluyó en Código Sanitario de la OIE como zona de contención”, explicó Bottini, quien remarcó: “Hoy un país que atraviesa una situación similar puede contar con esta estrategia”.

sanitaria de los establecimientos y adecuarlos a las exigencias actuales de la Seguridad Sanitaria de los alimentos, un aspecto fundamental para facilitar el acceso a nuevos mercados en forma transparente y segura”, explicó Schudel.

La erradicación en Sudamérica

Principalmente por no tener un efecto esterilizante en los animales, la vacunación antiaftosa es utilizada como una barrera para arancelarla que condiciona el valor de los commodities y restringe el acceso a mercados.

Esta situación despierta debates internacionales entre países libres de fiebre aftosa con vacunación –reconocidos oficialmente por la OIE– que luchan por ampliar sus zonas sin vacunación y países, sobre todo sus limítrofes o cercanos de la región, que ofrecen resistencia para evitar insurgencias del virus.

América del Norte, América Central y Europa erradicaron la enfermedad hace años y Sudamérica –la Argentina entre los países interesados– quiere ir detrás de los mismos pasos. De hecho, la erradicación continental con el cese de vacunación en América del Sur para el 2020 es la principal meta prevista por el Plan de Acción del Programa Hemisférico de

Erradicación de Fiebre Aftosa (PHEFA), elaborado por Organización Panamericana de la Salud bajo la organización del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa.

Pero los expertos son cautelosos frente a este escenario. “El trabajo sanitario sostenido a lo largo del tiempo ha permitido que hoy el continente esté más cerca de la erradicación de la enfermedad”, reconoció Pérez Filgueira, al tiempo que advirtió: “El cese de la vacunación supone un riesgo para el país –la Argentina ya vivió sus consecuencias– y la región y, por eso, es recomendable que la transición se realice en un proceso gradual y controlado”.

En tanto, Schudel apuntó: “Avanzar hacia esas metas exige una estrecha, firme y transparente participación de los sistemas sanitarios de cada país de la región, y una responsable participación de los organismos regionales e internacionales, a fin de coordinar las acciones sanitarias y consolidar la seguridad sanitaria regional”.

El posible levantamiento de la vacunación en países que buscan obtener el estatus de libre sin vacunación se define a partir de “decisiones que requieren una evaluación objetiva de la conveniencia económica, la factibilidad técnica –Aná-

lisis de Riesgo– y el potencial impacto sanitario que provocará en otros países de la región”, sostuvo Schudel.

En esta línea, argumentó que los países deben disponer de “información epidemiológica transparente y verificable que facilite el análisis en profundidad las posibilidades y riesgos y una efectiva capacidad operativa para implementar medidas de mitigación apropiadas, que permitan conservar una situación sanitaria estable y responder rápidamente ante una eventual reintroducción del virus en la población susceptible”.

“No menos importante es la adecuada comunicación de estos avances potenciales al sector de la producción, uno de los principales protagonistas del accionar productivo/sanitario”, puntualizó Schudel.

De acuerdo con el especialista, “el sector productivo comparte el deseo de cumplimentar las metas del PHEFA, pero este objetivo debería lograrse con una sólida seriedad técnica a fin de evitar futuras consecuencias nefastas como estas recurrentes reemergencias que, en definitiva, afectan la credibilidad y sustentabilidad del sistema”.

En el mundo, los expertos afirman que la erradicación es más improbable: no todos los países tienen recursos suficientes para llevar a cabo programas efectivos y rigurosos de control sanitario –ejemplos son Rusia, África, China y el sudeste asiático–. En esos lugares, la enfermedad es endémica y asegura la reproducción de un virus que, con tal de sobrevivir, muta y se las ingenia para esquivar la inmunidad generada en los huéspedes.

Más información: *María Inés Gismondi* gismondi.maria@inta.gob.ar; *Mariano Pérez Filgueira* perez.mariano@inta.gob.ar; *Rodolfo Bottini* rbottini@senasa.gob.ar; *Alejandra Capozzo* capozzo.alejandra@inta.gob.ar; *Alejandro Schudel* alejandro.schudel@gmail.com

**“Si nuestras técnicas tienen buenos resultados, podrían ser incorporadas a los manuales de la OIE en el futuro”
(Alejandra Capozzo).**

BIOTECNOLOGÍA

“Estamos sujetos al escrutinio permanente de la sociedad”

La frase pertenece a Martín Lema, director de Biotecnología del Ministerio de Agroindustria, quien reflexiona acerca de los debates vigentes en torno a la biotecnología agropecuaria y agroindustrial, pero también sobre el carácter relevante de estos instrumentos para satisfacer la demanda actual y futura de alimentos. Destaca el lugar de la Argentina en la mejora continua del sistema regulatorio.

POR MARIO MIGLIORATI
FOTOGRAFÍA MERCEDES DO EYO

Las nuevas técnicas de mejoramiento que aplican técnicas de biotecnología moderna requieren de marcos regulatorios actualizados, para seguirle el paso a las innovaciones en los productos y métodos para su análisis. Desde los años 90 la Argentina garantiza sus avances y desarrollos tecnológicos en materia agropecuaria ubicándose entre los países líderes en la puesta a punto y utilización de estas nuevas herramientas.

Primero fueron los organismos genéticamente modificados (OGM), para los cuales se creó un sistema regulatorio específico, a fin de que sean seguros para el agroecosistema e inocuos para el consumo humano y animal, y que se acompañó con políticas en materia agrobiotecnológica. Y en los últimos años para el *“gene editing”* o edición de genes.

Estas políticas del Ministerio de Agroindustria involucran a la Dirección de Biotecnología, con un rol destacado en la pre-evaluación de las solicitudes presentadas a la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) con el fin de asegurar la inocuidad y eficacia de los eventos aprobados. Aunque para Martín Lema se trata de algo más. Los “desafíos actuales” involucran incrementar “la accesibilidad de estos produc-

tos a los productores”, especialmente en el caso de aquellos que contribuyen al agregado de valor en origen y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

En este diálogo con Revista RIA, el biotecnólogo y docente de la Universidad Nacional de Quilmes, apunta distintos temas en debate, especialmente aquellos generados en diversos sectores de la sociedad sobre herramientas como los cultivos genéticamente modificados y los agroinsumos biológicos.

El advenimiento de las “tecnologías de ADN recombinante abrió desde hace tiempo un nuevo campo de creación para la biotecnología agrícola”, identifica Lema. Los logros obtenidos, a través de diferentes herramientas, que sirven a ciertas cadenas productivas, se constituyen en “soluciones a problemas y necesidades agroalimentarias y agroindustriales”, argumenta.

La Argentina, como líder mundial en materia de regulación y adopción de cultivos transgénicos, hoy cuenta con aspectos regulatorios para la edición génica aplicada a la agricultura “simples pero sólidos, desarrollados de manera proactiva con el avance de esta tecnología”, reitera Lema en distintos pasajes de la entrevista.

¿Cuáles son los principales hechos que marcan el recorrido de la Dirección de Biotecnología a 10 años de su creación?

En su evolución, la actual dirección se inicia como una instancia de soporte técnico y administrativo de la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), y bajo la denominación de Coordinación Técnica de la CONABIA -en 1991-. En un principio asumió funciones de evaluación preliminar de las solicitudes presentadas, las cuales son posteriormente revisadas en detalle por la CONABIA. Pero, con el correr del tiempo y a la importancia que la biotecnología comienza a cobrar en el país, se crea la Oficina de Biotecnología en 2004. Unos años más tarde, debido a los avances tecnológicos y científicos y el número y variedad de solicitudes presentadas para realizar actividades con OGM, nace la Dirección de Biotecnología.

¿Qué sucede con la formulación de las políticas?

Cuando se comienza a regular la biotecnología agropecuaria en 1991, la secretaria técnica de la CONABIA convocaba a las reuniones, planteaba los



“El *gene editing* diversifica los oferentes de tecnologías y genera una mayor oportunidad a los desarrolladores nacionales”.

debates y elevaba las conclusiones, aunque limitada al rol central de la CONABIA de evaluación y seguridad de los OGM.

La formulación de políticas sobre biotecnología, al principio, no era un tema presente pero después aparece. Al comenzar a usar la tecnología se empieza a considerar aspectos de innovación tecnológica, aquellos vinculados a los mercados agroexportadores y de adopción de políticas que se impulsaban y debatían en foros internacionales entre países. Asimismo, la emergencia de temas socio-políticos eran adoptados por las estructuras de ese momento, pero con un alto grado de dispersión entre los distintos organismos.

Dada la importancia y complejidad que la biotecnología había adquirido, se creó la Oficina de Biotecnología con áreas de bioseguridad, que incorporó técnicos para acompañar el trabajo de base de la CONABIA, de gestión administrativa y de políticas, donde esta última representó un hecho completamente nuevo.

Esto sucedía en momentos en los que se producía, como punto de inflexión, la controversia en la Organización Mundial de Comercio (OMC) referida a la aprobación y comercialización de productos biotecnológicos, entre el panel integrado

por Estados Unidos, Canadá y Argentina contra la Unión Europea. De este modo, se pasa a sostener una política nacional y diferenciarla de la europea, la norteamericana y la canadiense. Los méritos generados llevaron en el 2008 a la creación por decreto de la dirección.

¿Qué espacios se fortalecieron?

Por haber sido primero coordinador de políticas y posteriormente director, fue una decisión profundizar el desarrollo del tema de políticas al incorporar profesionales de las ciencias sociales: sociólogos, expertos en comunicación, politólogos y licenciados en relaciones internacionales. De esta manera, se incrementó la capacidad de la dirección de formular políticas. El trabajo se sostuvo en fortalecer la dirección al ocuparnos de todas las biotecnologías agropecuarias relevantes que surgían, porque hasta ese momento era la “dirección de los OGM”, encuadrada en lo que hasta ese momento había: maíz, soja y algo de algodón.

Nos empezamos a ocupar de las políticas en relación a la introducción de la clonación en la producción pecuaria, de los bioinsumos, es decir, de los microor-

ganismos obtenidos por tecnologías de bioprocesos que se emplean en agricultura; y, actualmente, enfocados en biomateriales a partir de materia agrícola y en tecnologías de edición de genes.

En 2011 se dio inicio a un proceso de revisión permanente en cuanto a los OGM que abarcó la profundización y agilización de los procesos regulatorios en aquellos que no lo eran hasta ese momento. Al generalizar la normativa empiezan a aparecer eventos genéticamente modificados de papa, caña de azúcar, cártamo, alfalfa y otros como trigo que, aunque aún no han sido autorizados, está a la espera.

¿Cuáles han sido los beneficios para las instituciones del sistema científico y tecnológico argentino?

Estos aportes les permiten a instituciones como INTA y CONICET, donde hasta ese momento el trabajo en este tipo de especies vegetales era muy académico, ya que se obtenía, se escribía el paper y, en algunos casos, se hacía un ensayo a campo y concluida la prueba de concepto se pasaba a otro estudio, comenzar a explorar la posibilidad de desregular este tipo de productos.

“Con relación a los procesos regulatorios en productos biotecnológicos, como los OGM y ciertos bioinsumos, los circuitos son claros y están aceptados”.



¿Cuáles son las condiciones para el desarrollo de la agrobiotecnología en el país?

Las condiciones actuales son favorables para que sean aprobados y puestos en el mercado, toda vez que los productos han pasado por las evaluaciones pertinentes. No existen consideraciones arbitrarias o espurias en el medio. Con relación a los procesos regulatorios en productos biotecnológicos, como los OGM y ciertos bioinsumos, los circuitos regulatorios son claros y están aceptados. En otros casos no, pero no es culpa de la administración, sino porque son productos novedosos recién llegados.

La administración actual del Ministerio de Agroindustria trabaja en colaboración con otros ministerios, como el de Producción, en simplificar o esclarecer que existan caminos regulatorios para todo tipo de productos biotecnológicos, que permitan llegar a un análisis científico de si pueden o no ser liberados para ser comercializados en el mercado.

¿Cómo es el acceso a las herramientas de promoción para la agrobiotecnología?

Contamos con iniciativas como el Fondo de Regulación de Productos Biotecnológicos (FONREBIO), una herramienta que dispone el Fondo Tecnológico

Argentino (FONTAR) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, destinado a la desregulación de organismos genéticamente modificados desarrollados en el país por empresas radicadas en la Argentina, como así también de instituciones públicas.

Surgió en el año 2015 a propuesta de esta dirección, tras identificar que muchos desarrollos nacionales no podían cubrir los costos regulatorios de los productos agrobiotecnológicos. Complementariamente, se trabajó para que los requisitos regulatorios sean los necesarios y no excesivos. De todas formas, ciertos estudios científicos para conocer la efectividad y seguridad de los productos que tienen un alto costo son ineludibles. Ya sea por el tamaño de las instituciones o por la forma en que éstas manejaban sus presupuestos, veíamos que muchos desarrollos no llegaban a su comercialización debido a la falta de financiamiento para los gastos regulatorios.

¿Qué lugar asume la Dirección de Biotecnología en el acompañamiento a la CONABIA?

Es importante señalar el lugar de esta comisión interinstitucional e interdisciplinaria cuando llega una solicitud para realizar una actividad con un producto

biotecnológico, ya sea desde un experimento o liberación comercial. En este sentido, la dirección cuenta con un equipo técnico que hace una pre-evaluación de las solicitudes presentadas, las cuales son posteriormente revisadas en detalle por la CONABIA. Se trata de un proceso de evaluación supervisado por la comisión. Una vez completo el dossier de la presentación, la CONABIA le da tratamiento en reunión plenaria y procede, posteriormente, a evaluar si la actividad se puede realizar o no.

Es necesario destacar que la CONABIA es un órgano asesor, de evaluación y de consulta cuya Secretaría Ejecutiva es ejercida por la Dirección de Biotecnología, pero no es autoridad de aplicación. Este rol político lo cumple la Secretaría de Alimentos y Bioeconomía encargada de emitir las autorizaciones para las actividades vinculadas a la biotecnología y a la bioseguridad agropecuaria.

En estos años se han generado debates en la sociedad y posiciones divergentes en el ámbito científico respecto de las actividades vinculadas a la biotecnología y a la bioseguridad agropecuaria. El lugar de la CONABIA ha quedado en el medio de estos debates respecto del rol que le ha tocado ante los OGM ¿De qué manera han permitido revisar aspectos que hacen



“Estos debates obligan a que permanentemente se revisen los procesos para que sean muy sólidos ya que están bajo un escrutinio constante por parte de la sociedad”.

a la gestión política y dar respuestas a la sociedad?

Estos debates obligan a que permanentemente se revisen los procesos para que sean muy sólidos ya que están bajo un escrutinio constante por parte de la sociedad. Y además de esta atención pública, un mismo producto es evaluado en el país y por la Unión Europea, en los Estados Unidos y en más de 50 países. Imagínese que si la Argentina llega a la conclusión que un producto es seguro pero otro país dice que no lo es, sería un problema. Todos los países retienen su soberanía y cada uno hace su evaluación en los OGM. Por lo tanto, la evaluación que hacemos en Argentina para un producto ya fue realizada 10 veces y lo será en otras 20 y, además, ese producto estará sometido a que otros que miran los mismos datos, independientemente de los estudios realizados, lleguen o no a las mismas conclusiones.

Pero, ¿qué sucede con los estudios que alertan sobre productos OGM?

Como hay gente interesada en la seguridad de estos productos, desde el punto de vista académico o desde las universidades se realizan estudios independientes sobre los cuales se puede discutir la calidad o la validez de algunos de ellos. Unos pocos pueden parecer contradictorios con las evaluaciones oficiales, pero cada vez que se publica un estudio, donde se señala que un OGM podría generar riesgos se activa en Argentina, en Brasil, en la Unión Europea y en otros países, un mecanismo por el que las autoridades políticas consultan al regulador acerca de: “¿qué hay de cierto en esto?”, y así explicar lo ocurrido, o, incluso, re-

visar la información. Pero hasta ahora esos estudios anómalos siempre han resultado insustanciales.

¿Qué sucede con la información disponible para su control social sobre los organismos regulados?

En Argentina, la información de la evaluación de la CONABIA, al igual que como sucede en otros países con sus organismos reguladores, es puesta a disposición del público para recibir comentarios. Estamos sujetos al escrutinio permanente de la sociedad. Esto nos ha llevado a mejorar procesos mayormente en función de las críticas externas sobre aspectos formales. Por suerte, nunca hemos tenido que retirar un producto del mercado porque las evaluaciones siempre fueron bien hechas.

Esto queda ratificado en que la CONABIA es Centro de Referencia Internacional para la bioseguridad de los OGM por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Surge preguntar si, frente a nuevos avances, la dirección regula tecnologías o productos...

Esto hay que analizarlo para cada producto biotecnológico, no es lo mismo mirar la regulación de un OGM, un bioinsumo o un clon. Si nos referimos a los OGM, la Argentina utiliza la definición del Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología. Allí se señala que un OGM es un organismo obtenido por biotecnología moderna, lo cual quiere decir que hubo ADN recombinante involucrado en el proceso y, además, que

tiene una nueva combinación de material genético. Entonces, esta definición es de producto y de proceso.

Una normativa estrictamente de producto es la de Canadá, que regula los cultivos de acuerdo a la denominación “*Novel Traits*” -nueva característica-. Si un cultivo tiene una nueva característica tiene que tener un escrutinio especial. Por ejemplo, si se lleva a ese país una colza resistente a herbicidas, es un nuevo “*Trait*” independientemente de si es mutante o transgénica; asimismo, la segunda colza con las mismas características no es novedosa. Lo que hace que sea un sistema netamente de producto.

Los OGM de interés agropecuario, especialmente los vegetales, aún hoy generan visiones y tensiones entre distintos sectores de la sociedad a favor o en contra de la aplicación de la biotecnología ¿Qué sucede con tecnologías como CRISPR -o “tijeras génicas”- que abren nuevos horizontes y también nuevos debates, por ahora, contenidas en las revistas científicas del ámbito de la medicina?

La edición génica, donde entra CRISPR, se reconoce en un conjunto más amplio que los reguladores de biotecnología denominamos como “nuevas técnicas de

“Todos los países retienen su soberanía y cada uno hace su evaluación en los OGM”.



“Si nos referimos a los OGM, la Argentina utiliza la definición del Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología”.

mejoramiento” -NBT, según la sigla en inglés-. ¿Qué tienen en común las NBT?, que usan ADN recombinante, biotecnología moderna, pero que puede o no haber una nueva combinación de material genético en el producto.

Entonces, ¿consideran lo mismo un producto de “gene editing” que uno por mutagénesis química o radiación ionizante?

Lo que hacemos es analizar los productos de estas nuevas tecnologías y establecer si son OGM en función de la definición regulatoria. La normativa argentina no dice: “son o no son”, respecto de las tecnologías. Sino que cada producto debe presentarse ante la CONABIA y, dependiendo de cómo lo hayan hecho, puede ser un OGM o no. Si no lo es, es un mutante inducido. Es decir, tal como en las plantas en las cuales utilizando mutagénesis química o radiación ionizante se generó un daño en el ADN de manera puntual que luego fue corregido por la propia maquinaria de reparación de la célula generando una

mutación. En el *gene editing* ese daño puntual en el ADN lo hace una enzima. Desde la década del 30 comemos mutantes donde el daño fue generado al usar un mutágeno químico o radiaciones ionizantes. Algunos productos de *gene editing* son considerados mutantes de igual forma que si se los hubiera hecho con estas tecnologías. En tal sentido, si hay una determinación acerca de que no es un OGM, la planta tiene que ir a la Comisión Nacional de Semillas (CONASE) que es el regulador de las nuevas variedades convencionales.

¿Qué podemos esperar y cuál es la posición del ministerio en *gene editing*, dado que hay investigaciones en curso en el ámbito animal y vegetal en el país?

Hay proyectos *gene editing*. Al analizar las estadísticas de las presentaciones hechas por institutos y empresas nacionales, multinacionales y PyMEs de países desarrollados, vemos que hay una gran mayoría que corresponde a desarrollos nacionales, una minoría de multinacionales, y una tercera parte responde a PyMEs extranjeras. Si se considera el universo de los OGM, nos encontramos con la situación inversa, mayoría de multinacionales y alguna participación nacional.

El *gene editing* diversifica los oferentes de tecnologías y genera una mayor oportunidad a los desarrolladores nacionales. La aprobación de OGM en la última década en el país está estable en alrededor de 4 eventos por año.

¿Qué pasa con los productos de *gene editing*?

Arrancamos en 2015 con la norma y en 2016 con las primeras consultas. Hoy se encuentra en ascenso y ya superó el número de presentaciones de OGM. Si se considera a quienes se acercan a consultar, podemos decir que continuará su crecimiento.

Cuando no genera un OGM, es una enorme oportunidad para que haya mayores desarrolladores involucrados. Es decir, genera no solo ventajas desde la innovación sino desde la producción, ya que los productores van a tener más oferentes de productos en distintas tecnologías. Una mayor diversificación de organismos y de *Traits*.

Por último, ¿qué importancia tuvo el MACS G20 y la reunión de ministros en el tema de edición génica?

Fueron muy auspiciosas las declaraciones del MACS G20 y de ministros de Agricultura del G20 porque incluyeron a las nuevas tecnologías y la edición génica en particular. Se valorizó directamente la investigación en biotecnología con mención directa al *gene editing*, al reconocer que en todos los países integrantes del foro hay una enorme inversión en investigación que no debería ser desperdiciada aplicando regulaciones excesivas.

Más información: *Martin Lema*
mlema@magyp.gob.ar

Biotécnicas reproductivas en la especie porcina: pasado, presente y futuro

MARINONE, A.I.¹; KAISER, G.²; HOZBOR, F.²; MUCCI, N.²

RESUMEN

Argentina posee condiciones agroecológicas y sanitarias ideales para la producción de cerdos. Hasta 1990, la producción porcina en Argentina era realizada como actividad secundaria dentro de la explotación agropecuaria. Sin embargo, a partir del 2005 el número de cabezas porcinas comenzó a aumentar alcanzado los 3 millones, y creció sostenidamente llegando actualmente a los 4,9 millones de cabezas. Además de ser importante desde el punto de vista productivo, la especie porcina también es considerada como modelo esencial en distintos tipos de investigaciones biomédicas, y como potencial donante de órganos para humanos. El interés combinado en la biotecnología porcina, tanto por el campo biomédico como por la industria porcina, incrementa la necesidad de un mayor desarrollo de nuevas tecnologías, así como de un aumento en la mejora e implementación de las ya existentes. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de las principales biotécnicas reproductivas *in vitro* aplicadas en la especie porcina, así como también de las nuevas metodologías de edición génica, las cuales pueden ser utilizadas no solo para el mejoramiento productivo y genético de esta especie, sino también para investigaciones relacionadas con el modelo de enfermedades humanas y xenotrasplantes.

Palabras clave: porcino, biotecnología, reproducción, *in vitro*, edición génica.

ABSTRACT

*Argentina has ideal agro-ecological and sanitary conditions for pig breeding. Until 1990, porcine production was carried out as a secondary activity within the agricultural fields. However, in 2005 the number of pigs began to increase and reached 3 million heads. Currently the porcine stock in Argentina is represented by 4.9 million heads. In addition to being important from a productive point of view, the porcine species are also essential biological models for different types of biomedical research and as potential donor of organs for humans. The combined interest in porcine biotechnology, both in the biomedical field and in the pig industry, increases the need for further development of new technologies as well as an increase in the improvement and implementation of the already existing ones. The objective of this work is to make a review of the main *in vitro* reproductive biotechnologies applied in pigs, as well as of the new gene editing tools, which can be used not only for the production and genetic improvement of this species, but also for researches related to the human disease modeling and xenotransplantation.*

Keywords: porcine, biotechnology, reproduction, *in vitro*, gene editing.

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Laboratorio de Biotecnología de la Reproducción, Balcarce, Ruta 226 km 73,5 (7620), Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: marinone.anaines@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Laboratorio de Biotecnología de la Reproducción, Balcarce, Ruta 226 km 73,5 (7620), Buenos Aires, Argentina.

PRODUCCIÓN PORCINA EN ARGENTINA

Nuestro país se caracteriza por su amplia disponibilidad de superficie terrestre y por poseer condiciones agroecológicas propicias que le permiten ser un gran productor de cereales y oleaginosas. En la producción porcina argentina, el rubro alimentación impacta en el costo de producción entre el 60% y el 80%, valores similares a los demás países productores del mundo. Sin embargo, la mayoría de los ellos son altamente dependientes de la importación de granos y los costos de mano de obra son superiores, posicionando a la Argentina como uno de los países de menor costo en la producción de cerdos. A su vez, nuestro país se ve beneficiado debido a que se encuentra libre del Síndrome Respiratorio y Reproductivo Porcino (PRSS), enfermedad presente en los principales países productores y exportadores de cerdo y causal de significativas pérdidas económicas en la producción primaria de esta especie. Sumado a esto, contamos con tecnología disponible, genética de primer nivel y profesionales capacitados y especializados en producción porcina (Papotto, 2006).

Hasta 1990 la producción de cerdos en Argentina era realizada como actividad secundaria dentro de la explotación agropecuaria, principalmente realizada por pequeños productores localizados en zonas donde el cultivo de maíz (principal insumo) era preponderante. En la década de 1990 hubo una fuerte incorporación tecnológica, de la mano de inversiones del orden de los 120 millones de dólares, principalmente en granjas de alta productividad. Sin embargo, la rentabilidad productiva fue nula, debido principalmente al tipo de cambio fijo y la fuerte competencia de carne porcina y subproductos provenientes desde el exterior, principalmente de Brasil. Esto contribuyó a que, durante esa década, el stock porcino se redujera a la mitad, pasando de 4 a 2 millones de cabezas. Luego de la salida de la convertibilidad en 2002, se vislumbró una clara recuperación de la actividad porcina. A partir de 2005, el stock comenzó a recuperarse alcanzando los 3 millones de cabezas, los cuales se mantuvieron constantes hasta 2010. Desde 2010 en adelante el stock creció a una tasa del 8% interanual, alcanzando en 2016, los 4,9 millones de cabezas y una cantidad de madres en estrato comercial que alcanza a 949.825 cabezas. Una de las razones de este crecimiento fue el incremento del consumo de la carne de cerdo en el mercado interno. Con respecto a la distribución del stock nacional por provincia, más del 63% de la población de porcinos se concentra en la región Centro; principalmente en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016).

En cuanto a los sistemas de producción, el sector vivió en los últimos años un proceso de transformación. Si bien los sistemas de producción de pequeña y mediana escala productiva (10 a 200 madres) son los que prevalecen en el país, se ha producido un importante aumento en el número de productores que a partir de estratos de 100 madres han confinado parte o totalmente sus animales, convirtiéndose en empresas tecnificadas de mayor eficiencia productiva. También se ha observado en estos últimos años la instalación de megaempresas con un alto grado de tecnificación

e índices productivos equiparables a los sistemas más eficientes a nivel mundial (Brunori, 2014).

Los cerdos, además de ser animales importantes desde el punto de vista productivo, también son considerados modelos biológicos esenciales en distintos tipos de investigaciones biomédicas (Kirk, 2003; Prather *et al.*, 2003; Kues y Niemann, 2004; Vodicka *et al.*, 2005; Lunney, 2007; Swindle, 2007; Vajta *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2015). Debido a los avances tecnológicos en modificaciones genéticas y clonación mediante la transferencia de células somáticas (SCNT), el rango de aplicaciones de los modelos porcinos se ha incrementado marcadamente (Cabot *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2001; Dai *et al.*, 2002; Lai *et al.*, 2002; Phelps *et al.*, 2003; Kolber-Simonds *et al.*, 2004; Matsunari *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2015).

La escasez de órganos humanos para realizar trasplante y el aumento en su demanda han motivado en los últimos años un interés particular por el desarrollo de líneas de investigación relacionadas con el trasplante de órganos entre especies distintas (xenotrasplantes), señalándose en particular al cerdo como potencial donante para humanos (Klymiuk *et al.*, 2010; Flisiokowska *et al.*, 2013). Los cerdos representan un modelo biológico de elección en medicina humana debido a que existen muchas similitudes entre ambas especies, tanto en tamaño corporal, anatomía, dieta y sus respuestas fisiológicas y fisiopatológicas. Además, ofrecen la posibilidad de ser criados bajo las más altas normas de higiene y, debido a su alta fertilidad y prolificidad, pueden producir un gran número de descendientes. (Niemann y Rath, 2001).

El interés combinado en la biotecnología porcina, tanto por el campo biomédico como por la industria porcina *per se* incrementa la necesidad de un mayor desarrollo de nuevas tecnologías, así como de un aumento de mejora e implementación de las ya existentes.

Las biotécnicas reproductivas *in vitro* disponibles en la especie porcina son la producción *in vitro* de embriones por fecundación *in vitro* (FIV), inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) y clonación por transferencia nuclear de células somáticas (SNCT). El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de las principales biotécnicas reproductivas *in vitro* aplicadas en la especie porcina, las que sumadas a herramientas de edición génica constituyen las bases para el mejoramiento productivo y genético de esta especie, y para investigaciones relacionadas con el modelo de enfermedades humanas y xenotrasplantes.

PRODUCCIÓN *IN VITRO* DE EMBRIONES

La producción *in vitro* (PIV) de embriones porcinos ha sido de particular interés para los investigadores durante muchos años (Gil *et al.*, 2010). Este proceso incluye tres etapas tecnológicas que, en orden cronológico, son: (1) la maduración *in vitro* (MIV) de ovocitos inmaduros obtenidos de ovarios derivados de mataderos, (2) fecundación *in vitro* (FIV) de ovocitos madurados y (3) cultivo *in vitro* (CIV) de cigotos. Estos tres pasos comprenden un conjunto complejo de pro-

cesos fisiológicos, en el que cada uno condiciona *per se* el éxito o el fracaso de la siguiente etapa (Yoshioka, 2011).

El éxito de la PIV a gran escala de embriones porcinos puede proporcionar embriones viables de manera más eficiente, con menos costo y en menor tiempo en comparación con la recolección quirúrgica de embriones obtenidos *in vivo* de cerdas. Además, dado que los ovarios porcinos contienen grandes cantidades de folículos (Gruppen *et al.*, 1995), podrían proporcionar un gran número de ovocitos y posteriormente embriones viables. La producción de un gran número de embriones puede beneficiar a la investigación en distintas áreas, como el estudio de los factores que controlan el desarrollo embrionario temprano, y que inciden en alta tasa de mortalidad embrionaria temprana en esta especie. Debido a que esto último ocasiona grandes pérdidas económicas (Día, 2000), el resultado de estas investigaciones podría generar un aumento de la eficiencia y de la producción de carne (Day, 2000, Gil *et al.*, 2010).

Aunque se han logrado avances en las técnicas de PIV embriones en la especie porcina, el uso de embriones porcinos producidos *in vitro* es limitado en sistemas de producción comercial por lo que su aplicación no ha producido grandes cambios en términos económicos y técnicos (Nagai *et al.*, 2006; Gajda, 2009; Dang-Nguyen *et al.*, 2011; Yoshioka, 2011; Zhang *et al.*, 2012). Los embriones producidos *in vitro* sufren una alta tasa de pérdida durante el desarrollo temprano, ya que aproximadamente el 10-15% de estos se detienen en mitosis en la etapa de 2 a 4 células (Jeon *et al.*, 2011). Al igual que en otras especies, los embriones PIV de porcino son generalmente menos viables que sus contrapartes producidas *in vivo* (Dang-Nguyen *et al.*, 2011; Yoshioka, 2011). Las tasas de desarrollo de blastocistos PIV oscilan entre el 6-7% y el 20-30%, dependiendo de los laboratorios y las condiciones de cultivo (Nagai *et al.*, 2006; Isom *et al.*, 2012). A su vez, el número total de células por embrión producido *in vitro* es inferior al obtenido *in vivo* a igual edad (58-139 vs. 150-250, Gajda y Smorag, 2004). La transferencia de embriones PIV estaría acompañada de anomalías en el desarrollo, tales como aumento de la mortalidad embrionaria, gestación prolongada y mayor peso corporal de la prole (Gajda, 2009).

Los cerdos son generalmente sacrificados a los 6 o 7 meses de edad para que los productores cumplan con las demandas del mercado. Por lo tanto, los ovarios de matadero se recolectan generalmente de cerdas prepúberes que todavía no han experimentado ciclos estrales regulares. Archibong *et al.* (1992) mostraron que la calidad inherente de los ovocitos aumenta a medida que las cerdas pasan de su primer a tercer estro, debido a que la supervivencia de los embriones luego de la transferencia de las cerdas donantes de primer estro fue menor que la de las cerdas de tercer estro.

De acuerdo con los hallazgos en otras especies, la calidad de los ovocitos aumenta con el aumento del tamaño del folículo antral (Marcha *et al.*, 2002; Bagg *et al.*, 2007), y los ovocitos de los adultos son superiores en calidad en comparación con los ovocitos de los animales prepúberes

(Marcha *et al.*, 2001; Gruppen *et al.*, 2003; Sherrer *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta esta última información, podría pensarse que la baja eficiencia de los sistemas PIV en esta especie se encuentren influenciados fuertemente por el tipo de material utilizado, como se ha comprobado en, por ejemplo, los bovinos (Aston *et al.*, 2006).

MADURACIÓN *IN VITRO* DE OVOCITOS PORCINOS

La maduración del ovocito (tanto nuclear como citoplasmática) hace referencia a todos los cambios nucleares, citoplasmáticos que sufre el ovocito con el fin de prepararse para ser fecundado con éxito y desarrollar posteriormente un embrión viable.

Los ovocitos, al momento de ser extraídos de los folículos ováricos se encuentran en un estado fisiológico nuclear y citoplasmático denominado inmaduro, que no permite su desarrollo luego de ser fecundados. El objetivo de la MIV es lograr que los ovocitos, obtenidos en general a partir de ovarios de matadero, lleguen a la etapa de metafase II (M-II) u ovocito "maduro" para que puedan ser fecundados *in vitro* (FIV).

La maduración nuclear comienza tras la reanudación de la meiosis, una vez que el ovocito es separado físicamente del folículo, y su finalización se alcanza cuando el ovocito completa la primera división meiótica, se forma el primer cuerpo polar (1CP) y la meiosis se detiene en metafase II (Hunter, 1988).

La maduración citoplasmática, en cambio, es un término más amplio que abarca una serie de acontecimientos no directamente relacionados con la progresión de la meiosis, pero que preparan al ovocito para la fecundación y el desarrollo embrionario posteriores (Abeydeera, 2002). Una vez alcanzada la maduración nuclear, las mitocondrias migran para situarse en una posición perinuclear (Thibault *et al.*, 1987; Cran, 1985; Moor *et al.*, 1990). Los gránulos corticales (GC), compuestos por glicoproteínas y enzimas hidrolíticas, migran hacia la periferia del ovocito, aumentando de número al final del periodo de maduración (Cran, 1985), y se sitúan debajo de la membrana plasmática formando una monocapa (Crang y Cheng, 1986); este proceso se considera fundamental para el bloqueo de la polispermia.

Se han utilizado diversos tipos de medios de cultivo para la maduración de ovocitos porcinos, incluyendo North Carolina State University (NCSU, Petters y Wells 1993), medio de cultivo de tejidos modificado (TCM) -199 y medio Tyrode modificado que contiene lactato y piruvato (TLP) (Yoshida *et al.*, 1993). Estos medios suelen contener suero fetal bovino (SFB) y fluido folicular porcino (FFp).

La maduración y la capacidad de desarrollo de los ovocitos porcinos están influenciadas por la presencia de FFp en el medio y el tamaño del folículo de donde se obtiene el FFp (Naito *et al.*, 1988; Huang *et al.*, 2002; Budiyanto *et al.*, 2013). Estudios previos indican que la adición de 10% de FFp obtenido de folículos grandes mejora la penetración espermática, la fecundación normal y promueve la madu-

ración nuclear y citoplasmática de los ovocitos (Naito *et al.*, 1988, Yoshida *et al.*, 1990, 1992, Funahashi y Day, 1997). Además, estudios más recientes demuestran que el FFP también protege al ovocito del estrés oxidativo durante la MIV (Tatemoto *et al.*, 2004)

Además de SFB y FFP, otros suplementos también se adicionan para ayudar a los ovocitos a estar listos para la fecundación en términos de maduración nuclear y citoplasmática. La utilización de hormonas y factores de crecimiento en el medio de maduración ha mostrado efectos positivos en la progresión meiótica, entre otros los más utilizados son la hormona luteinizante (LH), la hormona estimulante del folículo (FSH) (Mattioli *et al.*, 1991), el factor de crecimiento transformador (TGF), la androstenediona (Singh *et al.*, 1995), la gonadotropina sérica de yegua preñada (PMSG), la gonadotropina coriónica humana (hCG) (Funahashi y Day 1997, Funahashi *et al.*, 1997), el factor de crecimiento similar a la insulina I (IGF-I) (Illera *et al.*, 1998) y el estradiol-17 (Funahashi y Day 1997; Bing *et al.*, 2001).

Las células del *cumulus oophorus*, las cuales se encuentran íntimamente relacionadas con el ovocito a través de la zona pelúcida, son esenciales para la nutrición de este y la transmisión de señales intra y extrafoliculares. También desempeñan un papel importante en el control de la maduración nuclear por el mantenimiento del bloqueo meiótico en la etapa de metafase I (revisado en Tanghe *et al.*, 2002). Además, las células del *cumulus oophorus* protegen los ovocitos contra la apoptosis inducida por el estrés oxidativo (Tatemoto *et al.*, 2000) y reducen la fragmentación del ADN en los ovocitos (Wongsrikeao *et al.*, 2005). De allí la importancia de que los ovocitos porcinos que ingresan dentro de una rutina de maduración *in vitro* deban poseer células de granulosa para poder madurar. En nuestros trabajos de puesta a punto de la técnica hemos observado que los ovocitos porcinos presentan cumulus muy frágiles, por lo cual la presión durante la aspiración de los folículos debe ser mínima para obtener ovocitos que sean aptos para madurar.

La maduración nuclear y citoplasmática no necesariamente ocurren en forma sincronizada. Con el fin de coordinar ambos procesos y mejorar por ende la competencia de desarrollo de los ovocitos, se han suplementado los medios de MIV con inhibidores de la quinasa dependientes del ciclo celular como la butirolactona-1 (Wu *et al.*, 2002) y la roscovitina (Romar y Funahashi, 2005), inhibidores de la síntesis proteica como la cicloheximida (Ye *et al.*, 2005), y dibutilil adenosina monofosfato cíclico (cAMP) (Funahashi *et al.*, 1997; Somfai *et al.*, 2003). La suplementación de los medios con estas drogas tiene como objetivo retrasar la maduración nuclear y de esta forma lograr una sincronización con la maduración del citoplasma. Sin embargo, solo con la cicloheximida y dibutilil cAMP se logró mejorar el desarrollo de los ovocitos al estadio de blastocistos (Funahashi *et al.*, 1997; Somfai *et al.*, 2003; Ye *et al.*, 2005). En un trabajo realizado por Funahashi *et al.*, 1997, la suplementación con dibutilil cAMP en el MIV durante las primeras 20 h de cultivo mejoró significativamente la tasa de desarrollo de blastocistos luego de la FIV ($21,5 \pm 2,5\%$) en compara-

ción con los controles ($9,2 \pm 1,6\%$). En otro trabajo (Ye *et al.*, 2005), en el cual el medio de MIV fue suplementado con cicloheximida se observó que el índice de formación de blastocistos mejoró también significativamente ($32,8\% \pm 2,0\%$ versus $16,7\%$) en comparación con los no tratados. Aproximadamente el 10-30% de los ovocitos no alcanzan la etapa de metafase II al final de la MIV. La mayoría de los ovocitos incompetentes de cerdo se detienen en una etapa inmadura que se caracteriza por cromosomas metafásicos y la falta de formación del primer cuerpo polar (1CP) (revisado en Kikuchi *et al.*, 2009). En este sentido, se ha demostrado que ovocitos que no alcanzan la M-II pueden ser fecundados, aunque resultan en embriones con ploidía anormal (Somfai *et al.*, 2005).

Se sugiere que la maduración citoplasmática de ovocitos porcinos se podría mejorar mediante la reducción del estrés oxidativo causado por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), las que producen un ambiente de maduración *in vitro* inadecuado (Tatemoto *et al.*, 2000, 2001). Las vías metabólicas mediadas por antioxidantes, como el glutatión reducido (GSH), controlan los niveles celulares de especies reactivas de oxígeno (ROS) y protegen al ovocito contra los efectos perjudiciales del estrés oxidativo. El contenido de GSH del ovocito puede aumentarse mediante la suplementación con compuestos de tiol tales como cisteína (Yoshida *et al.*, 1993), cisteamina, glutamina, β -mercaptoetanol o fluido folicular al medio de MIV (Jeong y Yang 2001). También se encontró que la suplementación del medio MIV con FFP favorece la distribución normal de las mitocondrias durante la maduración y este proceso se asoció con una mayor competencia de desarrollo embrionario después de la activación partenogénica (Brevini *et al.*, 2005).

FECUNDACIÓN IN VITRO DE OVOCITOS PORCINOS

El principal problema encontrado en la FIV de los ovocitos porcinos es la alta incidencia de poliespermia (ovocitos con más de 1 pronúcleo masculino). Esta última podría ser causada por condiciones inadecuadas de maduración o fecundación (Niwa 1993) que generan una falla ovocitaria en el mecanismo de bloqueo de la entrada de espermatozoides. De acuerdo con Wang *et al.* (1999), la poliespermia *in vitro* podría deberse a un retraso en el establecimiento de la reacción de la ZP (la cual se traduce en un "endurecimiento" de esta) unido a la penetración simultánea de los espermatozoides, por lo que al incrementarse el número de espermatozoides en las cercanías del ovocito, se aumenta la probabilidad de penetraciones simultáneas.

La fecundación y las tasas de monospermia en la FIV porcina dependen en gran medida de la concentración de espermatozoides y del tiempo de cocultivo de las gametas (Nagai, 1996), lo cual requiere un ajuste óptimo de estos factores para el logro de una tasa de penetración controlada. Existen informes sobre laboratorios que incuban las gametas durante aproximadamente 6 h (Abeydeera y Day, 1997; Funahashi *et al.*, 1997; Yoshioka *et al.*, 2003). Sin embargo, Kikuchi *et al.* (2006) encontraron que la incuba-

ción con espermatozoides durante 6 h duplica el número promedio de espermatozoides por ovocito en comparación con 3 h, lo que conduce a una mayor poliespermia, mientras que la formación de pronúcleos no mejora significativamente. Cuando se aplicaron períodos de cocultivo de menos de 3 h, las tasas de penetración y poliespermia no se vieron afectadas, y la eficiencia global de la PIV de embriones “normales” no fue mejorada (Gil *et al.*, 2004). Recientemente (datos aún no publicados) en nuestro laboratorio fueron comparados dos tiempos de coincubación de gametas, 3 horas contra 5 horas. Los resultados obtenidos indicaron que la tasa de división y formación de blastocistos fue similar entre ambos tratamientos, lo que indicó que el porcentaje de ovocitos polispermicos fue mayor para el tratamiento de 5 horas de coincubación. A partir de estos datos, concluimos que 3 horas de coincubación de ovocitos y espermatozoides es el tiempo óptimo para la obtención de embriones porcinos capaces de desarrollar normalmente.

Antes de la inducción de la capacitación de los espermatozoides para la FIV, estos son lavados y centrifugados para separarlos del plasma seminal (Nagai *et al.*, 1988; Cheng *et al.*, 1986; Abeydeera *et al.*, 1997). Los espermatozoides de cerdo resisten una alta fuerza (2400 g) durante un tiempo relativamente corto de centrifugación (3 minutos) (Carvajal *et al.*, 2004). Los espermatozoides porcinos han sido tratados mayoritariamente por centrifugación en gradiente de Percoll (de Vries y Colenbrander, 1990; Horan *et al.*, 1991; Petrunkina *et al.*, 2003; Guthrie y Welch, 2007; Yeste *et al.*, 2009) ya que este procedimiento resulta en mayores índices de penetración *in vitro* (Matas *et al.*, 2011; Caballero *et al.*, 2004; Matas *et al.*, 2003) e incrementa las tasas de división (Grant *et al.*, 1994) y de formación de blastocistos (Jeong *et al.*, 2001). A su vez, para adquirir su capacidad fecundante (la capacitación espermática y la reacción acrosomal) los espermatozoides porcinos necesitan calcio extracelular (Fraser, 1995), por lo cual es de suma importancia que los medios de FIV incluyan este elemento en sus formulaciones en forma de sales que permitan hacerlo disponible para los eventos fisiológicos mencionados.

La FIV se lleva a cabo utilizando alguno de los siguientes medios: TCM199 (Nagai y Moor 1990, Yoshida *et al.*, 1990); Brackett y Oliphant (BO) (Kikuchi *et al.*, 1993, Wang *et al.*, 1995; Funahashi *et al.*, 2000); medio de bicarbonato de Krebs - Ringer (Naito *et al.*, 1988); medio tamponado con Tris modificado (Abeydeera y Day 1997); medio de fecundación de cerdos (PigFM) (Suzuki *et al.*, 2002); o medio gamético porcino (PGM) (Yoshioka *et al.*, 2003).

En cuanto a los aditivos, muchas moléculas específicas se han utilizado como suplementos a los medios de FIV. Entre los suplementos clásicos utilizados se encuentran las metilxantinas (como la cafeína y la teofilina) que son inhibidores de la fosfodiesterasa, lo que resulta en un aumento de cAMP intracelular (Casillas *et al.*, 1970). Tanto la cafeína como la teofilina se utilizan para inducir la capacitación de los espermatozoides. La cafeína además estimula la reacción acrosomal (Funahashi *et al.*, 2000a; Funahashi *et al.*, 2000b), lo que resulta en la inducción de poliespermia (Funahashi *et al.*, 2001). Una coincubación transitoria, en

la que los ovocitos denuclados son cocultivados con espermatozoides en medio que contiene cafeína durante 5 a 30 minutos y luego en medio libre de cafeína, reduce la incidencia de penetración polispermica en un 40% (Funahashi *et al.*, 2004).

Otros aditivos utilizados con una función biológica conocida *in vivo* son las glicosidasas, proteasas séricas, factores de crecimiento, aminoácidos y proteínas. Un trabajo reciente (Romero-Aguirre y Gómez Corta *et al.*, 2015) que utiliza medio TALP modificado (mTALP) suplementado con α -fucosidasa (una glicosidasa que compone el fluido oviductal) exógena demostró aumentar el porcentaje de penetración en un 30%, duplicar el número de espermatozoides unidos a la ZP, y así disminuir la poliespermia. Con respecto a las proteasas séricas, se ha observado que la utilización de plasminógeno en los medios de FIV contribuye a la regulación de la entrada del espermatozoide al ovocito, separando más del 50% de los espermatozoides unidos a la zona pelúcida activa (Coy *et al.*, 2012).

También se ha demostrado que el ácido lisofosfatídico (LPA) actúa en forma similar a un factor de crecimiento en un amplio número de células animales. La adición de LPA en una concentración de 10 mM durante 6 h al medio de fecundación aumentó la proporción de ovocitos penetrados por espermatozoides en un 10% y la tasa de monospermia en un 5% (Zhang *et al.*, 2015). Pese a estos resultados, el mecanismo por el cual el LPA reduce la frecuencia de la poliespermia sigue siendo poco claro.

En cuanto a los aminoácidos, Tareq *et al.* (2013) han estudiado recientemente los efectos sobre la FIV realizada durante 6 horas cuando se suplementa mTALP con diversas combinaciones de dipéptidos. La adición de 2 mM de L-alanil-L-glutamina y 2 mM de L-glicil-L-glutamina mejoró significativamente la fecundación en un 10% y la monospermia en un 30% en comparación con los ovocitos fecundados en mTALP sin dipéptidos.

También se ha comprobado que la albumina sérica bovina (BSA) y la cafeína son importantes moduladores de la penetración espermática (Abeydeera y Day 1997).

Una estrategia utilizada para aumentar la incidencia de monospermia sin disminuir la tasa de penetración de espermatozoides, es la incubación de ovocitos en un medio con un 10% o 30% de fluido oviductal porcino antes de la fecundación (Kim *et al.*, 1996). La incubación de los espermatozoides durante 2,5 h en cultivo de células oviductales antes de la fecundación reduce la tasa de poliespermia al 40-50% (Nagai y Moor 1990). Se ha visto que el cocultivo de ovocitos con células epiteliales oviductales también resulta en un mayor porcentaje de ovocitos monospermicos (Kano *et al.*, 1994). Esto indica que los espermatozoides porcinos necesitan interactuar con las células de oviducto para poder capacitarse y seleccionarse para llevar a cabo una fecundación adecuada. Si bien estos procedimientos podrían llevarse a cabo en el laboratorio, la disponibilidad de células en cultivo para cada una de los procedimientos de fecundación *in vitro* lo hacen poco viable desde el punto de vista práctico.

CULTIVO *IN VITRO* DE EMBRIONES

Los procedimientos de MIV y FIV tienen una eficiencia de aproximadamente 35% de formación de blastocistos sobre el total de los ovocitos inmaduros, con resultados repetibles. Sin embargo, se sabe que los ovocitos fecundados con más de un pronúcleo masculino forman blastocistos en porcentajes similares a aquellos normalmente fecundados (Han *et al.*, 1999a). Aunque el desarrollo del embrión hasta el estadio de blastocisto es posible en el cultivo, la prueba definitiva de la viabilidad embrionaria es establecer preñeces y animales nacidos vivos después de la transferencia a hembras receptoras.

En las cerdas la colecta de embriones *in vivo* se realiza el día 6 del ciclo (día 0= comienzo del estro) y de manera quirúrgica, bajo anestesia general. Los embriones se transfieren a una receptora también de manera quirúrgica con resultados que varían entre el 60-80% de preñez posttransferencia (Polge, 1982; Wallenhorst y Holtz, 1999) o mediante una técnica no quirúrgica desarrollada más recientemente con la cual se obtuvo una tasa de preñez posttransferencia del 70% (Martinez *et al.*, 2014).

En el caso de embriones producidos *in vitro*, estos se transfieren en el día 5 o 6 postfecundación, en estadios de blastocistos o blastocistos expandidos (Mito *et al.*, 2015). Se han logrado diversos grados de éxito en términos de preñeces y nacidos vivos después de la transferencia de embriones producidos *in vitro* al oviducto/útero de las cerdas receptoras (Day *et al.*, 2000, Marchal *et al.*, 2001). De acuerdo a estos resultados, solo el 20 al 30% de los embriones transferidos sobreviven a pesar de las mejoras considerables en las técnicas de IVP.

Se han observado distintas diferencias morfológicas entre los embriones *in vitro* e *in vivo* (Wang *et al.*, 1999). Los blastómeros bien definidos y masa celular interna prominente son evidentes en embriones recuperados *in vivo* en etapa temprana. Según Papaioannou y Ebert (1988), el número de células de blastocistos producidos *in vitro* es menor que sus homólogos *in vivo*. Wang *et al.* (1999) señalan que, la división anormal y el bajo número de células en los blastocistos producidos *in vitro* se deben a defectos en la distribución de los filamentos de actina dentro del citoplasma. La insuficiente maduración citoplasmática de los ovocitos madurados *in vitro* y las condiciones subóptimas de cultivo de embriones pueden ser responsables de la mala calidad del embrión.

En general, los blastocistos producidos *in vitro* presentan altas tasas de fragmentación del ADN y células apoptóticas. Los embriones producidos *in vitro* se caracterizan por un mayor número de núcleos que exhiben fragmentación del ADN (Bryla *et al.*, 2009), y mayor presentación de anomalías cromosómicas (MacLauley *et al.*, 2003; Ulloa Ulloa *et al.*, 2008). Además, tienen tasas inferiores de división y desarrollo asincrónico de pronúcleos en comparación con embriones obtenidos *in vivo* (Laurincik *et al.*, 1994).

Los medios capaces de sobrellevar el desarrollo de embriones porcinos más comúnmente utilizados incluyen el

medio de Whitten (Menino *et al.*, 1982), el medio bicarbonato de Ringer de Krebs modificado (Krisher *et al.*, 1989), el medio NCSU-23 (Petters *et al.*, 1993), el medio de cultivo de embriones de Beltsville-3 (Dobrinsky *et al.*, 1996) y el medio de cigoto porcino (PZM) (Yoshioka *et al.*, 2002).

Dos estudios compararon la efectividad de los diferentes medios de cultivo disponibles, concluyendo que el medio NCSU-23 fue superior en términos de desarrollo a la fase blastocisto (Petters *et al.*, 1993; Long *et al.*, 1999). Se consideró que las diferencias en la presencia y abundancia de glucosa, piruvato y lactato eran la causa principal de la diferencia observada entre los medios. En un trabajo realizado por Peters *et al.* (1991) se observó que la suplementación del medio NCSU-23 con taurina e hipotaurina mejoró el desarrollo temprano de embriones porcinos recuperados *in vivo* en el estadio de 2 células hasta el estadio de blastocisto (Petters *et al.*, 1993). Los medios suplementados con taurina e hipotaurina tuvieron una producción de blastocistos de 80% (Hipotaurina), 67% (Taurina) y 93% (Taurina e Hipotaurina) los cuales difirieron del medio sin suplementar, que tuvo un 45% de blastocistos (Petters *et al.*, 1993).

El estudio de los requerimientos del embrión porcino durante su desarrollo es de suma importancia, ya que permite adecuar los medios de cultivo de acuerdo con las necesidades nutricionales y energéticas para cada etapa de desarrollo embrionario, y de esta manera mejorar la tasa de formación de blastocistos. Los requerimientos energéticos y nutricionales de los embriones están asociados con modificaciones bioquímicas y morfológicas que sufren conforme avanza el desarrollo, incluyendo la activación de genes específicos, la compactación de las mórulas y la formación y expansión de blastocistos. Varios informes han identificado al piruvato, al lactato y a la glucosa como nutrientes esenciales e importantes fuentes de energía para los embriones tempranos de mamíferos (Brinster 1974, Brown y Whittingham, 1992). La evidencia sugiere que la adición de piruvato y lactato a medios de cultivo embrionario durante la etapa de división temprana de los embriones porcinos es beneficiosa para el desarrollo de blastocistos *in vitro* (Karja *et al.*, 2006). Por el contrario, las altas concentraciones de glucosa durante la fase de división inicial son perjudiciales para el desarrollo embrionario en hámster (Schini y Bavister, 1988), ratones (Chatot *et al.*, 1989), humanos (Conaghan *et al.*, 1993), bovinos (Takahashi y First, 1992) y porcinos (Flood y Wiebold, 1988), causando en esta última especie estrés oxidativo en la activación de los genes cigóticos o dificultad para superar el bloqueo de 4 células (Ankrah y Appiah-Opong, 1999; Medvedev *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta lo anterior, cambiar la composición del medio de cultivo después de 2 días para simular las condiciones cambiantes que se producen *in vivo* parece una justificación válida. Sin embargo, otros investigadores han descrito la eficacia de un medio de cultivo de un solo paso, el medio de cigoto porcino (PZM) (Yoshioka *et al.*, 2002), cuya composición se basa en la concentración de elementos inorgánicos y sustratos energéticos encontrados en oviductos porcinos (Iritani *et al.*, 1974; Nichol *et al.*, 2004). Las distintas formulaciones de los medios PZM, a

diferencia del NCSU-23, contienen lactato y piruvato como fuente energética en lugar de glucosa, e hipotaurina en lugar de taurina. A partir del cultivo *in vitro* de embriones en los medios PZM-4 y PZM-5 durante 5 días se logró el nacimiento de lechones luego de la transferencia a receptoras (Yoshioka *et al.*, 2002; Yoshioka *et al.*, 2003; Yoshioka *et al.*, 2012). Se ha confirmado la mejor producción de embriones con PZM comparado con otros medios de cultivo de embriones porcinos en las distintas técnicas de obtención de embriones *in vitro*, incluyendo FIV, partenogénesis y clonación por SCNT (Transferencia nuclear de células somáticas) (Yoshioka *et al.*, 2002; Im *et al.*, 2004; Nanassy *et al.*, 2008). Los medios PZM 4 y 5 son capaces de generar mayor cantidad y calidad de blastocistos, al mismo tiempo que resulta práctica su implementación ya que no es necesario cambiar el medio o suplementarlo durante la fase de cultivo embrionario.

INYECCIÓN INTRACITOPASMÁTICA DE ESPERMATOZOIDES (ICSI)

En los cerdos, la inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) se considera una técnica con potencial para producir descendientes vivos a partir de espermatozoides no móviles y para prevenir la polispermia, que se produce con frecuencia en la fecundación *in vitro*. Sin embargo, la eficiencia de la producción *in vitro* de embriones por ICSI y la calidad de los embriones son todavía inferiores a la de la FIV convencional (Nakai *et al.*, 2014).

El procedimiento más comúnmente utilizado para la ICSI en porcinos incluye la inmovilización de un espermatozoide, su aspiración en una pipeta de inyección y su posterior introducción en el citoplasma de un ovocito. En este procedimiento, la inmovilización de espermatozoides y la disrupción de la membrana plasmática del espermatozoide antes de la inyección se consideran críticas para la fecundación exitosa, porque son beneficiosas para el manejo del espermatozoide y para la liberación de factores solubles del espermatozoide que se cree que inducen la activación de ovocitos (Svalander *et al.*, 1995; Vanderzwalmen *et al.*, 1996; Dozortsev *et al.*, 1997).

En la ICSI, los espermatozoides pueden ser inmovilizados de forma mecánica por diferentes técnicas (Bourne *et al.*, 1995; Dozortsev *et al.*, 1998; Pope *et al.*, 1998; Martin, 2000; Wu *et al.*, 2001; Horiuchi *et al.*, 2002). Existen laboratorios que utilizan polivinilpirrolidona (PVP) para retrasar el movimiento de los espermatozoides y para facilitar la ruptura de la cola de esperma a pesar de sus efectos perjudiciales sobre la supervivencia y el desarrollo de los ovocitos inyectados (Tesarik *et al.*, 1994; Feichtinger *et al.*, 1995). A pesar de que es perjudicial para la eficiencia del sistema, por cuestiones técnicas es necesario inmovilizar los espermatozoides, por lo que este último es el método más adoptado.

Una de las razones del escaso desarrollo embrionario observado después de la ICSI en la especie porcina es el fracaso de la formación de pronúcleo (PN) masculino (Lee

et al., 2003). Si bien el PN femenino se forma en ovocitos porcinos inyectados con espermatozoides, en muchos casos, la cabeza del espermatozoide no se descondensa (Kren *et al.*, 2003) lo que resulta en el fracaso de la formación del PN masculino y la subsecuente singamia. Sin embargo, el hecho de obtener ovocitos fecundados normalmente mostrando dos cuerpos polares y dos PN después de ICSI tampoco garantiza el desarrollo embrionario a la fase de blastocisto (Yong *et al.*, 2005). Incluso después de una fecundación normal, la proporción de embriones ICSI que se desarrollan hasta la etapa de blastocisto es baja. Según una revisión realizada por García Rosello *et al.* (2009), la tasa de fecundación (formación de dos pronúcleos) por ICSI en cerdos varía alrededor del 60%. Sin embargo, la formación de blastocistos ronda el 10% sobre la cantidad de ovocitos divididos.

Otro factor para tener en cuenta es que el momento de la primera división tiene un efecto importante sobre el desarrollo embrionario temprano (Comizzoli *et al.*, 2000; Leoni *et al.*, 2006). Los embriones producidos por ICSI muestran retraso en la división, lo que se refleja en un desarrollo embrionario alterado (Nakai *et al.*, 2014).

Un método modificado para ICSI fue desarrollado por Yong *et al.* (2005) por medio del cual se daña mecánicamente la membrana de la cabeza del espermatozoide y se aspira el espermatozoide en la aguja de inyección ya sea por la cabeza o por la cola. Mediante este método y en comparación con la ICSI convencional, las tasas de supervivencia, división y desarrollo embrionario al estadio de blastocisto fueron significativamente mayores en la ICSI modificada (71,7, 60,6 y 17,5%) en comparación con la ICSI convencional (48,1, 48,7 y 10,5%).

A partir de estos resultados se puede inferir que la ICSI es una técnica que requiere de un entrenamiento y equipamiento especial, y que su empleo es justificado en el caso de querer obtener animales genéticamente modificados, cuando existen problemas de motilidad espermática, cuando se quiere obtener descendencia de un animal que murió recientemente, o cuando se emplea semen liofilizado.

TRANSFERENCIA DE CÉLULAS SOMÁTICAS (SCNT)

Al igual que en el resto de las especies, la clonación fue pensada en principio con fines de mejoramiento genético. Sin embargo, poco a poco su aplicación se vio orientada a la generación, preservación y multiplicación de animales de alto valor obtenidos por métodos de ingeniería genética. Más recientemente, la aplicación potencial de esta técnica es la de crear modelos de enfermedades humanas y para proporcionar órganos para el xenotrasplante.

Los primeros lechones producidos por SCNT se lograron tanto con ovocitos madurados *in vivo* (Onishi *et al.*, 2000; Polajeva *et al.*, 2000) como con ovocitos madurados *in vitro* (Betthausen *et al.*, 2000). Desde entonces, el número de lechones clonados producidos ha aumentado constantemente, pero todavía esta técnica presenta una eficiencia global muy baja (revisado en Vajta *et al.*, 2007), manteniéndose

dose en 1-2% de embriones desarrollados a término en relación con los ovocitos utilizados (Colman, 2000). Esta baja eficiencia podría estar dada por una variedad de factores, entre los que se incluyen la fuente y calidad de ovocitos, los protocolos utilizados en cada laboratorio, el tipo y estadio de células donantes y la falta de reprogramación adecuada del núcleo trasplantado. El desarrollo normal de un embrión resulta de la expresión secuencial de un conjunto de genes. Se cree que la regulación de la expresión génica es el resultado de diferentes factores que se asocian con el ADN. Estas asociaciones modifican la estructura tridimensional del ADN (estado epigenético), haciendo que los genes individuales sean más o menos propensos a someterse a la transcripción. Durante la fecundación, el ovocito regula el estado epigenético del ADN derivado de la madre y el padre para iniciar adecuadamente el desarrollo temprano (Lee y Prather, 2013). Durante la SCNT, el ovocito reprograma el ADN de un núcleo donante que contiene información genética materna y paterna cambiando su estado somático a estado embrionario. Este cambio se debe a la combinación única de factores presentes en el ovocito. Se sabe que es posible llevar a cabo con éxito este cambio. Sin embargo, el proceso no es muy eficiente ya que solo alrededor del 1% de los embriones de SCNT se desarrollan hasta convertirse en un nacimiento normal. Esto se debe a que los factores de reprogramación en el ovocito no están diseñados para manejar el estado epigenético de las células somáticas. Por lo tanto, esta reprogramación del ADN de la célula donante por parte de los ovocitos resulta en una transición incompleta, causando así en un gran número de oportunidades un desarrollo anormal después del proceso de clonación (revisado por Whitworth y Prather, 2010).

Los patrones anormales de metilación del ADN se observan en el embrión antes de la implantación y posimplantación, así como también en el recién nacido. Las marcas epigenéticas anormales, como fallas en la metilación del ADN, podrían ser la principal razón para la baja eficiencia después de SCNT, ya que la metilación del ADN es uno de los mecanismos intrínsecos de regulación de la expresión génica (Lee y Prather, 2013).

Aunque estos defectos epigenéticos se detectan en clones, su progenie no suele mostrar ningún signo de anomalías (revisado en Prather *et al.*, 2004) ya que estos cambios son de expresión de los genes, no de la estructura del ADN. Esto indica que durante el desarrollo de las células germinales (espermatozoides u ovocitos) en los clones, la remodelación epigenética es adecuada y los espermatozoides u ovocitos que producen son normales.

Los patrones aberrantes de metilación del ADN no solo se encuentran en embriones y clones derivados de SCNT, sino también en embriones producidos por FIV (Bonk *et al.*, 2008). Una posible razón de esta anomalía se debe a las condiciones de cultivo *in vitro*. Se sabe que las condiciones de cultivo *in vitro* afectan al estado epigenético de los embriones y, por lo tanto, pueden dar como resultado un desarrollo anormal. Por lo tanto, además de una mejor comprensión de la remodelación epigenética que debe ocurrir en el momento de la transferencia nuclear, las mejoras en

el sistema de cultivo de embriones también son necesarias para aumentar la eficiencia de SCNT.

GENERACIÓN DE CERDOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS PARA MEJORAR SU CAPACIDAD PRODUCTIVA, COMO MODELO DE ENFERMEDADES Y TRASPLANTE DE ÓRGANOS A HUMANOS

Las nuevas técnicas de modificación del genoma, combinadas con las biotécnicas reproductivas *in vitro* anteriormente mencionadas, podrían utilizarse para incorporar o bloquear genes de interés. De esta forma se podrían lograr cerdos con mayor capacidad o calidad productiva y sanitaria, modelos para el estudio de enfermedades humanas con base genética, y utilizar a la especie porcina como donantes de órganos para humanos.

Aunque con técnicas de modificación genética más antiguas y menos eficientes, se han logrado obtener cerdos con una mayor capacidad de crecimiento y desarrollo y la obtención de líneas con alta resistencia a enfermedades. En general estas modificaciones consisten en la introducción de un gen de otra especie (transgen) en el ADN de embriones. De esta manera se obtuvo el primer cerdo genéticamente modificado, el cual fue generado hace más de 3 décadas con propósitos productivos, sobreexpresando hormona de crecimiento humana (Hammer *et al.*, 1985). A partir de entonces, numerosos grupos de investigación han generado diversos tipos de modelos experimentales. Uno de los más importantes es el denominado Enviropig. Estos cerdos presentan glándulas salivales modificadas genéticamente, que les ayudan a digerir el fósforo en el alimento, eliminando la necesidad de suplementos adicionales o enzimas en la alimentación, y reduciendo al mismo tiempo la contaminación por este elemento en el medioambiente. Luego de este desarrollo, investigadores de la Universidad de Guelph crearon la línea de cerdos "Cassie" con el propósito de permitir que el gen pueda ser transferido a muchas generaciones de una manera más estable (Meidingen *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista sanitario, un grupo de investigadores recientemente informó la obtención de cerdos resistentes al virus del Síndrome Respiratorio y Reproductivo Porcino (PRRS). Este virus es causante de grandes pérdidas económicas, generando en los animales infectados problemas reproductivos, disminución de peso y alta tasa de mortalidad, sin haberse logrado aún ninguna vacuna efectiva. El receptor CD163 hallado en macrófagos resulta ser la vía de entrada del virus a estas células. Mediante edición génica mediada por CRISPRs han podido anular la expresión de este receptor y así, la entrada del virus a los macrófagos, obteniendo cerdos resistentes para esta enfermedad (Burkad *et al.*, 2017). Estas metodologías de edición génica permiten cortar segmentos específicos del genoma de un individuo, pudiendo anularse la expresión de genes e incluso introducirse en estos cortes nuevos genes para lograr de esta manera individuos transgénicos. Dentro de las metodologías de edición génica se encuentran los zinc fingers, TALENs y los ya nombrados CRISPRs.

Como se describió anteriormente el cerdo es considerado el biomodelo de elección para el estudio de enfermedades humanas con base genética. Así, en los últimos años se han desarrollado modificaciones genéticas en cerdos con el propósito de entender la causa y generar blancos posibles de tratamiento de un gran número de enfermedades. Entre las más importantes pueden mencionarse la enfermedad Huntington, Alzheimer, atrofia muscular espinal, enfermedades cardiovasculares ligadas a desórdenes enzimáticos, diabetes, retinitis pigmentosa, distrofia muscular y cáncer de mama (Prather *et al.*, 2013; Holm *et al.*, 2017).

Si bien el porcino como potencial donante de órganos al humano posee numerosas ventajas, la principal limitante es el rechazo inmunológico de tipo "hiperagudo". Este tipo de mecanismo se ha documentado solo luego del trasplante de un órgano porcino a un receptor primate (Yang y Sykes, 2007; Le Bas-Bernardet *et al.*, 2008; D'Apice y Cowan, 2009). Una posible solución para el rechazo a injertos de origen porcino es modificar genéticamente los cerdos para permitir que sus órganos no sean reconocidos como extraños cuando se trasplantan a seres humanos. Hasta ahora, se han establecido muchas líneas de cerdos genéticamente modificadas o transgénicas con el objetivo de superar los diversos mecanismos de rechazo de xenoinjertos de cerdo a primate (Ekser *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2013; Reyes *et al.*, 2014).

Existen estrategias de modificación genética que facilitan la adaptación de los cerdos como donantes para el trasplante de órganos. Los cerdos modificados genéticamente a los que se les eliminó el antígeno alfa-1,3-Gal (Lai *et al.*, 2002), principal elemento responsable del inicio del rechazo hiperagudo, se consideran la base para nuevas modificaciones genéticas que pueden abordar otros mecanismos de rechazo e incompatibilidades entre los sistemas de coagulación de sangre porcina y de primate. Estas modificaciones incluyen la regulación de la expresión de proteínas reguladoras del complemento humano, CD39, receptor de la proteína C endotelial, hemo oxigenasa 1, trombomodulina, inhibidor de la vía del factor tisular, así como moduladores del sistema inmune celular tal como ligando inductor de la apoptosis relacionada con el TNF alfa humano, HLA-E / beta-2-microglobulina, y CTLA-4lg (Klymiuk *et al.*, 2010).

Mediante técnicas de biología molecular se ha determinado que ciertos genes son responsables directos o indirectos del desarrollo de determinados órganos en mamíferos superiores. Por un lado, trabajos efectuados en embriones de ratón mostraron que un Knockout (anulado artificial de un gen) del gen Pdx1 genera un animal sin páncreas (Offield *et al.*, 1996), un Knockout de Sal1 genera ratones sin riñones (Nishinakamara *et al.*, 2001), un Knockout de Runx1 produce muerte embrionaria por carencia de hematopoyesis y, un Knockout de Nkx 2-5 genera severos retardos en el desarrollo cardíaco. Por otro lado, la complementación embrionaria es una técnica que permite la generación de embriones y animales con linajes celulares de más de un origen. Desde el año 1993, cuando fue informada por primera vez (Chen *et al.*, 1993) se la ha utilizado con distintos propósitos y hoy constituye la base

sobre la que se apoyan los principales trabajos de investigación que buscan generar órganos humanos en cerdos.

A través de la generación de Knockouts específicos, es posible anular un linaje celular y de este modo prevenir su contribución en la formación de un órgano o tejido. Al mismo tiempo, los factores extrínsecos necesarios para que las células se diferencien en ese órgano o tejido permanecen invariables. De este modo, podría considerarse que queda un "hueco" o "nicho" en donde podrían colocarse células para promocionar su diferenciación hacia el órgano o tejido faltante. Es aquí donde la complementación embrionaria juega un rol preponderante ya que si a estos embriones modificados genéticamente, a los que se les anula el gen responsable del desarrollo de un órgano específico, se le inyectase células pluripotentes de otro, el origen celular del órgano que surja corresponderá a estas últimas células y no al animal que lo contiene. Así, en 2007, un grupo de investigadores inyectaron células pluripotentes de ratón en embriones de la misma especie a los cuales por edición génica se les había anulado el gen Pdx1 logrando obtener crías con epitelio pancreático proveniente de las células complementadas (Stanger *et al.*, 2007).

Recientemente, existen trabajos que han demostrado que pueden generarse quimeras humano-cerdo. Estos animales fueron obtenidos inyectando células madre pluripotentes inducidas (hiPSCs) en blastocistos porcinos, una estrategia que ha sido eficiente en generar órganos casi totalmente xenogénicos en ratones y ratas (Kobayashi *et al.*, 2010; Yamaguchi *et al.*, 2017).

CONCLUSIÓN

Podemos concluir que el cerdo representa una especie muy importante tanto desde el punto de vista productivo como biomédico y que el uso de todas las biotécnicas reproductivas sumadas a las herramientas de edición génica actualmente disponibles, constituyen la base para el mejoramiento genético. Este último puede aplicarse tanto para maximizar la productividad de esta especie en cuanto a calidad y cantidad de carne como para generar animales para el estudio de enfermedades en humanos o potencial fuente de órganos para trasplante.

BIBLIOGRAFÍA

- ABEYDEERA, L.R.; DAY, B.N. 1997a. Fertilization and subsequent development in vitro of pig oocytes inseminated in a modified Tris-buffered medium with frozen-thawed ejaculated spermatozoa. *Biol. Reprod.* 57: 729-734,
- ABEYDEERA, L.R.; Day, B.N. 1997b. In vitro penetration of pig oocytes in a modified Tris- buffered medium: effect of BSA, caffeine and calcium. *Theriogenology*; 48: 537-544.
- ABEYDEERA, L.R.; DAY, B.N. 1997. Fertilization and subsequent development in vitro of pig oocytes inseminated in a modified tris-buffered medium with frozen-thawed ejaculated spermatozoa. *Biology of Reproduction* 57, 729-734.
- ABEYDEERA, L.R. 2002. In vitro production of embryos in swine. *Theriogenology*; 57: 257-273.

- ANKRAH, N.A.; APPIAH-OPONG, R. 1999. Toxicity of low levels of methylglyoxal: depletion of blood glutathione and adverse effect on glucose tolerance in mice. *Toxicol. Lett.* 109, 61-67. doi:10.1016/S0378-4274(99)00114-9
- ARCHIBONG, A.E.; MAURER, R.R.; ENGLAND, D.C.; STORMSHAK, F. 1992. Influence of sexual maturity of donor on in vivo survival of transferred porcine embryos. *Biol Reprod.* 47:1026-30.
- BAGG, M.A.; NOTTLE, M.B.; ARMSTRONG, D.T.; GRUPEN, C.G. 2007. Relationship between follicle size and oocyte developmental competence in prepubertal and adult pigs. *Reprod Fertil Dev.* 19:797-803.
- BETHHAUSER, J.; FORSBERG, E.; AUGENSTEIN, M.; CHILDS, L.; EILERTSEN, K.; ENOS, J.; FORSYTHE, T.; GOLUEKE, P.; JURGELLA, G.; KOPPANG, R. 2000. Production of cloned pigs from in vitro systems. *Nat. Biotech.* 18:1055-1059.
- BING, Y.Z.; NAGA, T.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, H. 2001. Effects of cysteamine, fsh and estradiol-17beta on in vitro maturation of porcine oocytes. *Theriogenology.* Mar 1;55(4):867-76.
- BONK, A.J.; LI, R.; LAI, L.; HAO, Y.; LIU, Z.; SAMUEL, M.; FERGASON, E.A.; WHITWORTH, K.M.; MURPHY, C.N.; ANTONIOU, E.; PRATHER, R.S. 2008. Aberrant DNA methylation in porcine in vitro-, parthenogenetic-, and somatic cell nuclear transfer produced blastocysts. *Mol. Reprod. Dev.* 75:250-264.
- BOURNE, H.; RICHINGS, N.; LIU, D.Y.; CLARKE, G.N.; HARARI, O.; BAKER, H.W. 1995. Sperm preparation for intracytoplasmic injection: methods and relationship to fertilization results. *Reprod. Fertil. Dev.*, 7, 177-183.
- BREVINI, T.A.; VASSENA, R.; FRANCISCI, C.; GANDOLFI, F. 2005. Role of adenosine triphosphate, active mitochondria, and microtubules in the acquisition of developmental competence of parthenogenetically activated pig oocytes. *Biology of Reproduction* 72, 1218-1223.
- BRINSTER, R.L. 1974. Embryo development. *J. Anim. Sci.* 38, 1003-1012.
- BROWN, J.J.G.; WHITTINGHAM, D.G. 1992. The dynamic provision of different energy substrates improves development of one-cell randombred mouse embryos in vitro. *J. Reprod. Fertil.* 95, 503-511. doi:10.1530/JRF.0.0950503
- BRUNORI, J.C. 2014. Producción de cerdos en Argentina: situación, oportunidades, desafíos. (Disponible: <http://www.elsitioporci.com/> verificado: febrero 2018).
- BRYLA, M.; TRZCINSKA, M.; WIECZOREC, J. 2009. Analysis of in vivo- and in vitro-derived pig expanded blastocysts based on DNA fragmentation. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 27, 59-68.
- BUDIYANTO, A.; TAKESHIGE, O.; DAI-ICHIRO, F.; SHOICHIRO, S.; AKIRA, O.; TAKASHI, N. 2013. In Vitro Fertilization and Development of Porcine Oocytes Matured in Follicular Fluid. *Journal of Reproduction and Development*, Vol. 59, N.º 2.
- BURKARD, C.; LILLICO, S.G.; REID, E.; JACKSON, B.; MILEHAM, A.J.; AIT-ALI, T. 2017. Precision engineering for PRRSV resistance in pigs: Macrophages from genome edited pigs lacking CD163 SRCR5 domain are fully resistant to both PRRSV genotypes while maintaining biological function. *PLoS Pathog* 13(2): e1006206. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006206>
- CABALLERO, I.; VÁZQUEZ, J.M.; GIL, M.A.; CALVETE, J.J.; ROCA, J.; SANZ, L. 2004. Does seminal plasma PSP-I/PSP-II spermadhesin modulate the ability of boar spermatozoa to penetrate homologous oocytes in vitro? *J Androl*; 25:1004-12.
- CABOT, R.A.; KÜHHOLZER, B.; CHAN, A.W.; LAI, L.; PARK, K.W.; CHONG, K.Y.; SCHATTEEN, G.; MURPHY, C.N.; ABEYDEERA, L.R.; DAY, B.N.; PRATHER, R.S. 2001. Transgenic pigs produced using in vitro matured oocytes infected with a retroviral vector. *Anim Biotechnol*; 12: 205-214.
- CARVAJAL, G.; CUELLO, C.; RUIZ, M.; VÁZQUEZ, J.M.; MARTÍNEZ, E.A.; ROCA, J. 2004. Effects of centrifugation before freezing on boar sperm cryosurvival. *J. Androl.* 25:389-96.
- CASILLAS, E.R.; HOSKINS, D.D. 1970. Activation of monkey spermatozoal adenylyl cyclase by thyroxine and triiodothyronine. *Biochem Biophys Res Commun.* 40:255-62.
- CHATOT, C.L.; ZIOMEK, C.A.; BAVISTER, B.D.; LEWIS, J.L.; TORRES, I. 1989. An improved culture medium supports development of randombred 1-cell mouse embryos in vitro. *J. Reprod. Fertil.* 86, 679-688. doi:10.1530/JRF.0.0860679
- CHENG, WTK.; Polge, C.; Moor, R.M. 1986. In vitro fertilization of pig and sheep oocytes. *Theriogenology* 25:146.
- CHEN, J.; LANSFORD, R.; STEWART, V.; YOUNG, F.; ALT, F.W. 1993. RAG-2- deficient blastocyst complementation: an assay of gene function in lymphocyte development. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90, 4528-4532.
- COLMAN, A. 2000. Somatic cell nuclear transfer in mammals: Progress and applications. *Cloning* 1, 185-200.
- CONAGHAN, J.; HANDYSIDE, A.H.; WINSTON, R.M.; LEESE, H.J. 1993. Effects of pyruvate and glucose on the development of human preimplantation embryos in vitro. *J. Reprod. Fertil.* 99, 87-95. doi:10.1530/JRF.0.0990087
- COMIZZOLI, P.; MARQUANT-LE GUIENNE, B.; HEYMAN, Y.; RENARD, J.P. 2000. Onset of the first S-phase is determined by a paternal effect during the G1-phase in bovine zygotes. *Biol Reprod*; 62: 1677-1684. [Medline] [CrossRef].
- COY, P.; JIMÉNEZ-MOVILLA, M.; GARCÍA-VÁZQUEZ, F.A.; MONDÉJAR, I.; GRULLÓN, L.; ROMAR, R. 2012. Oocytes use plasminogen-plasmin system to remove supernumerary spermatozoa. *Hum. Reprod.* 27:1985-93.
- CRAN, D.G. 1985. Qualitative and quantitative structural changes during pig oocyte maturation. *J. Reprod. Fertil.* 74: 237-245.
- CRAN, D.G.; CHENG, W.T.K. 1986. The cortical reaction in pig oocytes during in vivo and in vitro fertilization. *Gamete Res.* 13: 241-251.
- DAI, Y.; VAUGHT, T.D.; BOONE, J.; CHEN, S.H.; PHELPS, C.J.; BALL, S.; MONAHAN, J.A.; JOBST, P.M.; MCCREATH, K.J.; LAMBORN, A.E.; COWELL-LUCERO, J.L.; WELLS, K.D.; COLMAN, A.; POLEJAEVA, I.A.; AYARES, D.L. 2002. Targeted disruption of the alpha 1,3-galactosyltransferase gene in cloned pigs. *Nat. Biotechnol.*; 20: 251-255.
- DANG-NGUYEN, T.Q.; KIKUCHI, K.; SOMFAI, T.; OZAWA, M.; NAKAI, M.; MAEDOMARI, N.; VIET-LINH, N.; KANAI, Y.; NGUYEN, B.; NAGAI, T. 2011. Evaluation of developmental competence of in vitro-produced porcine embryos based on the timing, pattern and evenness of the first cleavage and onset of the second cleavage. *Journal of Reproduction and Development* 56, 593-600.
- DAY, B.N. 2000. Reproductive biotechnologies: current status in porcine reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61:161-172.
- D'APICE, A.J.; COWAN, P.J. 2009. Xenotransplantation: The next generation of engineered animals. *Transpl. Immunol.* 21:111-115.
- DE VRIES, A.C.; COLENBRANDER, B. 1990. Isolation and characterization of boar spermatozoa with and without a cytoplasmic droplet. *Int. J. Biochem.* 22:519-24.
- DOBROINSKY, J.R.; JOHNSON, L.A.; RATH, D. 1996. Development of a culture medium (BECM-3) for porcine embryos: effects of bovine serum albumin and fetal bovine serum on embryo development. *Biol. Reprod.* 55:1069-74.
- DOZORTSEV, D.; QIAN, C.; ERMILOV, A.; RYBOUCHKIN, A.; DE SUTTER, P.; DHONT, M. 1997. Sperm-associated oocyte-activating factor is released from the spermatozoon within 30 min after injection as a result of the sperm-oocyte interaction. *Hum. Reprod.*, 12, 2792-2796.

- DOZORTSEV, D.; WAKAIAMA, T.; ERMILOV, A.; YANAGIMACHI, R. 1998. Intracytoplasmic sperm injection in the rat. *Zygote* 6, 143-147.
- EKSER, B.; RIGOTTI, P.; GRIDELLI, B.; COOPER, D.K. 2009. Xenotransplantation of solid organs in the pig-to-primate model. *Transpl. Immunol.* 21(2):87-92.
- FEICHTINGER, W.; OBRUCA, A.; BRUNNER, M. 1995. Sex chromosomal abnormalities and intracytoplasmic injection. *Lancet* 346, 1566.
- FLISIKOWSKA, T.; KIND, A.; SCHNIEKE, A. 2013. Genetically modified pigs to model human diseases. *J. Appl. Genet.* [En prensa].
- FLOOD, M.R.; WIEBOLD, J.L. 1988. Glucose metabolism by preimplantation pig embryos. *J. Reprod. Fertil.* 84, 7-12. doi:10.1530/JRF.0.0840007
- FRASER, L.R. 1995. Ionic control of sperm function. *Reproduction* 7, 905-925.
- FUNAHASHI, H.; DAY, B.N. 1997. Advances in in vitro production of pig embryos. *J. Reprod. Fertil* 52 (Suppl): 271-283.
- FUNAHASHI, H.; FUJIWARA, T.; NAGAI, T. 2000. Modulation of the function of boar spermatozoa via adenosine and fertilization promoting peptide receptors reduce the incidence of polyspermic penetration into porcine oocytes. *Biology of Reproduction* 63, 1157-1163.
- FUNAHASHI, H.; CANTLEY, T.C.; DAY, B.N. 1997. Synchronization of meiosis in porcine oocytes by exposure to dibutyl cyclic adenosine monophosphate improves developmental competence following in vitro fertilization. *Biol. Reprod.* 57:49-53.
- FUNAHASHI, H.; ASANO, A.; FUJIWARA, T.; NAGAI, T.; NIWA, K.; FRASER, L.R. 2000. Both fertilization promoting peptide and adenosine stimulate capacitation but inhibit spontaneous acrosome loss in ejaculated boar spermatozoa in vitro. *Mol. Reprod. Dev.* 55:117-24.
- FUNAHASHI, H.; NAGAI, T. 2001. Regulation of in vitro penetration of frozen thawed boar spermatozoa by caffeine and adenosine. *Mol. Reprod. Dev.* 58:424-31.
- FUNAHASHI, H.; ROMAR, R. 2004. Reduction of the incidence of polyspermic penetration into porcine oocytes by pretreatment of fresh spermatozoa with adenosine and a transient co-incubation of the gametes with caffeine. *Reproduction* 128:789-800.
- GAJDA, B.; SMORAĞ, Z. 2004. Cell number in pig blastocysts cultured in different media. *Ann Anim. Sci.* 4:315-320.
- GAJDA, B. 2009. Factors and methods of pig oocyte and embryo quality improvement and their application in reproductive biotechnology. *Reproductive Biology* 9(2):97-112.
- GARCÍA-ROSELLÓ, E.; GARCÍA-MENGUAL, E.; COY, P.; ALFONSO, J.; SILVESTRE, MA. 2009. Intracytoplasmic sperm injection in livestock species: an update. *Reprod. Domest. Anim.* 44(1):143-51. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.01018.x
- GIL, M.A.; RUIZ, M.; VAZQUEZ, J.M.; ROCA, J.; DAY, B.N.; MARTINEZ, E.A. 2004. Effect of short periods of sperm-oocyte coincubation during in vitro fertilization on embryo development in pigs. *Theriogenology* 62, 544-552.
- GIL, M.A.; CUELLO, C.; PARRILLA, I.; VAZQUEZ, J.M.; ROCA, J.; MARTINEZ, E.A. 2010. Advances in swine in vitro embryo production technologies. *Reprod. Domest. Anim. Suppl* 2:40-8. doi: 10.1111/j.1439-0531.2010.01623.x
- GRANT, S.A.; LONG, S.E.; PARKINSON, T.J. of boar spermatozoa prepared by Percoll gradient centrifugation. *J. Reprod. Fertil* 100:477-83.
- GUTHRIE, H.D.; WELCH, G.R. 2007. Use of fluorescence-activated flow cytometry to determine membrane lipid peroxidation during hypothermic liquid storage and freeze-thawing of v. 1994. Fertilizability and structural properties of boar sperm loaded with 4, 4-difluoro-5-(4-phenyl-1,3-butadienyl)-4-bora-3a,4a-diaza-s-indacene-3-undecanoic acid. *J. Anim. Sci.* 85: 1402-11.
- GRUPEN, C.G.; NAGASHIMA, H.; NOTTLE, M.B. 1995. Cysteine enhances in vitro development of porcine oocytes matured and fertilized in vitro. *Biol. Reprod.* 53: 173-178.
- GRUPEN, C.G.; MCILFATRICK, S.M.; ASHMAN, R.J.; BOQUEST, A.C.; ARMSTRONG, D.T.; NOTTLE, M.B. 2003. Relationship between donor animal age, follicular fluid steroid content and oocyte developmental competence in the pig. *Reprod. Fertil. Dev.* 15:81-7.
- HAMMER, R.E.; PURSEL, V.G.; REXROAD, C.E. JR. WALL, R.J.; BOLT, D.J.; EBERT, K.M.; PALMITER, R.D.; BRINSTER, R.L. 1985. Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection. *Nature* 315(6021):680-3.
- HAN, Y.M.; ABEYDEERA, L.R.; KIM, J.H.; MOON, H.B.; CABOT, R.A.; DAY, B.N.; PRATHER, R.S. 1999. Growth retardation of inner cell mass cells in polyspermic porcine embryos produced in vitro. *Biology of Reproduction* 60, 1110-1113.
- HORAN, R.; POWELL, R.; MCQUAID, S.; GANNON, F.; HOUGHTON, J.A. 1991. Association of foreign DNA with porcine spermatozoa. *Arch. Androl.* 26:83-92.
- HORIUCHI, T.; EMUTA, C.; YAMAUCHI, Y.; OIKAWA, T.; NUMABE, T.; YANAGIMACHI, R. 2002. Birth of normal calves after intracytoplasmic sperm injection of bovine oocytes: a methodological approach. *Theriogenology* 57, 1013-1024.
- HUANG, J.; GUO, X.; FAN, N.; SONG, J.; ZHAO, B.; OUYANG, Z.; LIU, Z.; ZHAO, Y.; YAN, Q.; YI, X.; SCHAMBACH, A.; FRAMP-TON, J.; ESTEBAN, MA.; YANG, D.; YANG, H.; LAI, L. 2014. RAG1/2 knockout pigs with severe combined immunodeficiency. *J Immunol.* 1;193(3):1496-503.
- HUNTER, R.F.H.; NICHOL, R. 1988. Capacitation potential of the fallopian tube: a study involving surgical insemination and the subsequent incidence of polyspermy. *Gamete Res.* 21: 255-266.
- HOLM, I.E.; ALSTRUP, A.K.; LUO, Y. 2016. Genetically modified pig models for neurodegenerative disorders. *J. Pathol.*;238(2):267-87. doi: 10.1002/path.4654.
- IM, G.S.; LAI, L.X.; LIU, Z.H.; HAO, Y.H.; WAX, D.; BONK, A. 2004. In vitro development of preimplantation porcine nuclear transfer embryos cultured in different media and gas atmospheres. *Theriogenology* 61:1125-35.
- IRITANI, A.; SATO, E.; NISHIKAWA, Y. 1974. Secretion rates and chemical composition of oviduct and uterine fluids in sows. *J. Anim. Sci.*; 39:582-8.
- ISOM, S.C.; LI, R.F.; WHITWORTH, K.M.; PRATHER, R.S. 2012. Timing of first embryonic cleavage is a positive indicator of the in vitro developmental potential of porcine embryos derived from in vitro fertilization, somatic cell nuclear transfer and parthenogenesis. *Mol. Reprod. Dev.* 79(3):197-207. doi: 10.1002/mrd.22013
- JEONG, B.S.; YANG, X. 2001. Cysteine, glutathione, and Percoll treatments improve porcine oocyte maturation and fertilization in vitro. *Mol. Reprod. Dev.* 59:330-5.
- JEON, Y.; JEONG, S.H.; BISWAS, D.; JUNG, E.M.; JEUNG, E.B.; LEE, E.S.; HYUN, S.H. 2011. Cleavage pattern and survivin expression in porcine embryos by somatic cell nuclear transfer. *Theriogenology.* 76(7):1187-96. doi: 10.1016/j.theriogenology.2011.04.003
- JEONG, B.S.; YANG, X. 2001. Cysteine, glutathione and Percoll treatments improve porcine oocyte maturation and fertilization in vitro. *Molecular Reproduction and Development* 59, 330-335.
- KANO, K.; MIYANO, T.; KATO, S. 1994. Effect of oviductal epithelial cells on fertilization of pig oocytes in vitro. *Theriogenology* 42, 1061-1068.

- KARJA, N.W.K.; KIKUCHI, K.; FAHRUDIN, M.; OZAWA, M.; SOMFAI, T.; OHNUMA, K.; NOGUCHI, J.; KANEKO, H.; NAGAI, T. 2006. Development to the blastocyst stage, the oxidative state, and the quality of early developmental stage of porcine embryos cultured in alteration of glucose concentrations in vitro under different oxygen tensions. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 54, 1-12.
- KĄTSKA-KSIAŻKIEWICZ, L. 2006. Pig embryo production by in vitro maturation and fertilization of ovarian oocytes. A review. *J. Anim. Feed. Sci.* 15:525-542.
- KIKUCHI, K.; NAKAI, M.; SHIMADA, A.; KASHIWAZAKI, N. 2006. Production of viable porcine embryos by *in vitro* fertilization (IVF) and intracytoplasmic sperm injection (ICSI). *Journal of Mammalian Ova Research* 23, 96-106.
- KIKUCHI, K.; NAGAI, T.; MOTLIK, J.; SHIOYA, Y.; IZAIKE, Y. 1993. Effect of follicle cells on in vitro fertilization of pig follicular oocytes. *Theriogenology* 39, 593-599.
- KIM, N.H.; FUNAHASHI, H.; ABEYDEERA, L.R.; MOON, S.J.; PRATHER, R.S.; DAY, B.N. 1996. Effects of oviductal fluid on sperm penetration and cortical granule exocytosis during fertilization of pig oocytes in vitro. *Journal of Reproduction and Fertility* 107, 79-86.
- KIRK, A.D. 2003. Crossing the bridge: large animal models in translational transplantation research. *Immun. Rev.* 196: 176-196.
- KLYMIUK, N.; AIGNER, B.; BREM, G.; WOLF, E. 2010. Genetic modification of pigs as organ donors for xenotransplantation. *Mol. Reprod. Dev.* 77(3):209-221.
- KOBAYASHI, T.; YAMAGUCHI, T.; HAMANAKA, S. 2010. Generation of rat pancreas in mouse by interspecific blastocyst injection of pluripotent stem cells. *Cell.* 142:787-799.
- KOLBER-SIMONDS, D.; LAI, L.; WATT, SR.; DENARO, M.; ARN, S.; AUGENSTEIN, ML.; BETTHAUSER, J.; CARTER, DB.; GREENSTEIN, JL.; HAO, Y.; IM, GS.; LIU, Z.; MELL, GD.; MURPHY, CN.; PARK, KW.; RIEKE, A.; RYAN, DJ.; SACHS, D.H.; FORSBERG, E.J.; PRATHER, R.S.; HAWLEY, R.J. 2004. Production of alpha-1,3-galactosyltransferase null pigs by means of nuclear transfer with fibroblasts bearing loss of heterozygosity mutations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101: 7335-7340.
- KREN, R.; KIKUCHI, K.; NAKAI, M.; MIYANO, T.; OGUSHI, S.; NAGAI, T.; SUZUKI, S.; FULKA, J.; FULKA, J. JR. 2003. Intracytoplasmic sperm injection in the pig: where is the problem? *J. Reprod. Dev.* 49: 271-273. [Medline] [CrossRef]
- KRISHER, R.L.; PETERS, R.M.; JOHNSON, B.H.; BAVISTER, B.D.; ARCHIBONG, A.E. 1989. Development of porcine embryos from the one-cell stage to blastocyst in mouse oviducts maintained in organ-culture. *J. Exp. Zool.* 249:235-9.
- KUES, W.A.; NIEMANN, H. 2004. The contribution of farm animals to human health. *Trends Biotechnol.* 22: 286-294.
- LAI, L.; KOLBER-SIMONDS, D.; PARK, K.W.; CHEONG, H.T.; GREENSTEIN, J.L.; IM, G.S.; SAMUEL, M.; BONK, A.; RIEKE, A.; DAY, B.N.; MURPHY, C.N.; CARTER, D.B.; HAWLEY, R.J.; PRATHER, R.S. 2002. Production of alpha-1,3-galactosyltransferase knockout pigs by nuclear transfer cloning. *Science* 295: 1089-1092.
- LAURINCIK, J.; RATH, D.; NIEMANN H. 1994. Differences in pronucleus formation and first cleavage following in vitro fertilization between pig oocytes matured in vivo and in vitro. *Journal of Reproduction and Fertility* 102, 277-284.
- LE BAS-BERNADET, S.; ANEGON, I.; BLANCHO, G. 2008. Progress and prospects: Genetic engineering in xenotransplantation. *Gene Ther.* 15:1247-1256.
- LEE, J.W.; TIAN, X.C.; YANG, X. 2003. Failure of male pronucleus formation is the major cause of lack of fertilization and embryo development in pig oocytes subjected to intracytoplasmic sperm injection. *Biol. Reprod.* 68: 1341-1347. [Medline] [CrossRef].
- LEE, K.; PRATHER; R.S. 2013. Advancements in somatic cell nuclear transfer and future perspectives. *Animal Frontiers* doi:10.2527/af.2013-0034
- LI, W.C.; ZHANG, H.M.; LI, J.; DONG, R.K.; YAO, B.C.; HE, X.J.; WANG, H.Q.; SONG, J. 2013. Comparison of biomechanical properties of bile duct between pigs and humans for liver xenotransplant. *Transplant Proc.* 45(2):741-7. doi: 10.1016/j.transproceed.2012.11.006
- LIU, Y.; YANG, J.Y.; LU, Y.; YU, P.; DOVE, C.R.; HUTCHESON, J.M.; MUMAW, J.L.; STICE, S.L.; WEST, F.D. 2013. α -1,3-Galactosyltransferase knockout pig induced pluripotent stem cells: a cell source for the production of xenotransplant pigs. *Cell Reprogram.* 15(2):107-16. doi: 10.1089/cell.2012.0062
- LONG, C.R.; DOBRINSKY, J.R.; JOHNSON, LA. 1999. In vitro production of pig embryos: comparisons of culture media and boars. *Theriogenology* 51:1375-90.
- LUNNEY, J.K. 2007. Advances in swine biomedical model genomics. *Int. J. Biol. Sci.* 3: 179-184.
- MCCAULEY, T.C.; MAZZA, M.R.; DIDION, B.A.; MAO, J.; WU, G.; COPPOLA, G.; COPPOLA, GF.; DI BERARDINO, D.; DAY, B.N. 2003. Chromosomal abnormalities in day-6, in vitro-produced pig embryos. *Theriogenology* 60:1569-1580
- MARCHAL, R.; FEUGANG, J.M.; PERREAU, C.; VENTURI, E.; TERQUI, M.; MERMILLOD, P. 2001. Meiotic and developmental competence of prepubertal and adult swine oocytes. *Theriogenology* 56:17-29.
- MARCHAL, R.; VIGNERON, C.; PERREAU, C.; BALI-PAPP, A.; MERMILLOD, P. 2002. Effect of follicular size on meiotic and developmental competence of porcine oocytes. *Theriogenology* 57:1523-32.
- MARTIN, M.J. 2000. Development of in vivo-matured porcine oocytes following intracytoplasmic sperm injection. *Biol. Reprod.* 63, 109-112.
- MARTINEZ, E.A.; ANGEL, M.A.; CUELLO, C.; SANCHEZ-OSORIO, J.; GOMIS, J.; PARRILLA, I.; VILA, J.; COLINA, I.; DIAZ, M.; REIXACH, J. 2014. Successful non-surgical deep uterine transfer of porcine morulae after 24 hour culture in a chemically defined medium. *PLoS ONE*, 9. e104696.
- MATAS, C.; COY, P.; ROMAR, R.; MARCO, M.; GADEA, J.; RUIZ, S. 2003. Effect of sperm preparation method on in vitro fertilization in pigs. *Reproduction* 125:133-41.
- MATAS, C.; VIEIRA, L.; GARCIA-VAZQUEZ, F.A.; AVILES-LOPEZ, K.; LOPEZ UBEDA, R.; CARVAJAL, J.A. 2011. Effects of centrifugation through three different discontinuous Percoll gradients on boar sperm function. *Anim. Reprod. Sci.* 127:62-72.
- MATTIOLI, M.; BACCI, M.L.; GALEATI, G.; SEREN, E. 1991. Effects of LH and FSH on the maturation of pig oocytes in vitro. *Theriogenology* 236: 95-105.
- MATSUNARI, H.; ONODERA, M.; TADA, N.; MOCHIZUKI, H.; KARASAWA, S.; HARUYAMA, E.; NAKAYAMA, N.; SAITO, H.; UENO, S.; KUROME, M.; MIYAWAKI, A.; NAGASHIMA, H. 2008. Transgenic-cloned pigs systemically expressing red fluorescent protein, Kusabira-Orange. *Cloning Stem Cells* 10: 313-323.
- MEIDINGER, R.G.; AJAKAIYE, A.; FAN, M.Z.; ZHANG, J.; PHILLIPS, J.P.; FORSBERG, C.W. 2013. Digestive utilization of phosphorus from plant based diets in the Cassie line of transgenic Yorkshire pigs that secrete phytase in the saliva. *Journal of Animal Science.* DOI: 10.2527/jas.2012-5575
- MINISTERIO DE HACIENDA Y FINANZAS PÚBLICAS. 2016. Informe de cadenas de valor. AÑO 1 N.º 9. (Disponible: http://www.economia.gov.ar/peconomica/docs/SSPE_Cadena_Valor_Porcina.pdf verificado: febrero de 2018).
- MEDVEDEV, S.; ONISHI, A.; FUCHIMOTO, D.; IWAMOTO, M.; NAGAI, T. 2004. Advanced in vitro production of pig blastocysts ob-

- tained through determining the time for glucose supplementation. *J. Reprod. Dev.* 50, 71-76. doi:10.1262/JRD.50.71
- MENINO, A.R.; WRIGHT, R.W. 1982. Development of one-cell porcine embryos in two culture systems. *J. Anim. Sci.* 54:583-8.
- MITO, T.; YOSHIOKA, K.; NOGUCHI, M.; YAMASHITA, S.; MISUMI, K. 2015. Birth of piglets from in vitro-produced porcine blastocysts vitrified and warmed in a chemically defined medium. *Theriogenology* 8, 1314-1320.
- MOOR, R.M.; MATTIOLI, M.; DING, J.; NAGAI, T. 1990. Maturation of pig oocytes in vivo and in vitro. *J. Reprod. Fertil* 40 (Suppl): 197-210.
- NAGAI, T.; FUNAHASHI, H.; YOSHIOKA, K.; KIKUCHI, K. 2006. Up date of *in vitro* production of porcine embryos. *Front. in Biosci.* 11:2565-2573.
- NAGAI, T.; MOOR, R.M. 1990. Effect of oviduct cells on the incidence of polyspermy in pig eggs fertilized in vitro. *Molecular Reproduction and Development* 26, 377-382.
- NAGAI, T.; TAKAHASHI, T.; MASUDA, H.; SHIOYA, Y.; KUYAMA, M.; FUKUSHIMA, M. 1988. In-vitro fertilization of pig oocytes by frozen boar spermatozoa. *J. Reprod. Fertil* 84:585-91.
- NAGAI, T. 1996. In vitro maturation and fertilization of pig oocytes. *Anim Reprod Sci*; 42: 153-163.
- NAITO, K.; FUKUDA, Y.; TOYODA, Y. 1988. Effects of porcine follicular fluid on male pronucleus formation in porcine oocytes matured in vitro. *Gamete Research* 21, 289-295.
- NAKAI, M.; OZAWA, M.; MAEDOMARI, N.; NOGUCHI, J.; KANEKO, H. 2014. Delay in cleavage of porcine embryos after intracytoplasmic sperm injection (ICSI) shows poorer embryonic development. *Reprod. Dev.* 60: 256-259.
- NAQVI, A.N. 2007. Application of molecular genetic technologies in livestock production: potentials for developing countries. *Adv. Biol. Res.* 1(3-4):72-84.
- NANASSY, L.; LEE, K.; JAVOR, A.; MACHATY, Z. 2008. Effects of activation methods and culture conditions on development of parthenogenetic porcine embryos. *Anim. Reprod. Sci.* 104:264-74.
- NICHOL, R.; HUNTER, R.H.; GARDNER, D.K.; LEESE, H.J.; COOKE, G.M. 2014. Concentrations of energy substrates in oviductal fluid and blood plasma of 34 C.G. *Gruppen Theriogenology* 81 24-37.
- NIEMANN, H.; RATH, D. 2001. Progress in reproductive biotechnology in swine. *Theriogenology* 56(8):1291-1304.
- NISHINAKAMURA, R.; MATSUMOTO, Y.; NAKAO, K.; NAKAMURA, K.; SATO, A.; COPELAND, N. G.; YOKOTA, T. 2001. Murine homolog of SALL1 is essential for ureteric bud invasion in kidney development. *Development*, 128, 3105-3115.
- NIWA, K. 1993. Effectiveness of in vitro maturation and in vitro fertilization techniques in pigs. *J. Reprod. Fertil* 48 (Suppl): 49-59.
- OFFIELD, M.F.; JETTON, T.L.; LABOSKY, P.A.; RAY, M.; STEIN, R.W.; MAGNUSON, M.A.; HOGAN, B.L.; WRIGHT, C.V. 1996. PDX-1 is required for pancreatic outgrowth and differentiation of the rostral duodenum. *Development* 122, 983-995.
- ONISHI, A.; IWAMOTO, M.; AKITA, T.; MIKAWA, S.; TAKEDA, K.; AWATA, T.; HANADA, H.; PERRY, A.C. 2000. Pig cloning by microinjection of fetal fibroblast nuclei. *Science* 289:1188-1190.
- PAPOTTO, D. 2006. Producción porcina en argentina, pasado, presente y futuro. v Congreso de Producción Porcina del Mercosur, Río Cuarto.
- PAPAIOANNOU, V.E.; EBERT, K.M. 1988. The preimplantation pig embryo: Cell number and allocation to trophectoderm and inner cell mass of the blastocyst in vivo and in vitro. *Development* 102:793-803.
- PETRUNKINA, A.M.; SIMON, K.; GUNZEL-APEL, A.R.; TOPFER-PETERSEN, E. 2003. Regulation of capacitation of canine spermatozoa during coculture with heterologous oviductal epithelial cells. *Reprod. Domest. Anim.* 38:455-63.
- PETTERS, R.M.; WELLS, K.D. 1993. Culture of pig embryos. *J. Reprod. Fertil* 48 (Suppl): 61-73.
- POLGE, C. 1982. Embryo transplantation and preservation. En: COLE, D.J.A.; FOXCROFT, G.R. (editors). *Control of pig reproduction*. London: Butterworth; p. 277-91.
- POLEJAEVA, I.A.; CHEN, S.H.; VAUGHT, T.D.; PAGE, R.L.; MULLINS, J.; BALL, S.; DAI, Y.; BOONE, J.; WALKER, S.; AYARES, D.L. 2000. Cloned pigs produced by nuclear transfer from adult somatic cells. *Nature* 407:86-90.
- POPE, C.E.; JOHNSON, C.A.; MCRAE, M.A.; KELLER, G.L.; DRESSER, B.L. 1998. Development of embryos produced by intracytoplasmic sperm injection of cat oocytes. *Anim. Reprod. Sci.* 53, 221-236.
- PRATHER, R.S.; SUTOVSKY, P.; GREEN, J.A. 2004. Nuclear remodeling and reprogramming in transgenic pig production. *Exp. Biol. Med.* (Maywood) 229:1120-1126.
- PRATHER, R.S.; LORSON, M.; ROSS, J.W.; WHYTE, J.J.; WALTERS, E. 2013. Genetically engineered pig models for human diseases. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1, 203-219.
- REYES, L.M.; BLOSSER, R.J.; SMITH, R.F.; MINER, A.C.; PARRIS, L.L.; BLANKENSHIP, R.L.; TECTOR, M.F.; TECTOR, A.J. 2014. Characterization of swine leucocyte antigen alleles in a crossbred pig to be used in xenotransplant studies. *issue Antigens.* 84(5):484-8. doi: 10.1111/tan.12430
- ROMAR, R.; FUNAHASHI, H. 2005. In vitro maturation and fertilization of porcine oocytes after a 48 h culture in roscovitine, an inhibitor of p34 (cdc2)/cyclin B kinase. *Animal Reproduction Science* 92, 321-333.
- ROMERO-AGUIRREGOMEZCORTA, J.; MATÁS, C.; COY, P. 2015. a-L-fucosidase enhances capacitation-associated events in porcine spermatozoa. *Vet. J.* 203:109-14.
- SCHINI, S.A.; BAVISTER, B.D. 1988. Two-cell block to development of cultured hamster embryos is caused by phosphate and glucose. *Biol. Reprod.* 39, 1183-1192. doi:10.1095/BIOLREPROD39.5.1183
- SHERRER, E.S.; RATHBUN, T.J.; DAVIS, D.L. 2004. Fertilization and blastocyst development in oocytes obtained from prepubertal and adult pigs. *J. Anim. Sci.* 82:102-8.
- SINGH, B.; RUTLEDGE, J.M.; ARMSTRONG, D.T. 1995. Epidermal growth factor and its receptor gene expression and peptide localization in porcine ovarian follicles. *Mol. Reprod. Dev.* 40: 391-399.
- SOMFAI, T.; KIKUCHI, K.; ONISHI, A.; IWAMOTO, M.; FUCHIMOTO, D.; PAPP, B.A.; SATO, E.; NAGAI, T. 2003. Meiotic arrest maintained by cAMP during the initiation of maturation enhances meiotic potential and developmental competence and reduces polyspermy of IVM/IVF porcine oocytes. *Zygote* 11, 199-206.
- STANGER, B.Z.; TANAKA, A.J.; MELTON, D.A. 2007. Organ size is limited by the number of embryonic progenitor cells in the pancreas but not the liver. *Nature* 22;445(7130):886-91.
- SUZUKI, K.; ASANO, A.; ERIKSSON, B.; NIWA, K.; NAGAI, T.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, H. 2002. Capacitation status and in vitro fertility of boar spermatozoa: effects of seminal plasma, cumulus-oocyte-complexes-conditioned medium and hyaluronan. *International Journal of Andrology* 25, 84-93.
- SVALANDER, P.; FORSBERG, A.S.; JAKOBSSON, A.H.; WIKLAND, M. 1995. Factors of importance for the establishment of a successful program of intracytoplasmic sperm injection treatment for male infertility. *Fertil. Steril.*, 63, 828-837.

- SWINDLE M.M. 2007. Swine in the laboratory. CRC press 2.^a edición.
- TAKAHASHI, Y.; FIRST, N. L. 1992. In vitro development of bovine one-cell embryos: influence of glucose, lactate, pyruvate, amino acids and vitamins. *Theriogenology* 37, 963-978. doi:10.1016/0093-691X(92) 90096-A
- TANGHE, S.; VAN SOOM, A.; NAUWYNCK, H.; CORYN, M.; DE KRUIF, A. 2002. Minireview: functions of the cumulus oophorus during oocyte maturation, ovulation, and fertilization. *Molecular Reproduction and Development* 61, 414-424.
- TAREQ, KM.; AKTER, QS.; TSUJII, H.; KHANDOKER, MA.; CHOI, I. 2013. Effect of dipeptides on in vitro maturation, fertilization and subsequent embryonic development of porcine oocytes. *Asian-Australas J. AnimSci.* 26:501-8.
- TATEMOTO, H.; SAKURAI, N.; MUTO, N. 2000. Protection of porcine oocytes against apoptotic cell death caused by oxidative stress during in vitro maturation: role of cumulus cells. *Biology of Reproduction* 63, 805-810.
- TATEMOTO, H.; OOTAKI, K.; SHIGETA, K.; MUTO, N. 2001. Enhancement of developmental competence after in vitro fertilization of porcine oocytes by treatment with ascorbic acid 2-O-alpha-glucoside during in vitro maturation. *Biology of Reproduction* 65, 1800-1806.
- TATEMOTO, H.; MUTO, N.; SUNAGAWA, I.; SHINJO, A.; NAKADA, T. 2004. Protection of porcine oocytes against cell damage caused by oxidative stress during in vitro maturation: role of superoxide dismutase activity in porcine follicular fluid. *Biol. Reprod.* 71:1150-7.
- TESARIK, J.; SOUSA, M.; TESTART, J. 1994. Human oocyte activation failure after intracytoplasmic sperm injection. *Hum. Reprod.* 9, 511-518.
- THIBAUT, C.; SZOLLOSI, D.; GERARD, M. 1987. Mammalian oocyte maturation. *Reprod. Nutr. Dev.* 27: 856-896.
- ULLOA ULLOA, C.M.; YOSHIZAWA, M.; KOMORIYA, E.; MITSUI, A.; NAGAI, T.; KIKUCHI, K. 2008. The blastocyst production rate and incidence of chromosomal abnormalities by developmental stage in vitro produced porcine embryos. *J. Reprod. Dev.* 54, 22-29.
- VANDERZ WALMEN, P.; BERTIN, G.; LEJEUNE, B.; NIJS, M.; VANDAMME, B.; SCHOYSMAN, R. 1996. Two essential steps for a successful intracytoplasmic sperm injection: injection of immobilized spermatozoa after rupture of the oolemma. *Hum. Reprod.* 11, 540-547.
- WALLENHORST, S.; HOLTZ, W. 1999. Transfer of pig embryos to different uterine sites. *J. Anim. Sci.* 77:2327-9.
- WANG, WH.; MACHATY, Z.; ABEYDEERA, LR.; PRATHER, RS.; DAY, BN. 1999. Time course of cortical and zona reaction of pig oocytes upon intracellular calcium increase induced by thimerosal. *Zygote* 7: 79-86.
- WANG, W.H.; ABEYDEERA, L.R.; FRASER, L.R.; NIWA, K. 1995. Functional analysis using chlortetracycline fluorescence and in vitro fertilization of frozen-thawed ejaculated boar spermatozoa incubated in a protein-free chemically defined medium. *Journal of Reproduction and Fertility* 104, 305-313.
- WHITWORTH, K.M.; PRATHER, R.S. 2010. Somatic cell nuclear transfer efficiency: How can it be improved through nuclear remodeling and reprogramming? *Mol. Reprod. Dev.* 77:1001-1015.
- WONGSRIKEAO, P.; OTOI, T.; MURAKAMI, M.; KARJA, N.W.; BUDIYANTO, A.; MURAKAMI, M.; NII, M.; SUZUKI, T. 2005. Relationship between DNA fragmentation and nuclear status of in vitro-matured porcine oocytes: role of cumulus cells. *Reproduction Fertility and Development* 16, 773-780.
- WU, J.; CARRELL, D.T.; WILCOX, A.L. 2001. Development of in vitro matured oocytes from porcine preantral follicles following intracytoplasmic sperm injection. *Biol. Reprod.* 65, 1579-1585.
- WU, G.M.; SUN, Q.Y.; MAO, J.; LAI, L.; MCCAULEY, T.C.; PARK, K.W.; PRATHER, R.S.; DIDION, BA.; DAY, B.N. 2002. High developmental competence of pig oocytes after meiotic inhibition with a specific M-phase promoting factor kinase inhibitor, Butyrolactone I. *Biology of Reproduction* 67, 170-177.
- YAMAGUCHI, T.; SATO, H.; KATO-ITOH, M. 2017. Interspecies organogenesis generates autologous functional islets. *Nature* 542:191-196.
- YANG, Y.G.; SYKES, M. 2007. Xenotransplantation: Current status and a perspective on the future. *Nat. Rev. Immunol.* 7:519-531.
- YE, J.; CAMPBELL, K.H.S.; CRAIGON, J.; LUCK, M.R. 2005. Dynamic changes in meiotic progression and improvement of developmental competence of pig oocytes in vitro by follicle-stimulating hormone and cycloheximide. *Biology of Reproduction* 72, 399-406.
- YESTE, M.; LLOYD, R.E.; BADIA, E.; BRIZ, M.; BONET, S.; HOLT, W.V. 2009. Direct contact between boar spermatozoa and porcine oviductal epithelial cell (OEC) cultures is needed for optimal sperm survival in vitro. *Anim. Reprod. Sci.* 113:263-78.
- YONG, H.Y.; HONG, J.Y.; KANG, S.K.; LEE, B.C.; LEE, E.S.; HWANG, W.S. 2005. Sperm movement in the ooplasm, dithiothreitol pretreatment and sperm freezing are not required for the development of porcine embryos derived from injection of head membrane-damaged sperm. *Theriogenology* 63: 783-794. [Medline] [CrossRef]
- YOSHIDA, M.; ISHIZAKI, K.; KAWAGISHI, H. 1990. Blastocyst formation by pig embryos resulting from in vitro fertilization of oocytes matured in vitro. *Journal of Reproduction and Fertility* 88, 1-8.
- YOSHIDA, M.; ISHIZAKI, Y.; KAWAGISHI, H.; BAMBA, K.; KOJIMA, Y. 1992. Effects of pig follicular fluid on maturation of pig oocytes in vitro and on their subsequent fertilizing and developmental capacity in vitro. *J. Reprod. Fertil* 95:481-8.
- YOSHIDA, M. 1993. Role of glutathione in the maturation and fertilization of pig oocytes in vitro. *Mol. Reprod. Dev.* 35: 76-81.
- YOSHIOKA, K.; SUZUKI, C.; TANAKA, A.; ANAS, IM.; IWAMURA, S. 2002. Birth of piglets derived from porcine zygotes cultured in a chemically defined medium. *Biol. Reprod.* 66:112-9.
- YOSHIOKA, K.; SUZUKI, C.; ITOH, S.; KIKUCHI, K.; IWAMURA, S.; Rodriguez-Martinez, H. 2003. Production of piglets derived from in vitro-produced blastocysts fertilized and cultured in chemically defined media: effects of theophylline, adenosine, and cysteine during in vitro fertilization. *Biology of Reproduction* 69, 2092-2099.
- YOSHIOKA, K. 2011. Development and application of a chemically defined medium for the in vitro production of porcine embryos. *J. Reprod. Dev.* 57(1):9-16.
- YOSHIOKA, K.; NOGUCHI, M.; SUZUKI, C. 2012. Production of piglets from in vitro-produced embryos following non-surgical transfer. *Anim. Reprod. Sci.* 131:23-9.
- ZHANG, W.; YI, K.; YAN, H.; ZHOU, X. 2012. Advances on in vitro production and cryopreservation of porcine embryos. *Anim. Reprod. Sci.* 132(3-4):115-22. doi: 10.1016/j.anireprosci.2012.05.008
- ZHANG, J.Y.; JIANG, Y.; LIN, T.; KANG, J.W.; LEE, J.E.; JIN, D.I. 2015. Lysophosphatidic acid improves porcine oocyte maturation and embryo development in vitro. *Mol. Reprod. Dev.* 82:66-77.
- ZHOU, X.; XIN, J.; FAN, N.; ZOU, Q.; HUANG, J.; OUYANG, Z.; ZHAO, Y.; ZHAO, B.; LIU, Z.; LAI, S.; YI, X.; GUO, L.; ESTEBAN, M.A.; ZENG, Y.; YANG, H.; LAI, L. 2015. Generation of CRISPR/Cas9-mediated gene-targeted pigs via somatic cell nuclear transfer. *Cell Mol Life Sci.* 72(6):1175-84.

Variación temporal de indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos

MARTÍNEZ, L.E.^{1,2}; VALLONE, R.C.^{1,2}; PINO, M.M.¹

RESUMEN

Las características microbiológicas y químicas del suelo cambian por la aplicación de abonos orgánicos y pueden resultar indicadores sensibles al impacto producido. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios a corto plazo en variables microbiológicas y químicas en respuesta a la aplicación de abonos orgánicos bajo condiciones de incubación. Fracciones de suelo sin (testigo) y con agregado de compost y vermicompost fueron incubadas por 90 días a 28 °C y 60% del agua disponible remanente. Cada 10 días se midió actividad microbiana total (AMT), abundancia de bacterias y hongos totales, microorganismos celulolíticos, fijadores de N, amonificadores y nitrificadores, N-NO₃, N total, P-H₂CO₃, K intercambiable y materia orgánica. La AMT y los microorganismos amonificadores y celulolíticos fueron sensibles a la optimización de temperatura y humedad del suelo, y no frente al abonado orgánico. Los microorganismos celulolíticos incrementaron durante la incubación, mientras que la AMT y los amonificadores disminuyeron. La aplicación de vermicompost solo tuvo un efecto inmediato positivo en la población de microorganismos fijadores de N y nitrificadores, pero no perduró en el tiempo. En cambio, el contenido de N total, P-H₂CO₃ y K intercambiable fueron indicadores sensibles potenciales para la evaluación de dicha práctica agronómica en suelos áridos regadíos. Estas características químicas aumentaron con la aplicación de los abonos orgánicos durante 90 días de incubación. El P-H₂CO₃ y K intercambiable fueron más sensibles a la aplicación de compost, del mismo modo que se había observado en el campo. La variación temporal de las características químicas del suelo frente al abonado orgánico mostró mayor diferencia que las microbiológicas convirtiéndose en indicadores sensibles a esa práctica.

Palabras clave: compost, vermicompost, microorganismos del ciclo de carbono y nitrógeno.

ABSTRACT

Microbiological and chemical characteristics of the soil change by the application of organic amendment and could be sensitive indicators to this produced impact. The goal of this study was to evaluate the effect of organic amendments in microbiological and chemical properties under incubation conditions. Soil fractions without (control) and with compost and vermicompost were incubated for 90 days at 28 °C and 60% of remaining water. Total microbial activity (TMA), abundance of bacteria and fungi, cellulolytic, fixing N, ammonifiers and nitrifiers microorganisms, N-NO₃, total N, P-H₂CO₃, exchangeable K and organic matter were measured each ten days. TMA and amonificadores and cellulolytic microorganisms were sensitive at optimization of temperature and soil moisture, and not for organic amendment. Cellulolytic microorganisms increased during incubation, while TMA and amonifiers decreased. N-fixing microorganisms and nitrifiers increased immediately

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mendoza, San Martín 3853. Luján de Cuyo. Mendoza. Argentina. Correo electrónico: martinez.laura@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, . Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.

after application of vermicompost but not last over time. Instead, total N, P and exchangeable K-H₂CO₃ were potential indicators of this agronomic practice in irrigated arid soils. These chemical characteristics increased with the application of organic amendment during 90 days of incubation. P-H₂CO₃ and exchangeable K were more sensitive to the application of compost, as succeeded in field. Finally, soil chemical characteristics were more sensitive than microbiological to application of organic amendment.

Keywords: compost, vermicompost, microorganisms of carbon and nitrogen cycle.

INTRODUCCIÓN

Las características microbiológicas, abundancia y actividad de los microorganismos suelen usarse como indicadores de fertilidad y sostenibilidad de los suelos y explican la multifuncionalidad de los organismos del suelo que resultan sensibles a los impactos producidos en este (OECD 2001). Un indicador es una variable que a) resume o simplifica y b) cuantifica, mide y comunica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible en forma comprensible (Pascual *et al.* 1997). La abundancia y la actividad microbiana total (AMT) de un suelo son excelentes indicadores de su fertilidad ya que responden activa y directamente a las modificaciones del suelo y al medioambiente, particularmente al efecto de los sistemas productivos (Doran y Zeiss, 2000; Filip, 2002; Abril, 2003; Biederbeck *et al.* 2005; Van Diepeningen *et al.*, 2006). Los atributos microbianos fueron indicadores más sensibles en manejos conservacionistas de suelo respecto de los atributos químicos como carbono y nitrógeno orgánico (Biederbeck *et al.*, 2005). Algunos autores observaron un incremento en diferentes variables biológicas, como la AMT, debido a la aplicación de abonos orgánicos; manifestando además, que dicho efecto se produjo a corto plazo y no fue persistente en el tiempo (Pascual *et al.*, 1997; Plaza *et al.*, 2004, 2006; Plaza *et al.*, 2004). El aporte de materia orgánica por el abonado aumenta la cantidad de microorganismos particularmente de los grupos degradadores de los compuestos presentes en los abonos (Gomez *et al.*, 2006; Lejon *et al.*, 2007). Los microorganismos de suelo sensibles a cambios o disturbios realizados en el suelo son los celulolíticos, fijadores de nitrógeno, amonificadores y nitrificadores (Paul y Clark 1989; Torres *et al.*, 2005; Innerebner *et al.*, 2006; Abril, 2003; Biederbeck *et al.*, 2005). Los microorganismos celulolíticos son aquellos que degradan la celulosa y los nitrificadores aquellos que oxidan el amonio producido por los microorganismos amonificadores. En nuestros ensayos previos de aplicación de compost y vermicompost en un viñedo de zonas áridas con riego suplementario, los microorganismos celulolíticos incrementaron en la aplicación de compost en el primer año de aplicación, mientras que los microorganismos amonificadores disminuyeron su población sin diferenciar entre compost y vermicompost (Martinez, 2011). En un suelo similar cultivado con ajo y donde se evaluó el efecto de la aplicación de varios abonos orgánicos, los microorganismos nitrificadores disminuyeron mientras que la AMT aumentó (Filippini

et al., 2012). Respecto de las variables químicas edáficas, uno de los nutrientes del suelo que responde al manejo orgánico es la fracción de P disponible para los cultivos. En un ensayo de 16 semanas de incubación de suelo con compost y vermicompost, el P extraíble se incrementó en las alícuotas que habían recibido vermicompost (Tognetti *et al.*, 2008). Ensayos a campo con abonos orgánicos de dos viñedos de Mendoza pusieron de manifiesto incrementos significativos de P y K en suelo y tejidos foliares tras la aplicación de compost y vermicompost (Vallone *et al.*, 2007; Martinez, 2011). Las interacciones entre el suelo, el cultivo, las coberturas vegetales, como las variaciones de humedad y temperaturas edáficas son factores que influyen en la dinámica poblacional de los microorganismos, movilidad y disponibilidad de nutrientes, dificultando profundizar en aspectos básicos en la temática. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar los cambios a corto plazo en variables microbiológicas y químicas en respuesta a la aplicación de abonos orgánicos bajo condiciones de incubación.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 90 recipientes de 360 cm³ se colocaron alícuotas de 100 g de suelo seco al aire y tamizado por malla de 2 mm. El suelo fue obtenido de un viñedo de la zona de Luján de Cuyo, Mendoza, donde se realizaron ensayos de campo y cuyas características físicoquímicas fueron previamente descriptas. La ubicación geográfica correspondió a 32° 35' 24" S y 68° 31' 12" O, a 921 m de altura sobre el nivel del mar; el clima es árido con 245 mm de lluvia anual y temperaturas máxima media estival de 28,9 °C (Ortiz Maldonado, 2001). Las características físicoquímicas del suelo indicaron que el suelo es de textura franco arenosa, salinidad baja, pH neutro levemente alcalino y de fertilidad buena (tabla 1). Los tratamientos consistieron en la aplicación de abonos orgánicos, un tercio de los recipientes fue abonado con 0,5 g de compost (C), otro tercio con 0,5 g vermicompost (V) y el resto testigos sin abonado (T), bajo un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. El compost fue obtenido a partir de cama de pollo, chala de ajo y orujo de uva agotado. La duración del compostaje fue de 140 días con volteos y riegos cada 15 días durante la etapa de maduración. El vermicompost fue obtenido a partir de estiércol vacuno, umbelas de cebollas y restos de frutos de tomates. El proceso completo fue de 9 meses y las lombrices fueron colocadas desde el inicio. La

CEes (dS/m)	4,5
pH pasta	7,3
Textura	Franco Arenoso
Nitrógeno Total (mg.kg⁻¹suelo)	685
N-NO₃ (mg.kg⁻¹suelo)	88,7
Fósforo Disponible (mg.kg⁻¹suelo)	4,6
Potasio Intercambiable (mg.Kg⁻¹ suelo)	219
Materia Orgánica (%)	1,4
AMT (mgCO₂.g⁻¹.en 7 días)	0,3
Hongos (log₁₀.g⁻¹ suelo)	4,1
Bacterias (log₁₀.g⁻¹ suelo)	7,1
Celulolíticos (log₁₀.g⁻¹ suelo)	3
Fijadores de N (log₁₀.g⁻¹ suelo)	6,7
Amonificadores (log₁₀.g⁻¹ suelo)	7,8
Nitrificadores (log₁₀.g⁻¹ suelo)	1,8

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica, química y microbiológica del suelo.

caracterización química y microbiológica de los abonos se detalla en la tabla 2. A partir del cálculo del peso de capa arable, la dosis corresponde a 10 mg ha⁻¹ en base seca. La incubación duró 90 y bajo condiciones controladas de temperatura (28 °C) y humedad (60% del agua disponible remanente mediante la reposición de agua por pesada). Cada 10 días y en 9 frascos se extrajo una muestra de suelo. Las variables microbiológicas evaluadas fueron: AMT por el método de desprendimiento de CO₂ a 28 °C (Alef y Nannipieri, 1995) abundancia de hongos y bacterias totales por recuento en placa y otros grupos de microorganismos funcionales. Entre estos últimos microorganismos se midieron los celulolíticos, amonificadores, y nitrificadores mediante la técnica de número más probable. Los microorganismos fijadores de N de vida libre fueron medidos por la técnica de recuento en placa con medio selectivo libre de N (Alef y Nannipieri, 1995). Para el recuento de hongos totales se usó agar papa glucosado más antibiótico (streptomicina) y para bacterias agar nutritivo. Las variables químicas fueron: N total por método Kjeldhal, N-NO₃⁻ por arrastre de vapor (Bremner y Kee-

	Compost	Vermicompost
CEes (dS/m)	15,2	6,6
pH pasta	7,3	7,4
Humedad (g%g bh)	14,5	31,7
Cenizas (g%g bh)	30,6	47,8
MO (g%g bh)	54,9	20,5
Nitrógeno Total (%bs)	1,5	1,8
Fósforo Total (%bs)	0,9	0,6
Potasio Total (%bs)	2,2	0,5
AMT (mgCO₂.g⁻¹ en 7 días)	2,9	3,2
Hongos (log₁₀.g⁻¹)	5,7	2,5
Bacterias (log₁₀.g⁻¹)	7,4	5,9
Celulolíticos (log₁₀.g⁻¹)	4,4	6,9
Fijadores de N (log₁₀.g⁻¹)	6,7	3,9
Amonificadores (log₁₀.g⁻¹)	6,6	6,5
Nitrificadores (log₁₀.g⁻¹)	0,8	7

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica, química y microbiológica de los abonos orgánicos utilizados.

	AMT	Bacterias	Hongos	Celulolíticos	Fijadores de N	Amonificadores
Modelo	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	0,0003*	0,0003*	<0,0001*
Tratamiento	0,0105**	0,0179	0,004	0,572	0,9289	0,1864
Días	<0,0001**	<0,0001	<0,0001	0,6422	0,0003	<0,0001**
TxD	0,731	0,002**	<0,0001**	0,6422	0,0048**	0,3516

Tabla 3. Distribución de los valores p obtenidos del análisis factorial para una de las variables microbiológicas y químicas evaluadas.

ney, 1965), $P\text{-H}_2\text{CO}_3$ por extracción carbónica (Nijensohn, 1991), K intercambiable con acetato de amonio 1N pH=7 y materia orgánica por oxidación con dicromato de potasio (Page *et al.*, 1982). Los tratamientos se ensayaron por triplicado mediante un diseño factorial con tres niveles para el factor tratamiento (compost, vermicompost y testigo) y diez niveles para el factor días de incubación (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, y 90). Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza factorial y prueba de comparación múltiple de medias según test de Scott & Knott ($p \leq 0,05$) utilizando el programa estadístico Infostat versión 2010.

RESULTADOS

Los niveles de significancia del análisis de la varianza factorial ocasionaron efectos diferentes en todas las variables químicas y microbiológicas evaluadas, observando un efecto principal o presencia de interacción entre factores (tabla 3). La AMT no mostró una interacción entre el tiempo de incubación y tratamiento, sino que ambos factores influyeron de forma independiente. La actividad disminuyó durante el ensayo de incubación, en los primeros 20 días se produjo la mayor AMT (0 días: $0,26 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días; 10 días: $0,26 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días, 20 días: $0,28 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días) mientras que a los 90 días ($0,04 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días) fue la menor. Respecto del tratamiento, la aplicación de compost ($0,17 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días) con el testigo ($0,18 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días) favorecieron más que la de vermicompost ($0,14 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo}$ en 7 días) (figura 1a). El mismo comportamiento fue observado en los microorganismos amonificadores, al inicio del ensayo fueron predominantes ($7,61$ y $7,53 \log_{10} \text{ g}^{-1}$ para 0 y 20 días, respectivamente) y el descenso de la población se manifestó a partir de los 50 días (figura 2c). En cambio, la población de hongos y los microorganismos celulolíticos mostraron un incremento hacia el final del ensayo. La abundancia menor en los microorganismos celulolíticos se observó a los 30 y 40 días ($2,72$ y $2,90 \log_{10} \text{ g}^{-1}$, respectivamente) y la mayor a los 60, 80 y 90 días ($3,92$; $4,04$ y $4,06 \log_{10} \text{ g}^{-1}$, respectivamente) (figura 2a). Y los hongos mostraron su incremento al fin del ensayo en los suelos que habían recibido abono orgánico y testigo (figura 1c).

El impacto de la aplicación de un abono orgánico afectó positivamente, desde el punto de vista la funcionalidad de los microorganismos del suelo, ya que la aplicación de ver-

micompost tuvo un efecto inmediato en el aumento de la población de los microorganismos fijadores de N respecto de la del compost aunque no haya permanecido durante el ensayo (figura 2c). En cambio, fue negativo en las poblaciones nativas de bacterias y hongos del suelo, debido a que se observó una notable diferencia de esas poblaciones en los suelos testigo respecto de los abonados (figura 1b y c).

Respecto de las características químicas, el N total, $P\text{-H}_2\text{CO}_3$ y K intercambiable mostraron incremento tras la aplicación de compost, comparadas con la de vermicompost y mantuvieron esa diferencia en la mayor parte del tiempo de la incubación (figura 3). El $P\text{-H}_2\text{CO}_3$ en los suelos con compost fue mayor a 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 días mientras que al final del ensayo se igualó a la de vermicompost, pero siempre superior al testigo. Al final del ensayo el $P\text{-H}_2\text{CO}_3$ en los suelos con compost y vermicompost fue $6,24 \text{ mg kg}^{-1}$ y $6,21 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, respecto del testigo que fue $5,33 \text{ mg kg}^{-1}$ (figura 3c). Similar comportamiento fue hallado en el K intercambiable donde el compost fue mayor durante los 90 días de ensayo. Al finalizar los suelos con compost (299 mg kg^{-1}) estuvieron por encima de los suelos con vermicompost (249 mg kg^{-1}) y testigo (242 mg kg^{-1}) (figura 3d).

El contenido de nitrógeno total fue mayor en los suelos con abono orgánico respecto del testigo al inicio del ensayo y 40, 50, 70, 80, 90 días. A los 90 días de la aplicación de compost, el N total fue 711 mg kg^{-1} para las aplicaciones de compost, y 708 mg kg^{-1} las de vermicompost respecto del testigo que finalizaron en 680 mg kg^{-1} . En cambio en N-NO_3 mostró un incremento al inicio del ensayo en los suelos con abonos orgánicos, pero al final del ensayo se revirtió este resultado, que fue menor en los suelos con compost y vermicompost (figura 3b). El contenido de materia orgánica mostró un incremento luego de los 60 días, pero no se diferenciaron entre tratamientos (figura 3e).

DISCUSIÓN

Indicadores microbiológicos

Los microorganismos celulolíticos y amonificadores fueron sensibles indicadores de los suelos áridos regadíos frente a la optimización de condiciones de temperatura y humedad, por lo que un cambio en este aspecto es más importante que un leve aporte de materia orgánica en esos suelos. Los microorganismos celulolíticos incrementaron durante la incubación, mientras que los amonificadores dis-

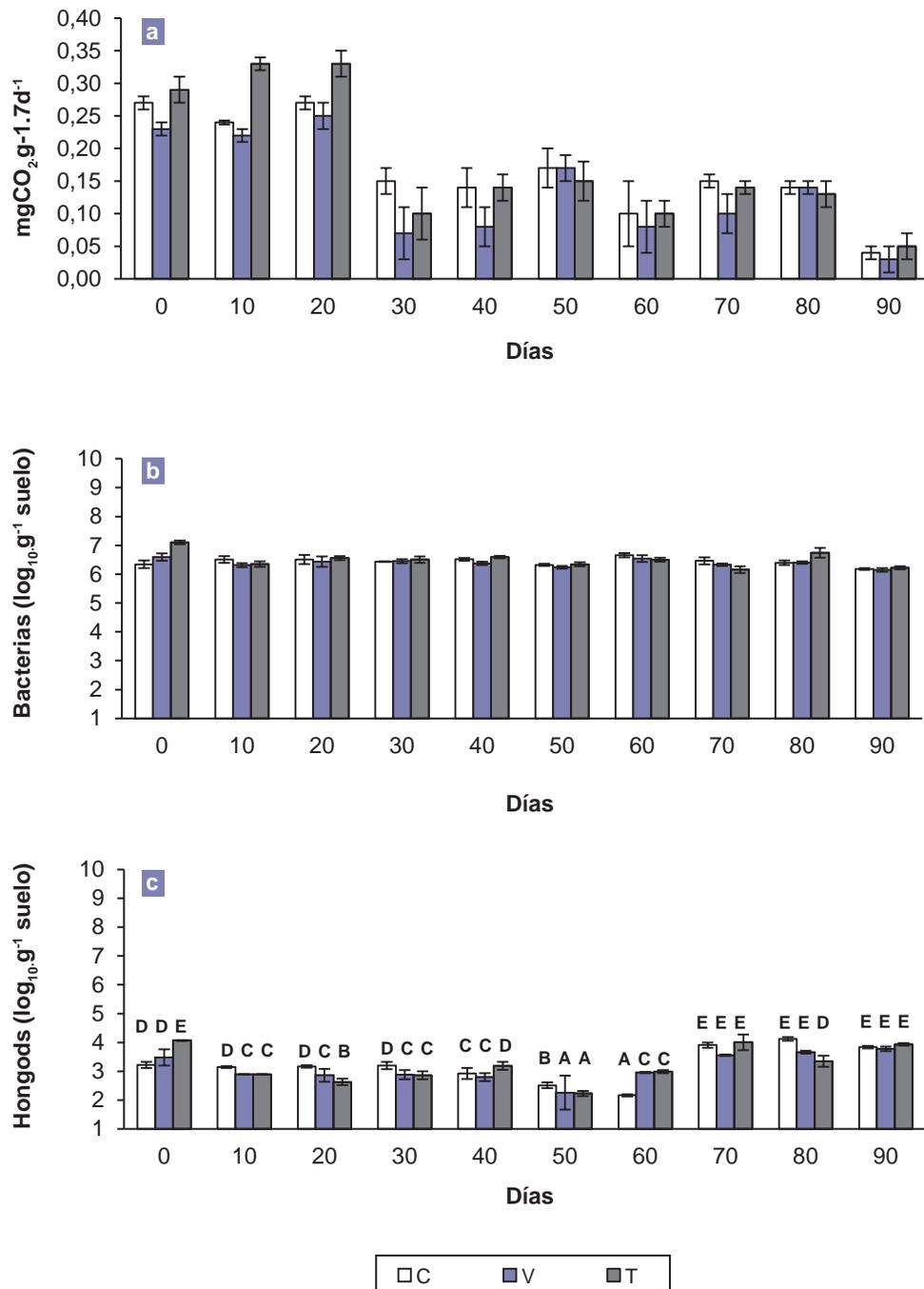


Figura 1. Actividad microbiana total (a) y abundancia de bacterias (b) y hongos (c) totales distribuidas por tratamiento y en función de los días de incubación. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas en la interacción de factores según prueba de medias Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

minuyeron sin diferenciar entre tratamientos. Estos resultados ya habían sido detectado en un ensayo a campo bajo condiciones experimentales similares (Martinez, 2011). El comportamiento de los amonificadores fue muy similar al de la AMT. Esto podría relacionar a estos microorganismos con la actividad global microbiana de ese sistema edáfico. Esta variación en el tiempo de la AMT no discriminó los suelos con o sin abono orgánico, ya que la aplicación

de compost fue tan favorable como el testigo. Este efecto estaría relacionado con una reactivación de la biota nativa del suelo por la optimización de las condiciones ambientales. Los suelos presentarían una flora microbiana nativa potencial que sería posible de dinamizar frente a condiciones bióticas favorables. El descenso de la AMT a través del tiempo se lo relacionó con una maduración del ecosistema a través de una optimización energética por la sucesión mi-

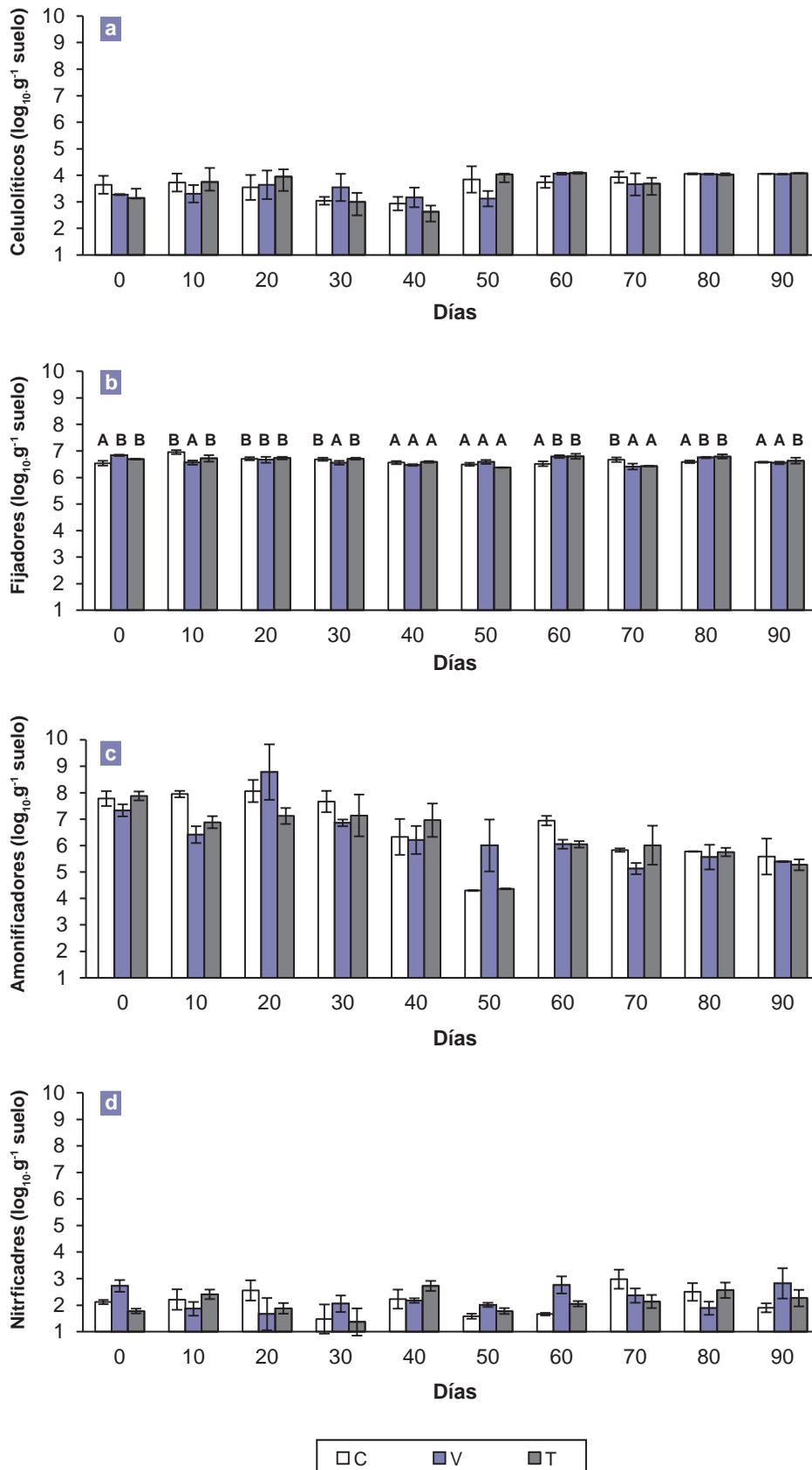


Figura 2. Microorganismos celulolíticos (a), fijadores de nitrógeno (b), amonificadores (c), nitrificadores (d) distribuidas por tratamiento y en función de los días de incubación. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas en la interacción de factores según prueba de medias Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

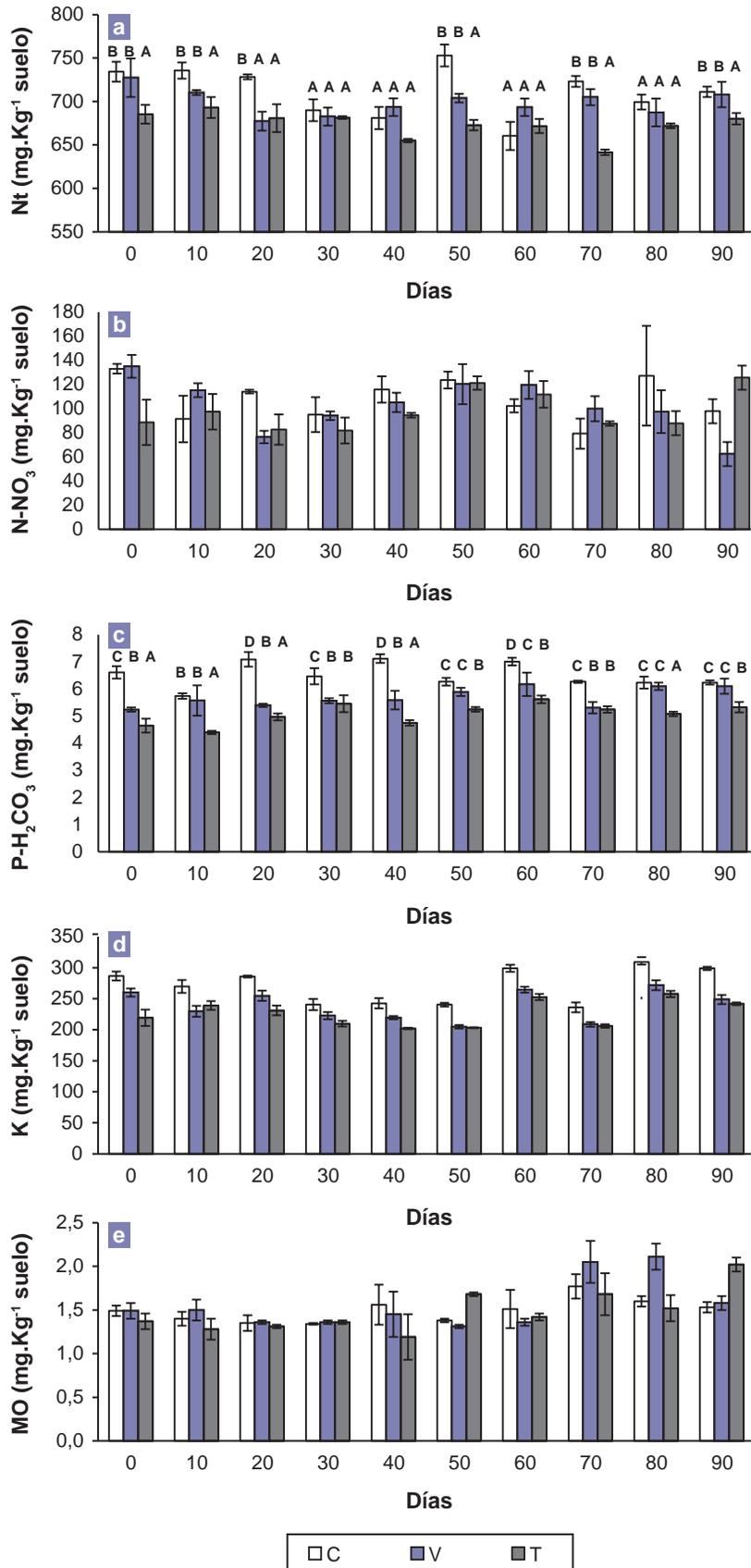


Figura 3. Contenido de N total, N-NO₃, P disponible, K intercambiable expresados en mg Kg⁻¹ y MO expresada en % distribuidos por tratamiento y en función de los días de incubación. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas en la interacción de factores según prueba de medias Scott & Knott (p≤0,05).

crobiana natural (Plaza *et al.*, 2006). Algunos autores consideraron que la AMT podría ser utilizada como indicador de calidad de suelo, pero nosotros solo lo pudimos detectar frente a la optimización de temperatura y humedad (Doran y Zeiss, 2000; Filip, 2002; Abril, 2003; Biederbeck *et al.*, 2005; Van Diepeningen *et al.*, 2006)

Los microorganismos celulolíticos ya habían resultado sensibles a impactos producidos en el suelo (Abril *et al.*, 2005; Paul y Clark, 1989; Abril, 2003; Biederbeck *et al.*, 2005), pero el bajo aporte de materia orgánica por los abonos no fue el factor determinante para el aumento de los microorganismos degradadores de carbono (Bastida *et al.*, 2007; Gomez *et al.*, 2006; Lejon *et al.*, 2007). Esto se dedujo también ya que el incremento de los microorganismos celulolíticos presentó un crecimiento similar al de la materia orgánica. De lo que se podría destacar dos aspectos para analizar más adelante, y es que los microorganismos celulolíticos aprovecharían los nutrientes aportados por el deceso de los amonificadores o que la materia orgánica comienza a consolidarse en materiales más recalcitrantes y estables donde los microorganismos podrían multiplicarse.

Indicadores químicos

Las características químicas del suelo que mejor expresaron su sensibilidad frente a la aplicación de los abonos orgánicos fueron el contenido de N total, P-H₂CO₃ y K intercambiable. El P-H₂CO₃ en los suelos con compost fue mayor a 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 días mientras que al final del ensayo se igualó a la de vermicompost, pero los suelos con abonos fueron superiores al testigo. Similar comportamiento fue hallado en el K intercambiable donde el compost fue mayor durante los 90 días de ensayo, por encima de los suelos con vermicompost y testigo (figura 3). El contenido de nitrógeno total fue mayor en los suelos con abono orgánico respecto del testigo al inicio del ensayo y 40, 50, 70, 80, 90 días. En cambio en N-NO₃ mostró un incremento al inicio del ensayo en los suelos con abonos orgánicos, pero al final del ensayo se revierte este resultado al ser menor en los suelos con compost y vermicompost. El efecto de la aplicación de abonos orgánicos en todos los nutrimentos edáficos resaltó la importancia de aplicación de abonos orgánicos en la fertilidad edáfica y la disponibilidad de ellos para la planta en suelos áridos regadíos. La disponibilidad de nutrientes por el abonado orgánico ha quedado evidenciada en ensayos de campo con el aumento de crecimiento vegetativo y reproductivo y contenidos foliares de macronutrimentos de cultivos (Vallone *et al.*, 2007; Tognetti *et al.*, 2008; Martinez, 2011).

CONCLUSIÓN

La variación temporal de las características químicas del suelo frente al abonado orgánico mostró mayor diferencia que las microbiológicas resultando en indicadores sensibles a la práctica agronómica. El contenido de N total, P-H₂CO₃ y K intercambiable fueron indicadores sensibles potenciales a pesar de la dosis baja de abono orgánico

aplicado. Estos nutrientes edáficos aumentaron con la aplicación de los abonos orgánicos durante los 90 días de incubación. Respecto del tipo de abono, el compost afectó mayormente el contenido de P-H₂CO₃ y K intercambiable, de la misma manera que se había observado en el campo. Para el caso de las características microbiológicas, la AMT, los microorganismos amonificadores y celulolíticos fueron sensibles a la optimización de temperatura y humedad del suelo, y no frente al abonado orgánico. Los microorganismos celulolíticos incrementaron durante la incubación, mientras que los amonificadores disminuyeron.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecol. Austral* 13: 195-204.
- ABRIL, A.; BARTTFELD, P.; BUCHER, E. 2005. The effect of fire and overgrazing disturbs on soil carbon balance in the dry chaco forest. *Ecol. Manage* 206: 399-405.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. 1995. *Methods in applied soil microbiological and biochemistry*. Academic Press. Londres.
- BASTIDA, F.; KANDELER, E.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. 2007. Long-term effect of municipal solid waste amendment on microbial abundance and humus-associated enzyme activities under semiarid conditions. *Microb. Ecol.* 55 (4): 651-61.
- BIEDERBECK, V.; ZENTNER, R.; CAMPBELL, C. 2005. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 37 (10): 1775-84.
- BREMNER, J.; KEENEY, D. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. *Anal. Chim. Acta* 32: 485-95.
- DORAN, J.; ZEISS, M. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
- FILIP, Z. 2002. *International Approach to Assessing Soil Quality by Ecologically-Related Biological Parameters*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 169-74.
- FILIPPINI, M.; ABRIL, A.; CONY, M.; NOÉ, L.; VENIER, M.; CÓN SOLI, D.; VALLONE, R. 2012. Effects of organic amendment application on soil quality and garlic yield in central-western Argentina. *Open Agric. J.* 6: 1-8.
- GOMEZ, E.; FERRERAS, L.; TORESANI, S. 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresour. Technol.* 97 (13): 1484-89.
- INNEREBNER, G.; KNAPP, B.; VASARA, T.; ROMANTSCHUK, M.; INSAM, H. 2006. Traceability of ammonia-oxidizing bacteria in compost-treated soils. *Soil Biol. Biochem.* 38 (5): 1092-1100.
- LEJON, D.; SEBASTIA, J.; LAMY, I.; CHAUSSOD, R.; RANJARD, L. 2007. Relationships between soil organic status and microbial community density and genetic structure in two agricultural soils submitted to various types of organic management. *Microb. Ecol.* 53: 650-63.
- MARTINEZ, L. 2011. Efecto de aplicación de abonos orgánicos sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de suelos bajo cultivo de vid en Mendoza. Universidad de Buenos Aires.
- NIJENSOHN, L. 1991. Fósforo extraíble con agua carbonicada en el diagnóstico del nivel de fertilidad fosfórica en suelos aluviales regadíos. *Actas La II Jorn. Nac. Fósforo Del Suelo. Asoc. Argentina La Cienc. Del Suelo*, 32-36.
- ORTIZ MALDONADO, A. 2001. *Distribución geográfica de los elementos meteorológicos principales y adversidades de Mendoza. Bodegas de Argentina. Ediciones Trunfar.*

PAGE, R.; MILLER, H.; KEENEY, D. 1982. Methods of soil analysis Part 2 - Chemical and Microbiological Properties.

PASCUAL, J.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; AYUSO, M. 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biol. Fertil. Soils* 24: 429-34.

PAUL, E.; CLARK, F. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego: Academic Press.

PLAZA, C.; HERNANDEZ, D.; GARCÍA-GIL, J.; POLO, A. 2004. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. *Soil Biol. Biochem.* 36 (10): 1577-85.

PLAZA, C.; GARCÍA-GIL, J.; POLO, A. 2006. Microbial activity in pig slurry-amended soils under aerobic incubation. *Biodegradation* 18 (2): 159-65.

TOGNETTI, C.; MAZZARINO, M.; LAOS, F. 2008. Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biol. Biochem.* 40 (9): 2290-96.

TORRES, P.; ABRIL, A.; BUCHER, E. 2005. Microbial succession in litter decomposition in the semi-arid chaco woodland. *Soil Biol. Biochem.* 37 (1): 49-54.

VALLONE, R.; VILA, H.; MARTINEZ, L.; FILIPPINI, M.; CONY, M.; ABRIL, A. 2007. Efectos de la aplicación de compost y vermicompost sobre la producción y crecimiento vegetativo en vid. XI Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología.

VAN DIEPENINGEN, A.; DE VOS, O.; KORTHALS, G.; VAN BRUGGEN, A. 2006. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Appl. Soil Ecol.* 31 (1-2): 120-35.

Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes

ROMANIUK, R.¹; NAVARRO, R.²; BELTRÁN, M.¹; EIZA, M.¹; CASTIGLIONI, M.²; MOUSEGNE, F.³

RESUMEN

La mayor participación de la soja entre los cultivos de verano sumada a los largos períodos de barbecho otoño-invernales han dado como resultado una importante reducción en el aporte de residuos y consecuentemente del contenido de materia orgánica edáfica y nutrientes asociados. La intensificación de la secuencia de cultivos a través de la incorporación de cultivos de cobertura (CC) invernales surge como una estrategia sustentable para generar un mayor y más eficiente uso de los recursos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto a corto plazo de la inclusión de trigo y vicia como cultivos de cobertura antecesores a cultivos de maíz y soja, sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes, y sobre las distintas fracciones de la materia orgánica y nutrientes asociados en un Argiudol típico. Se trabajó sobre un ensayo en bloques completamente aleatorizados en la localidad de San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires. Los tratamientos fueron: barbecho/soja, CC trigo/soja, CC vicia/soja, y barbecho/maíz, barbecho/maíz fertilizado, CC trigo/maíz, CC trigo/maíz fertilizado, CC vicia/maíz, CC vicia/maíz fertilizado. A la cosecha de los cultivos de grano se realizaron determinaciones de carbono, fósforo y nitrógeno orgánico particulado, macronutrientes (N, P, Ca, Mg y K) y micronutrientes (Zn, Mn, Fe, Cu) disponibles en los primeros 5 cm de suelo. La utilización de CC incrementó en el corto plazo (un ciclo de cultivo) el carbono, nitrógeno y fósforo de la materia orgánica particulada gruesa del suelo (105 a 2000 μm). Estos incrementos fueron en general mayores cuando se utilizó vicia como CC. Las concentraciones de micronutrientes (Zn, Mn, Cu y Fe) en suelo a la cosecha del cultivo de soja fueron mayores en los tratamientos con CC respecto al testigo. Bajo cultivo de maíz, ambos CC incrementaron las concentraciones de Mg y K en el suelo respecto al barbecho, mientras que el tratamiento con vicia presentó las mayores concentraciones Mn y Fe respecto del trigo ($p < 0.05$). Estos resultados muestran el efecto positivo en el corto plazo de la inclusión de CC, no solo sobre los incrementos en el carbono lábil y los nutrientes asociados (N y P), sino también sobre la disponibilidad de los micronutrientes en el suelo.

Palabras clave: macro y micronutrientes disponibles, carbono, nitrógeno y fósforo particulados, soja, maíz.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Suelos. Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, CP 1686 Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

²Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. CABA, Buenos Aires, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Rural (AER) San Antonio de Areco, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: romaniuk.romina@inta.gob.ar

ABSTRACT

The use of soybean as the main summer crop followed by the long fall-winter fallow periods, have resulted in a significant reduction of residues contribution and consequently, in the edaphic organic matter and associated nutrients. The intensification of the crop sequence by winter cover crops (CC) inclusion emerges as a sustainable strategy to generate a more efficient use of the resources. The aim of this research was to evaluate the short-term effect of the inclusion of wheat and vetch as cover crops predecessor to maize and soybean crops, on the availability of macro and micronutrients, and on the different organic matter fractions and associated nutrients in a *Typic Argiudoll*. The study was carried out in San Antonio de Areco, Buenos Aires province, and consist in a completely randomized block design. The treatments were: fallow / soybean, wheat CC / soybean, vetch CC/ soybean, and fallow / maize, fallow / fertilized maize, wheat CC/ maize, wheat CC / fertilized maize, vetch CC / maize, vetch CC/ maize fertilized. Measurements of available macro (Ca, Mg and K) and micronutrients (Zn, Mn, Fe, Cu) and carbon, phosphorus and nitrogen in different soil fraction were determined in the first 5 cm depth after harvest of the main crops. The inclusion of CC increased the organic carbon, nitrogen and phosphorus in the most labile soil fraction (coarse fraction) in the short term (one crop cycle). These increases were generally higher when vetch was used as CC. After soybean harvest, soil micronutrients concentration (Zn, Mn, Cu and Fe) were higher in the treatments with CC compared to the control. Under maize, both CC increased soil Mg, K in compared to fallow, while the Vetch treatment presented higher Mn and Fe concentrations than the wheat treatment ($p < 0.05$). These results show the positive effect in the short term of the inclusion of CC, not only on the increases in labile carbon and associated nutrients (N and P), but also on the availability of micronutrients in soil.

Keywords: available macro and micronutrients, particulate organic carbon, nitrogen and phosphorous, soybean, maize.

INTRODUCCIÓN

El proceso de agriculturización sufrido en la región pampeana sumado a la mayor participación de la soja entre los cultivos de verano (Restovich *et al.*, 2012) y a los largos períodos de barbecho otoño-invernales dio como resultado una importante reducción en el aporte de residuos y en consecuencia, en el contenido de materia orgánica edáfica, acentuando los procesos de degradación (Quiroga *et al.*, 2009). La ausencia de cultivos durante el invierno implica una pérdida potencial de recursos (agua y radiación solar), que no son aprovechados para producir granos y biomasa (Alvarez, 2014). En este sentido, la intensificación en la secuencia de cultivos genera un mayor y más eficiente uso de los recursos, a partir de la presencia de cobertura vegetal viva durante un intervalo superior (Caviglia *et al.*, 2011; Novelli, 2013). Una de las estrategias para la intensificación en la secuencia de los cultivos es la introducción de cultivos de cobertura (CC) (Bodner *et al.*, 2008).

La inclusión de CC favorece a los servicios ecosistémicos (Kaspar y Singer, 2011). Su utilización ayuda a prevenir la erosión del suelo (Kaspar *et al.*, 2001), incrementa la retención de nutrientes (Kaspar *et al.*, 2007), y colabora con el control de malezas (Liebman y Davis, 2000). Finalmente, a partir de la descomposición y posterior mineralización de los residuos, parte de estos nutrientes quedan disponibles en el suelo para ser absorbidos por los cultivos estivales. La dinámica de la mineralización neta del nitrógeno dependerá de la relación carbono/nitrógeno y de la concentración de lignina y celulosa (Ranells y Waggoner, 1996) del cultivo de

cobertura utilizado. La incorporación de leguminosas como CC es ampliamente difundida debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Reicosky y Forcella, 1998), con el consecuente enriquecimiento de nitrógeno edáfico (N) y disponibilidad de N para los cultivos (Kuo y Jellum, 2000). Por su parte, la presencia de una gramínea invernal es útil para absorber nitratos residuales, aportar carbono (C), nitrógeno, azufre (S) y fósforo (P), e incrementar la cobertura de suelo durante el período invernal (Ruffo, 2003).

La habilidad en lograr una producción sustentable a partir de la inclusión de cultivos de cobertura resultará, entre otras cosas, en poder comprender cómo las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo son afectadas y cómo ello se relaciona con los cambios en la fertilidad química de los suelos. La inclusión de cultivos de cobertura puede incrementar el contenido de materia orgánica (Scianca *et al.*, 2006; Sainju *et al.*, 2007; Restovich *et al.*, 2011), favoreciendo el aumento en la concentración de nutrientes (Fernandez *et al.*, 2012), en especial a través del incremento en las fracciones más lábiles de la materia orgánica (Janzen *et al.*, 1992). Scianca *et al.* (2006); Álvarez *et al.* (2008); Basanta *et al.* (2010) y Cazorla *et al.* (2010) observaron un efecto positivo y de corto plazo de los cultivos de cobertura bajo siembra directa sobre la fracción lábil de la materia orgánica.

Aunque hay estudios que muestran incrementos en el contenido de carbono de los suelos y su distribución entre las diferentes fracciones ante la inclusión de cultivos de cobertura, es escasa la información acerca del aporte de

N y ciclado de macronutrientes, y en menor medida, en micronutrientes por parte de los CC. El cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) son los micronutrientes mayormente vinculados con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Ratto, 2006). Debido a que en la región pampeana no son frecuentes las fertilizaciones con micronutrientes, la principal fuente de micronutrientes para los cultivos es la materia orgánica (Galantini *et al.*, 2008). La concentración de micronutrientes en el suelo puede llegar a variar no solo debido al manejo y su efecto sobre el contenido de materia orgánica, sino también de acuerdo al cultivo utilizado.

Dada la cantidad de factores involucrados (clima, suelo y manejo) y la fuerte interacción que hay entre ellos durante el ciclo del cultivo de cobertura y el barbecho posterior, los efectos de incluir cultivos de cobertura en la rotación sobre la calidad de los suelos y los rendimientos resultan muy variables entre sitios (Unger y Vigil, 1998). Es por ello que es necesario expandir los ensayos de acuerdo a la región y sistema de manejo, a fin de poder generar información acerca del efecto del uso de diferentes CC sobre la calidad de los suelos. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto a corto plazo de la inclusión de trigo y vicia como cultivos de cobertura antecesores a cultivos de maíz y soja, sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes, y su efecto sobre las distintas fracciones de la materia orgánica y nutrientes asociados en un Argiudol típico del partido de San Antonio de Areco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de área de estudio

El estudio se desarrolló en el período junio de 2014-julio de 2015, en establecimiento La Fe, ubicado en el partido de San Antonio de Areco, prov. de Bs. As. La unidad cartográfica correspondiente al área de estudio presenta un 100% de la serie de suelos Capitán Sarmiento (mapas de suelo INTA). Dicha serie es por superficie y capacidad productiva, la más importante del partido de San Antonio de Areco, habiendo sido clasificada como un Argiudol, fino, illítico, muy profundo, de textura franco arcillo limosa, y 3.4% de materia orgánica en el horizonte superficial. La temperatura media es de 16.5 °C, produciéndose las temperaturas medias mensuales más bajas en junio y julio, mientras que las medias mensuales más altas ocurren de diciembre a marzo. Por su parte, la precipitación media anual regional es de 1084 mm, ocurriendo el 75% de estas en primavera-verano.

Diseño experimental

El sitio de estudio estuvo en los diez años previos bajo agricultura continua con siembra directa; la sucesión de cultivos desde la campaña 2007/2008 fue la siguiente: maíz-barbecho-soja- maíz-verde de invierno-verde de invierno-verde de invierno/soja. En 2014 se inició el ensayo de cultivos de cobertura, siendo las especies utilizadas: vicia (*Vicia sativa* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), consi-

derando también una situación sin CC (testigo). El ensayo consta de tres bloques de 40 x 30 m. Dentro de cada bloque se delimitaron las parcelas de 8 x 30 m, donde se establecieron los tratamientos. Posteriormente, a la siembra de los cultivos de grano cada parcela se subdividió en dos subparcelas de 8 x 15 m, sembrándose soja (*Glycine max* L.) y maíz (*Zea mays* L.) en cada una de ellas. Al momento de la fertilización del maíz (estado V6), las parcelas que presentaban dicho cultivo se volvieron a dividir para determinar dos niveles de fertilización (0 y 150 kg ha⁻¹ de N). Por lo tanto, cada bloque incluyó tres tratamientos conformados por dos cultivos de cobertura de invierno, trigo y vicia y un barbecho, sobre cada uno de los cuales se implantaron dos cultivos de grano, soja y maíz, estando el maíz afectado a dos niveles de fertilización: sin fertilizar, y fertilizado.

Se trabajó bajo un diseño de parcelas divididas con dos factores (cultivos de cobertura y cultivos de grano). Para el caso del maíz se procedió de igual manera con los factores cultivos de cobertura y nivel de fertilización. En cada caso se analizó la existencia de interacción entre factores, a fin de realizar el análisis de forma conjunta o separada.

Las densidades de siembra para el trigo y la vicia fueron de 110 y 70 kg ha⁻¹, respectivamente. A la siembra, la vicia fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*. El ciclo de los CC se interrumpió 3 meses posteriores a la siembra con 4 L ha⁻¹ de glifosato (48% principio activo). El cultivo de soja se inoculó con *Bradyrhizobium* sp. Para la fertilización del maíz se aplicó urea al voleo en el entresurco.

Se tomaron muestras de suelo a la cosecha de los cultivos de grano a 0-5 cm de profundidad.

Determinaciones analíticas y análisis estadístico

A la cosecha de los cultivos de grano se realizó la determinación de macro (Ca, Mg, K) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). Para la extracción de bases: calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), se utilizó el método del acetato de amonio (NH₄ C₂ H₃ O₂) 1 N a pH 7.0 (Peech *et al.*, 1947). Para la cuantificación de micronutrientes asimilables: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se realizó la extracción con DTPA (pH: 7.3). Las concentraciones de macro y micronutrientes en los extractos se midieron con equipo de espectrofotometría de absorción atómica (SpectraAA-140, Varian Pty Ltd. Belrose, Australia).

Para la determinación de carbono, nitrógeno orgánico y fósforo total en fracciones de diferente labilidad se realizó un fraccionamiento físico de muestras de suelo (Cambardella y Elliott, 1992), modificado por Galantini (2005). Para ello, se pesaron 50 g de suelo secado al aire y tamizado (2 mm), y se agregaron 100 ml de agua destilada. A continuación, las muestras se sometieron a dispersión mecánica a través de un agitador rotatorio durante 16 horas a 40 rpm para desintegrar los agregados. Las muestras de suelo dispersadas fueron pasadas por un juego de tamices de 105 µm y 53 µm de abertura. Se obtuvieron, entonces, tres fracciones de suelo: una fracción particulada gruesa

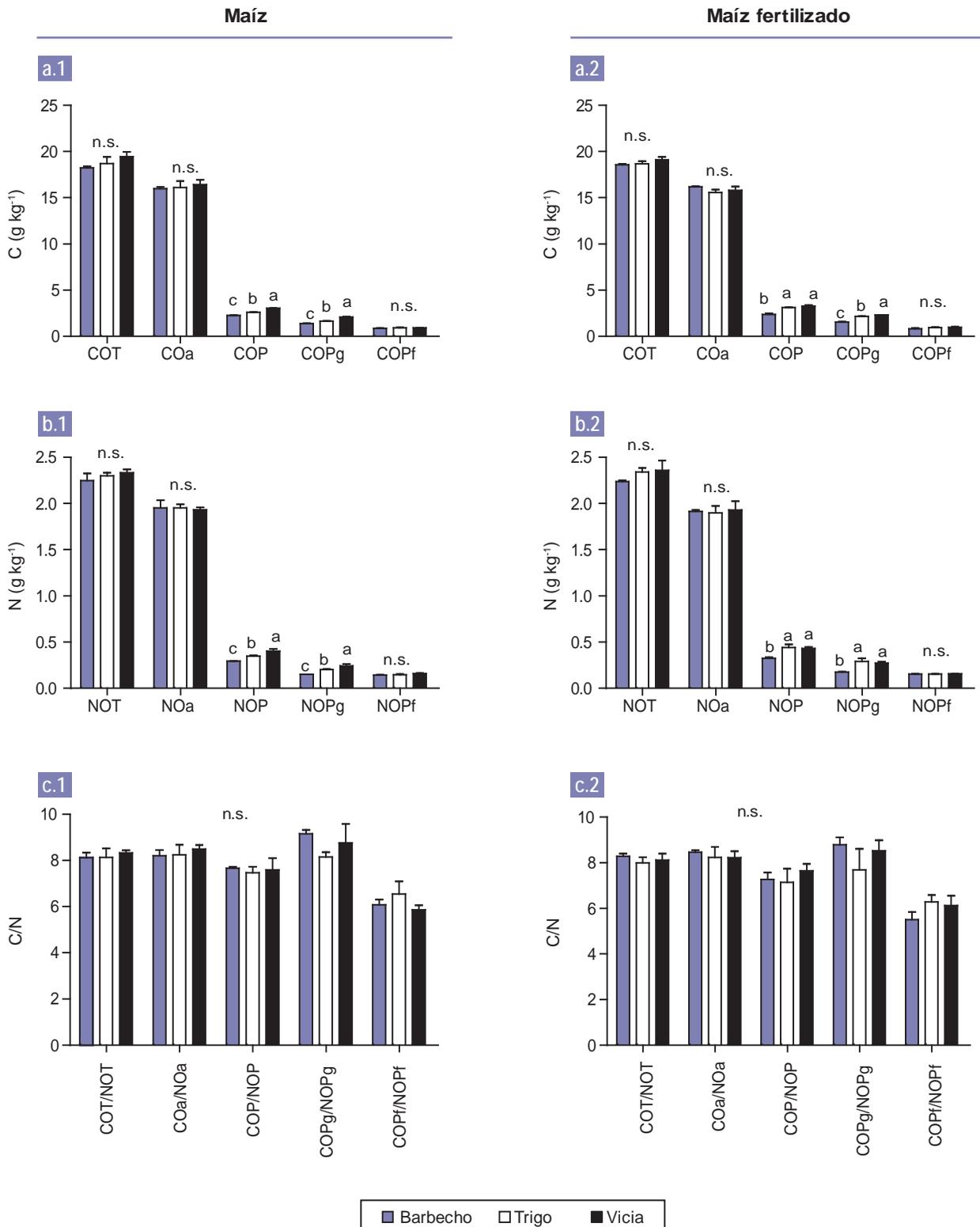


Figura 1. Valores medios y error estándar de a) carbono orgánico total (C) y b) nitrógeno total (N), c) relación C/N en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de 1) maíz, 2) maíz fertilizado para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado a las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico asociado a las arcillas, NOa: nitrógeno orgánico asociado a las arcillas, NOPg: nitrógeno orgánico particulado grueso, NOPf: nitrógeno orgánico particulado fino, NOP: nitrógeno orgánico asociado a las arcillas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

(105-2000 μm); una fracción particulada fina (53-105 μm) y la fracción asociada a las arcillas ($< 53 \mu\text{m}$). El material retenido en cada tamiz se transfiere a bandejas de aluminio por medio de chorros de agua, y luego es secado en estufa a 80 °C hasta lograr la completa evaporación del agua. El contenido de C en las fracciones gruesa (COPg) y fina (COPf) se determinó según Walkey y Black (1934). El nitrógeno orgánico total de la fracción gruesa (NOPg) y de la fracción fina (NOPf), se determinó mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1996). La cuantificación del P total en la fracción gruesa (POPg) y en la fracción fina (POPf) se realizó por digestión húmeda con una mezcla de ácido nítrico y perclórico (relación 2:1). Las lecturas de Pt se hicieron por colorimetría con el método del molibdato de amonio, con un espectrofotómetro METROLAB 1700, a una longitud de onda de 820 nm (Murphy y Riley, 1962). El contenido de C, N y P en la fracción asociada a las arcillas (COa, NOa y POa, respectivamente) se determinaron por diferencia entre el contenido en la muestra de suelo sin fraccionar (COT, NOT y Pt) y la suma del contenido en la fracción fina + la fracción gruesa, que corresponde a las fracciones particuladas totales (COP, NOP y POP).

Previo a cualquier análisis de los datos se verificó que las variables tuviesen distribución normal, utilizando el procedimiento de Shapiro Wilks. Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) y posteriormente para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia de medias significativas de Fisher (DMS) con un nivel de significancia de 0.05. También se hicieron análisis de regresión lineal simple entre las relaciones de C/N y C/P de las diferentes fracciones con el C, N y P en las mismas fracciones. Se utilizó el Software InfoStat, versión 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono, Nitrógeno y relación C/N en las diferentes fracciones de suelo

Maíz

Bajo cultivo de maíz fertilizado y no fertilizado, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el COT, COPf y COa, independientemente del CC utilizado (Figura 1a.1 y a.2). Sin embargo, el COP y COPg bajo cultivo maíz fueron significativamente mayores en el tratamiento con vicia como CC, seguido por el de trigo y finalmente el barbecho, con incrementos relativos respecto al barbecho de 34% y 51% para COP y COPg respectivamente cuando el CC fue vicia, y 20% y 15% con trigo como CC. Los valores de COPg se incrementaron significativamente ($p < 0.05$) para los tratamientos con CC cuando el maíz fue fertilizado. Estos incrementos fueron en promedio de 10.6% (2.09 a 2.31 g kg^{-1}) y 30% (1.65 a 2.15 g kg^{-1}) para vicia y trigo, respectivamente. Migliarina *et al.* (2000) observaron que la inclusión de CC combinada con prácticas de fertilización incrementa los efectos positivos sobre las fracciones orgánicas. Estos resultados concuerdan con los hallados por Fabrizzini *et al.* (2003), quienes manifestaron que las fracciones lábiles de C son las que mejor responden a las va-

riaciones causadas por las diferentes prácticas de manejo, especialmente la fracción gruesa (COPg). Según Janzen *et al.* (1998), la acumulación en el corto y mediano plazo del C correspondiente a la fracción gruesa en respuesta a los cambios en las prácticas de manejo puede ser atribuida principalmente a la acumulación de materiales orgánicos lábiles parcialmente descompuestos.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para NOT, NOPf y NOa independientemente de la fertilización (figura 1b). Por su parte, el NOP y el NOPg fueron estadísticamente mayores en el tratamiento con vicia, seguido por el de trigo, con los valores menores para el barbecho (figura 1b.1). Cuando el cultivo de maíz fue fertilizado (figura 1 b.2), los valores de NOP y NOPg en las parcelas provenientes de trigo, igualaron estadísticamente a los correspondientes del CC vicia, siendo ambos mayores que en el barbecho ($p < 0.05$). Los incrementos del NOPg en el tratamiento con trigo como CC fueron de un 29% ($p < 0.10$) cuando el maíz fue fertilizado respecto al mismo tratamiento sin fertilizar, sin diferencias significativas para el tratamiento con vicia.

Según los datos observados en la figura 1c, no se advirtieron diferencias significativas en la relación C/N en las distintas fracciones de suelo estudiadas bajo cultivo de maíz, independientemente de la fertilización aplicada.

Soja

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para COT y Coa bajo cultivo de soja (figura 2a). Por su parte, las fracciones COPg, COPf y COP fueron estadísticamente mayores en el tratamiento con vicia, seguido por el de trigo, siendo los menores valores los encontrados en el barbecho. La cantidad de COPg acumulado en el suelo con vicia fue 4% mayor que con trigo y 7% más que bajo barbecho. Al igual que lo discutido para el maíz, estos resultados se deben a que el COPg es sensible a los efectos del manejo en el corto y mediano plazo (Galantini *et al.*, 2013), y por lo tanto el incremento de C en la fracción lábil, responde principalmente a la presencia de rastrojo en superficie que provoca un intenso reciclaje de este elemento en los primeros centímetros del suelo (Wander, 2004). Este comportamiento también obedece a la mayor rapidez en la descomposición de los rastrojos de las leguminosas en comparación con las gramíneas. En este sentido, el aporte de material orgánico de fácil descomposición aportado por la vicia pudo haber estimulado el incremento de C en la fracción gruesa, mientras que en el barbecho luego de un período sin aportes de C aumentaría la proporción de material más resistente. Investigaciones previas (Ding *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2006; Scianca *et al.*, 2006) determinaron que los CC pueden realizar un aporte significativo de C, incidiendo tanto en la cantidad como en la calidad de la materia orgánica.

En la figura 2b, puede observarse que el N siguió una tendencia similar a la encontrada en el carbono del suelo en las diferentes fracciones, al igual que para el caso del

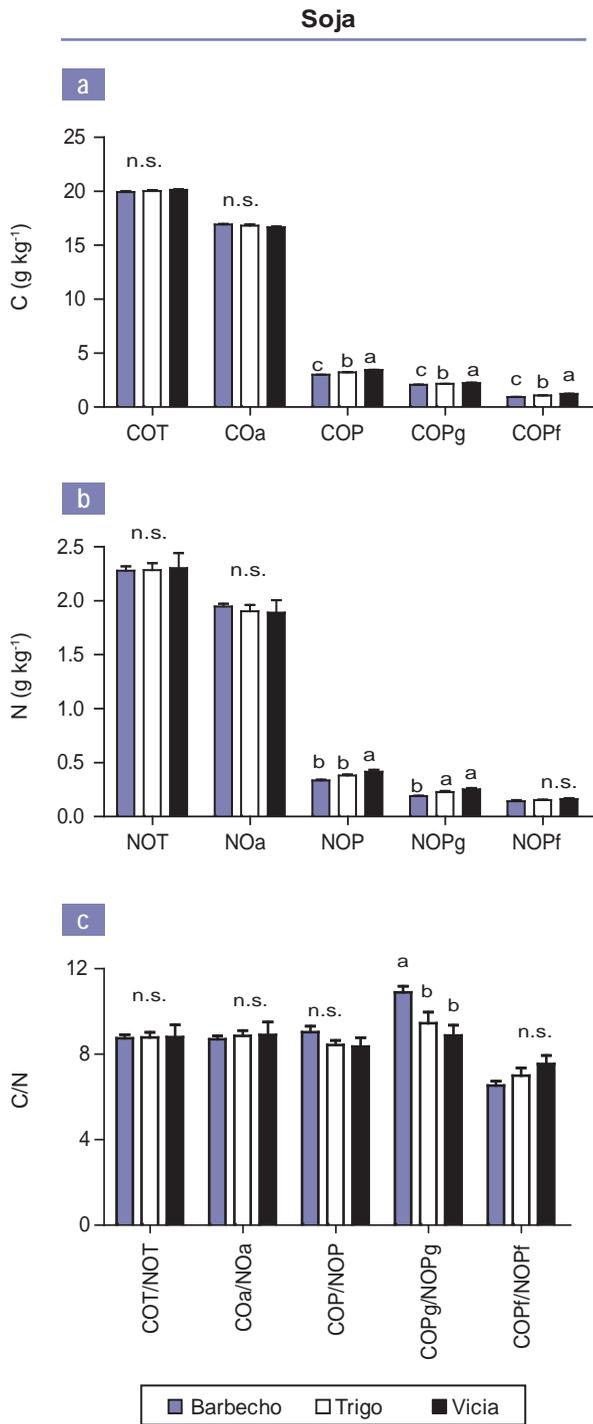


Figura 2. Valores medios y error estándar de a) carbono orgánico total (C) y b) nitrógeno total (N), c) relación C/N en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de soja para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. COT: carbono orgánico total, CO a: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total, NOa: nitrógeno orgánico asociado con las arcillas, NOPg: nitrógeno orgánico particulado grueso, NOPf: nitrógeno orgánico particulado fino, NOP: nitrógeno orgánico particulado. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

maíz. Debido a que la mayoría del N del suelo es orgánico, existe siempre una estrecha asociación entre los contenidos de materia orgánica del suelo y de N total del suelo. El NOPg fue estadísticamente mayor cuando se incluyeron los CC respecto al barbecho, sin presentarse diferencias entre vicia y trigo (figura 2b). A su vez, el NOP incrementó estadísticamente sus valores solo con vicia como CC. Al evaluar la relación C/N en las diferentes fracciones (figura 2c), solo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la relación COPg/NOPg. En este caso pudo observarse una disminución significativa en dicha relación cuando el CC fue la vicia, respecto a los otros dos tratamientos evaluados. Esto podría estar asociado con la mayor concentración de N presente en el rastrojo de las leguminosas, en comparación con la de trigo (Galantini *et al.*, 1992). Una mayor cantidad de N favorece el crecimiento de la comunidad microbiana, lo cual incrementa a su vez la pérdida de C como CO₂ en el proceso de respiración de los microorganismos (Colozzi-Filho *et al.*, 2001).

En la figura 3 puede observarse que la variación en la relación COPg/NOPg fue debido al incremento del NOP g, sin tener el COPg mayor influencia. Estos resultados coinciden con los reportados por Beltran *et al.* (2015), quienes evaluaron en un Argiudol típico la respuesta a la inclusión de trigo como CC en distintas secuencias de cultivos.

Álvarez y Álvarez (2000) concluyeron que la mineralización de C y N están más asociadas a las fracciones lábiles del C que al COT. De esta manera las fracciones lábiles de carbono podrían representar el tamaño del compartimiento fácilmente mineralizable de nutrientes, siendo de gran utilidad para el diagnóstico del potencial de mineralización de N del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003).

Fósforo total (P) y relación C/P en las diferentes fracciones de suelo

Maíz

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para Pt, POPf y POa bajo cultivo maíz, independientemente de la fertilización (figura 4a1 y 4a2). La incorporación de vicia como CC fue el único tratamiento que incrementó los valores de P ligado a la fracción gruesa y el P de la fracción particulada. Según Damon *et al.* (2014) los residuos de cultivos con baja concentración de P, como el rastrojo de los cereales, no realizaría una contribución significativa a la disponibilidad de P en el suelo a corto o largo plazo. Sin embargo, un abono verde productivo podría liberar suficiente P para cumplir con los requisitos de un cultivo de grano posterior.

La fertilización provocó un incremento promedio de 23% en el fósforo presente en la fracción particulada gruesa (POPg) en el tratamiento con trigo como CC ($p < 0.05$, datos no mostrados). El bajo incremento debido a la fertilización en el tratamiento con vicia como CC puede estar asociado a la mayor concentración de P que presenta la vicia respecto al trigo en sus tejidos vegetales (Malavolta,

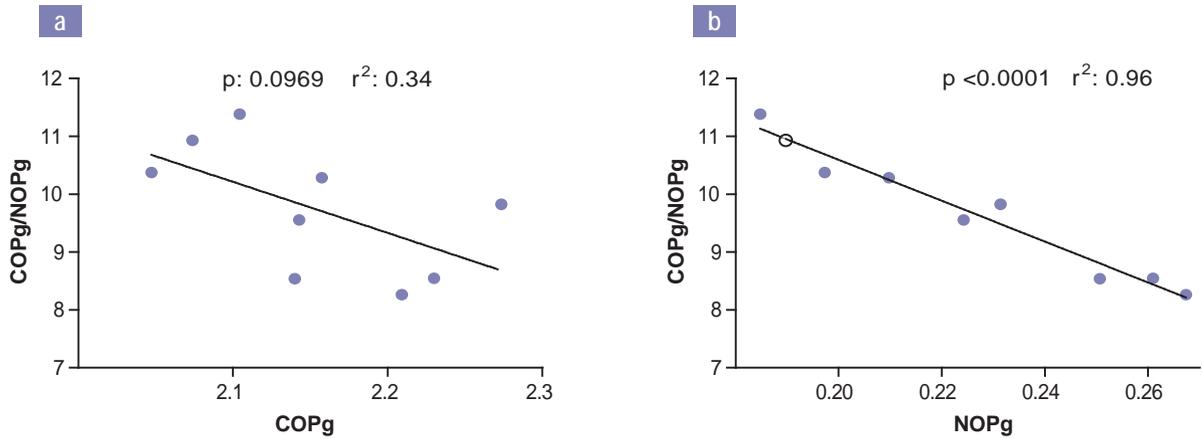


Figura 3. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/NOPg y COPg; b) relación COPg/NOPg y NOPg. NOPg: nitrógeno particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

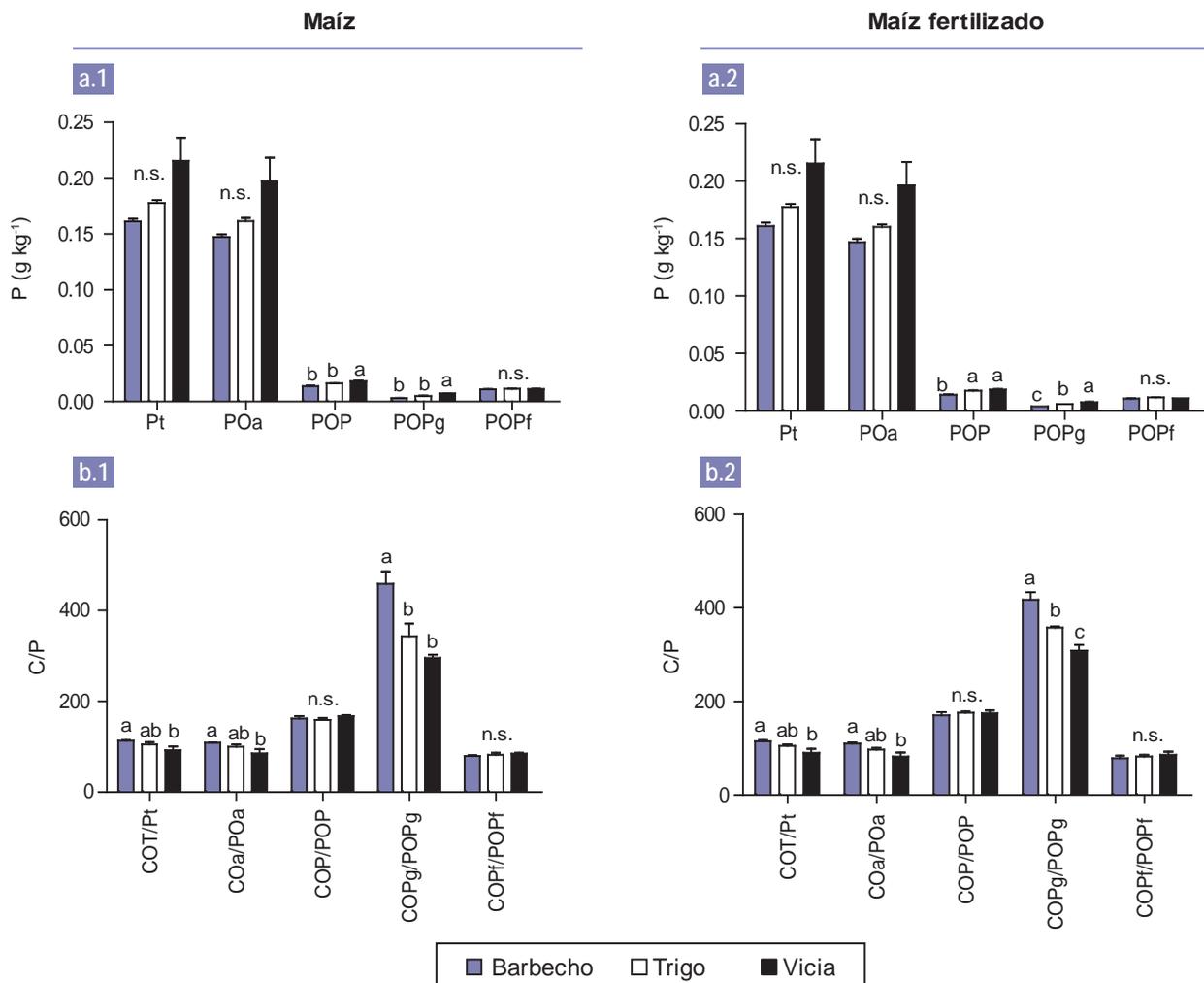


Figura 4. Valores medios y error estándar de a) fósforo total (P) y b) relación C/P en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de 1) maíz y 2) maíz fertilizado para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. Pt: fósforo total, POa: fósforo asociado a las arcillas, POP: fósforo particulado total; POPg: fósforo particulado grueso, POPf: fósforo particulado fino, COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

1987). Debido a que los residuos de trigo presentan menor concentración de P, el efecto de la fertilización pudo causar un incremento de la actividad biológica, acelerando la descomposición de los residuos, e incorporándose parte de estos en la fracción gruesa.

Se observaron variaciones en la relación C/P (figura 4b) en las fracciones total, asociada con las arcillas y mayormente en la particulada. La fracción de P particulado grueso es la que registró los mayores cambios, con una disminución significativa en la relación C/P al incorporar los CC, de 44,5% y 24,5%, para vicia y trigo respectivamente. En el maíz fertilizado, esta disminución fue significativamente mayor para el tratamiento con vicia. Considerando que la fracción gruesa está principalmente compuesta por restos del residuo del cultivo que aún no ha sido completamente incorporado a la MO, estos resultados pueden denotar la mayor concentración de P presente en los residuos del cultivo de vicia. La composición química de los residuos del cultivo es un factor importante que incide en la liberación de P al suelo. En un ensayo realizado por Lupwayi *et al.* (2007) encontraron que la liberación de P estuvo asociada con la mayor cantidad de P en los tejidos del trébol rojo en comparación con otros residuos de cultivos (arveja, canola y trigo).

Contrariamente a lo observado para la relación C/N (figura 1c) donde dicha relación no se vio afectada, en el caso de la relación C/P se observaron variaciones en las relaciones COT/Pt, COa/POa y COPg/POPg. Esta diferencia podría estar asociada con las mediciones que se realizan en ambos casos son de N y P total, siendo que en el caso del N aproximadamente un 95% se encuentra formando parte de compuestos orgánicos, mientras que en el P, la fracción orgánica representa entre 78% y 83% en suelos Molisoles (Picone *et al.*, 2001). Por este motivo al medir el P en las fracciones de menor tamaño, mayormente asociadas al componente mineral podemos estar cuantificando diferencias en las formas inorgánicas, lo que no sucedería

para el caso del N, donde solo un 5% o menos está en forma inorgánica.

En la figura 5 puede observarse que la variación en la relación COPg/POPg estuvo influenciada tanto por el COPg como por el POPg. Sin embargo la influencia del POPg fue mayor, por lo que la disminución en los valores de la relación COPg/POPg estarían mayormente asociados con incrementos en el POPg observados en los tratamientos con CC, en especial con vicia.

Soja

Al igual que en el cultivo de maíz, no se comprobaron diferencias significativas entre tratamientos para Pt, POPf y POa bajo cultivo de soja (figura 6a). En cambio el fósforo ligado a la fracción gruesa y el P particulado presentaron diferencias significativas. Al comparar los valores de POPg entre tratamientos pudo observarse que el tratamiento con CC vicia fue el que presentó los mayores valores, seguido por el tratamiento con trigo como CC, y finalmente el barbecho con los menores valores.

Las plantas absorben el P desde la fracción soluble del suelo, la que a su vez es abastecida por fracciones lábiles de naturaleza orgánica e inorgánica. Esta fracción de P lábil está en equilibrio con fracciones moderadamente lábiles y de muy baja labilidad (Ciampitti, 2009). El fósforo asociado con la fracción de la materia orgánica particulada es sensible a los cambios en la actividad microbiana (Chauhan *et al.*, 1979) y presenta un rápido ciclo (Tieszen *et al.*, 1983). Varios autores han reportado cambios rápidos durante la descomposición de los residuos (Phiri *et al.*, 2001; Salas *et al.*, 2003). A su vez, que dentro de los residuos de los CC (y, en consecuencia, de la materia orgánica particulada) podría haber una fracción de P inorgánico que se liberaría de un modo relativamente rápido (Damon

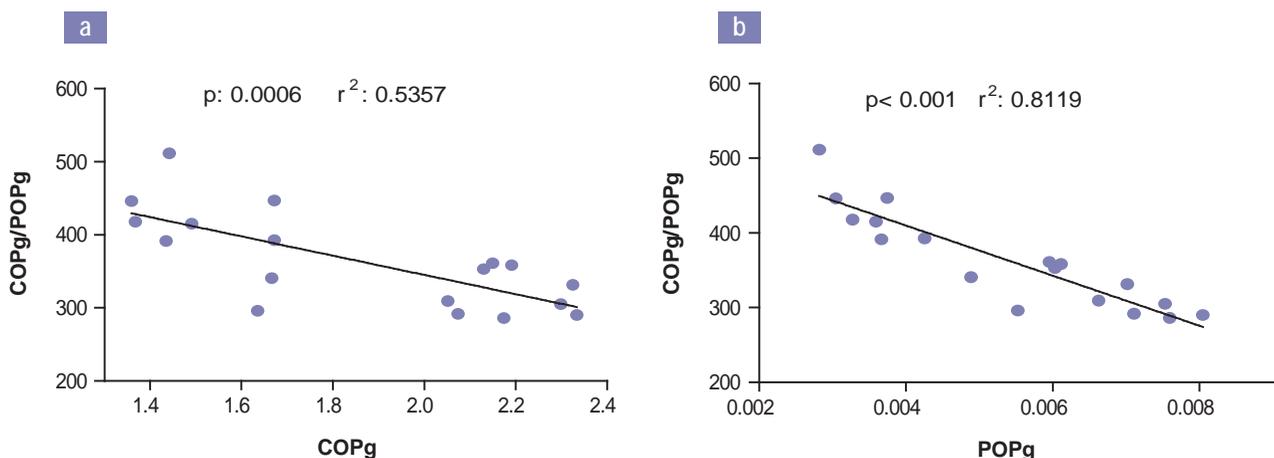


Figura 5. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/POPg y COPg; b) relación COPg/POPg y POPg bajo cultivo de maíz, considerando todos los tratamientos. POPg: fósforo particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

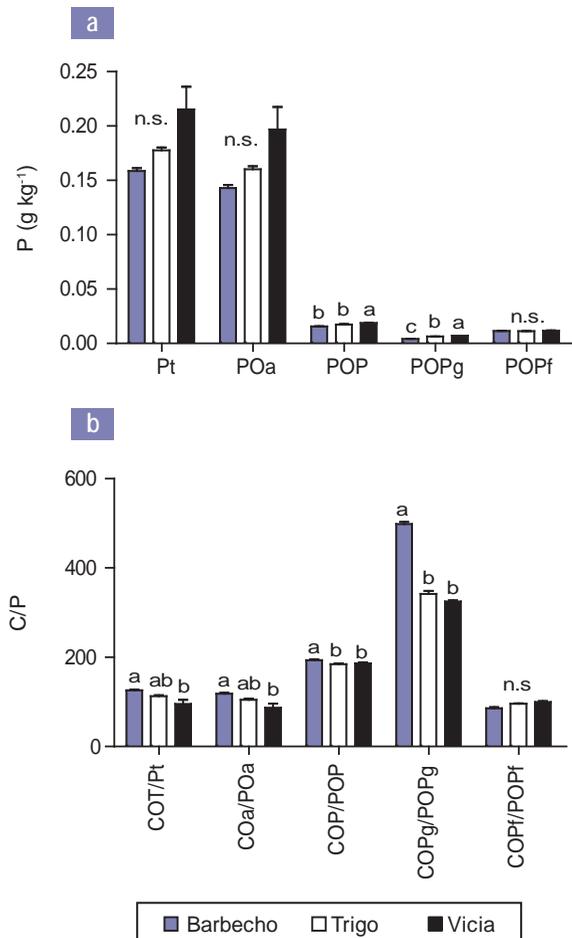


Figura 6: Valores medios y error estándar de a) fósforo total (Pt) y b) relación C/P en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de Soja para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. Pt: fósforo total, POa: fósforo asociado con las arcillas, POP: fósforo particulado total; POPg: fósforo particulado grueso, POPf: fósforo particulado fino, COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

et al., 2014). Esta dinámica difiere de la observada para los nutrientes C y N dentro de la misma fracción. Varios trabajos muestran que los manejos que modifican la actividad microbiana, como las labranzas conservacionistas y la inclusión de CC, mejoran el ciclo del P (Zibilske *et al.*, 2003). Suñer *et al.* (2002) observaron que la fracción de P más afectada por el manejo agrícola es la asociada con los residuos semitransformados o materia orgánica particulada, principalmente la fracción más gruesa.

En la figura 7b puede observarse que las mayores variaciones en la relación C/P estarían ocurriendo en la fracción particulada gruesa, la cual está compuesta mayormente por restos de tejidos en proceso de descomposición. En este caso, al igual que lo observado bajo cultivo de maíz,

la inclusión de los CC disminuyó significativamente dicha relación en promedio un 49% ($p < 0.05$). El aporte de los residuos de trigo y vicia enriquecería en C y P a la fracción particulada, aunque dicha relación estaría mayormente influenciada por los incrementos en el P (figura 7).

Macroelementos (Ca, Mg y K) y microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu) disponibles en el suelo

Las concentraciones de Ca no presentaron variación significativa entre tratamientos, tanto bajo cultivo de maíz como de soja. Bajo cultivo de maíz los valores de Mg y K se incrementaron en promedio un 30% y 10% respectivamente al incorporar los CC, respecto al barbecho. El aumento de los contenidos de dichos elementos en el suelo posiblemente se debe al efecto de los CC en el reciclaje y movilización de formas estables, convirtiéndolos en forma asimilables para las plantas. La descomposición de los residuos de las plantas genera ácidos orgánicos fundamentales en el proceso de solubilización de los minerales del suelo (Senaratne y Hardarson, 1988). A su vez, los cultivos de cobertura presentan un efecto estratificador sobre las concentraciones de nutrientes, debido a que producen un incremento de estos en superficie (Calegari *et al.*, 2013). Los nutrientes son absorbidos por los CC en su etapa de crecimiento desde capas superficiales y subsuperficiales, y luego, al secarse e incorporarse como residuos en la superficie del suelo y durante la descomposición de los residuos se produce su liberación y acumulación en los primeros centímetros del suelo. Estos son acumulados por los cultivos durante la estación de crecimiento y cuando el CC es secado, estos nutrientes van quedando lentamente disponibles durante la descomposición.

A la cosecha del maíz las mayores concentraciones de Mn y Fe en suelo se observaron en el tratamiento con vicia como CC (con incrementos de 41% y 20% respecto al barbecho, respectivamente), mientras que las concentraciones de Zn y Cu no variaron entre los distintos tratamientos. Cuando el maíz fue fertilizado las concentraciones de Zn aumentaron un 22% y 3% para los tratamientos con CC de vicia y trigo respectivamente ($p < 0.05$) en comparación con el maíz sin fertilizar (datos no mostrados). En el caso del Mn y Fe se registraron incrementos significativos cuando el CC fue trigo, con aumentos del 7% y 6% respectivamente, en comparación con el mismo tratamiento en el maíz sin fertilizar (datos no mostrados). La fertilización aplicada pudo haber acelerado la tasa de descomposición de los rastrojos de los CC con la consecuente liberación de estos elementos hacia las fracciones más lábiles del suelo.

A la cosecha de la soja, las mayores concentraciones de los micronutrientes se presentaron bajo el cultivo de vicia diferenciándose estadísticamente del barbecho. Esto, al igual que para el cultivo de maíz, puede explicarse por la mayor labilidad del rastrojo de vicia, lo que genera una liberación más rápida de los elementos presentes en sus tejidos. A su vez las concentraciones de Zn y Mn no variaron entre los distintos CC, pero sí con respecto al barbecho ($p < 0.05$), con incrementos promedio del 37% y 19% respectivamente. Con

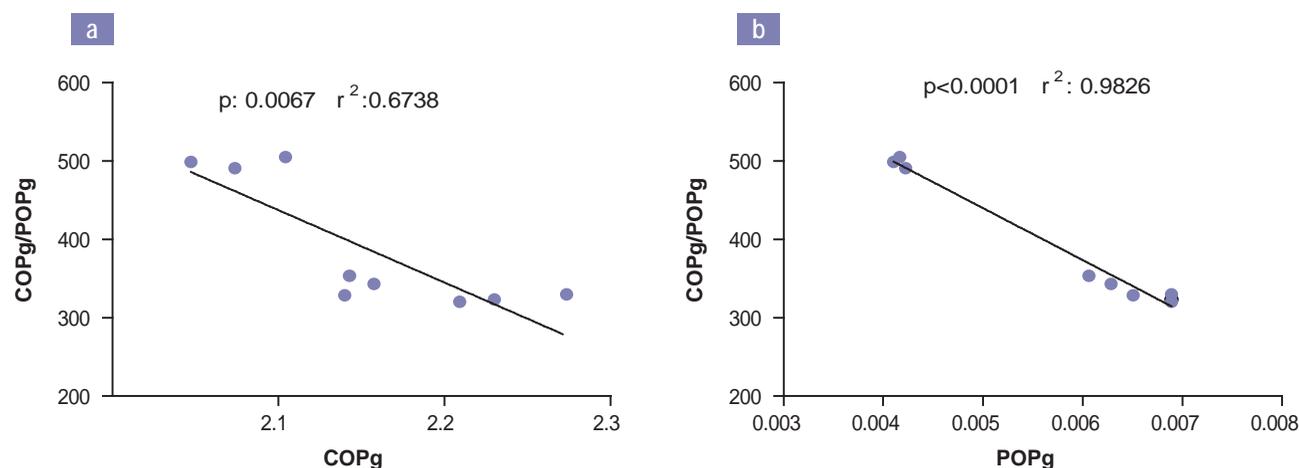


Figura 7. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/Ppg y COPg; b) relación COPg/POPg y POPg bajo cultivo de soja, considerando todos los tratamientos. POPg: fósforo particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

		Barbecho		Trigo		Vicia	
Macronutrientes (g kg⁻¹)							
Maíz	Ca	2.10	a	2.28	a	2.20	a
	Mg	0.23	b	0.31	a	0.29	a
	K	0.53	b	0.59	a	0.58	a
Maíz Fertilizado	Ca	2.10	a	2.31	a	2.31	a
	Mg	0.28	b	0.30	ab	0.30	a
	K	0.54	b	0.60	a	0.60	a
Soja	Ca	2.03	a	2.31	a	2.28	a
	Mg	0.22	a	0.31	a	0.29	a
	K	0.43	a	0.59	a	0.60	a
Micronutrientes (mg kg⁻¹)							
Maíz	Zn	1.44	a	1.54	a	1.59	a
	Mn	37.09	b	43.73	b	52.31	a
	Cu	0.70	a	0.76	a	0.81	a
	Fe	56.62	b	59.52	b	68.45	a
Maíz Fertilizado	Zn	1.47	b	1.59	b	1.94	a
	Mn	37.76	c	46.84	b	52.88	a
	Cu	0.71	a	0.83	a	0.81	a
	Fe	51.23	c	62.92	b	69.75	a
Soja	Zn	1.24	b	1.67	a	1.72	a
	Mn	37.30	b	44.03	a	44.34	a
	Cu	0.57	c	0.71	b	0.75	a
	Fe	49.91	b	54.54	ab	68.31	a

Tabla 1. Valores medios y error estándar para Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu en el suelo de 0-5 cm de profundidad para los tratamientos con CC de trigo, vicia y barbecho, bajo el cultivo del maíz (fertilizado y no fertilizado) y soja. Letras distintas indican diferencias significativas entre CC (p<0.05) para cada tratamiento.

Elaboradas para la presente edición.

la incorporación de vicia como CC el Cu y Fe incrementaron sus concentraciones 28% y 37% respectivamente, en comparación con el barbecho, mientras que en el caso del trigo solo el Cu incrementó un 28% su concentración.

Shuman *et al.* (1988) reportaron que durante la descomposición de la MO se liberan protones que pueden disminuir el potencial redox del suelo y de esta manera transformar el Mn en formas reducidas de mayor solubilidad. Además, la MO reacciona con el Cu y Mn del suelo formando complejos o quelatos, lo que facilita la solubilidad y disponibilidad de estos. Según Barber (1978) la distribución de cobre en el perfil correlaciona con la materia orgánica en forma positiva. A pesar de que en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de MO entre tratamientos, si hubo diferencia en la cantidad de carbono lábil. En este caso, en el tratamiento con vicia como CC, donde se encontraron las mayores concentraciones de carbono lábil (figura 1a), también se encontraron las mayores concentraciones de micronutrientes.

CONCLUSIONES

La utilización de vicia y trigo como CC incrementó en el corto plazo (un ciclo de cultivo) y en los primeros centímetros del suelo (0-5 cm) el carbono, nitrógeno y fósforo en la fracción particulada de la materia orgánica del suelo, y especialmente en su fracción más lábil (fracción particulada gruesa), tanto bajo cultivo de maíz como de soja. Estos incrementos fueron mayores con la incorporación de vicia como CC.

La inclusión de vicia como CC produjo una disminución en la relación C/N de la fracción particulada gruesa bajo cultivo de soja. Por el contrario, la relación C/P disminuyó significativamente bajo ambos cultivos de grano, maíz y soja, en especial en la fracción gruesa de la materia orgánica. En ambos casos las variaciones estuvieron más asociadas al incremento del N y P que a las variaciones en el C.

A la cosecha del maíz, la incorporación de ambos CC produjo incrementos en las concentraciones de Mg y K en el suelo respecto al barbecho, mientras que el Fe y Mn disponibles solo aumentaron su concentración mediante la inclusión de vicia. A la cosecha de la soja, las concentraciones de micronutrientes (Zn, Mn, Cu y Fe) disponibles en suelo fueron mayores en los tratamientos con CC respecto al testigo, sin diferencias entre tratamientos para las concentraciones de Ca, Mg y K.

AGRADECIMIENTOS

Los fondos para la realización de este proyecto fueron aportados a través del proyecto específico "Estado y dinámica de nutrientes en suelo" del Programa Nacional de Suelos del INTA (PN-SUELOS 1134024).

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, C.; URIENS, A.; BAGNATO, R.; LIENHARD, C.P.; DIAZ-ZORITA, M. 2014. Dinámica de agua en barbechos y cultivos

de cobertura en la Región Semiárida. xxiv Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias húmicas" Producción sustentable en ambientes frágiles Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.

ÁLVAREZ, C.; SCIANCA, C.; BARRACO, M.; DÍAZ ZORITA, M. 2008. Impacto del manejo de cereales de cobertura invernal sobre propiedades edáficas y producción de soja. xxi Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. Argentina. p. 424.

ÁLVAREZ, C.R.; TABOADA, M.A.; BUSTINGORRI, C.; GUTIERREZ BOEM, F.H. 2006. Descompactación de suelo en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Ciencia del Suelo 24: 1-10.

ALVAREZ, R.; ALVAREZ, C. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. Soil Sci. Soc Am. J. 64:184-189.

BARBER, S.A. 1978. Influence of the plant root on ion movement in soil. En: CARSON, E.W. (ed.). The plant root and its environment. University Press of Virginia, 1974. Charlottesville, Virginia. pp 525-564.

BASANTA, M.V.; GHIOTTI, M.L.; GIUBERGIA, J.P.; LOVERA, E. 2010. Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continúa en la región central de Córdoba. xxii Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina. p. 199.

BELTRÁN, M.; BRUTTI, L.; ROMANIUK, R.; BACIGALUPPO, S.; SALVAGIOTTI, F.; SAINZ-ROZAS, H.; GALANTINI, J.A. 2015. Calidad de la materia orgánica en el suelo y disponibilidad de macro y micronutrientes en respuesta a la inclusión del trigo en distintas secuencias. Ciencia del Suelo. 25 (1): 14-15.

BODNER, G.; LOISKANDL, W.; BUCHAN, G.; KAUL, H.P. 2008. Natural and management-induced dynamics of hydraulic conductivity along a cover-cropped field slope. Geoderma 146, 317-325.

BREMNER, J.M. 1996. Nitrogen- Total. En: SPARKS, D.L. (ed.). Methods of soil analysis. Part. 3. Chemical Methods. Capítulo 37. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America and Crop Science Society of America, Madison. Wisconsin, Estados Unidos. pp. 1085-1121.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W.L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F.; SANTOS, D.R. 2013. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. Soil.Till. Res. 133: 32-39.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, T. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56: 777-783.

CAVIGLIA, O.P.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H. 2011. Yield and quality of wheat and soybean in sole- and double-cropping. Agronomy Journal 103, 1081-1089.

CAZORLA, C.; GALARZA, C.; MORENO, I.; CISNEROS, J. 2010. Impacto del aporte de carbono de residuos en el carbono total y particulado y la estabilidad de agregados del suelo. xxii Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentino. p. 216.

CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B.; PAUL, A. 1979. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic and microbial held phosphate. Canadian Journal of Soil Science 59: 387-396.

CIAMPITTI, I.A. 2009. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Capital Federal, Buenos Aires. p. 196.

COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L. 2001. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. Informe Agropecuario 22: 84-91.

DAMON, P.M.; BOWDEN, B.; ROSE, T.; RENGEL, Z. 2014. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. Soil Biol. Biochem. 74: 127-137.

- DING, G.; LIU, X.; HERBERT, S.; NOVAK, J.; DULA, A.; XING, B. 2005. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* 130, pp. 229-239.
- FABRIZZI, K.P.; MORÓN, A.; GARCÍA, F.O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1831-1841.
- FERNÁNDEZ, R.; NOELLEMEYER, E.; QUIROGA, A. 2012. Cultivos de cobertura, una alternativa viable para la región semiárida pampeana. xx Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Jujuy.
- GALANTINI, J.A.; DUVAL, M.; IGLESIAS, J.; MARTINEZ, J.M. 2013. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense. Dinámica y balance de carbono. Boletín electrónico Cerzos, (UNSCerzos). AAPRESID, Bahía Blanca. pp. 27-32.
- GALANTINI, J.A.; IGLESIAS, J.; LANDRISCINI, M.R.; SUÑER, L.; MINOLDO, G. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: GALANTINI, J.A. (ed.). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. EdiUNS. Bahía Blanca, Argentina. pp. 71-95.
- GALANTINI, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: MARBAN, L. et al. (eds.). Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo.
- GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A.; ANDRIULO, A.; MIGLIERINA, A.; IGLESIAS, J. 1992. Humification and nitrogen mineralization of crop residues in semid-arid Argentina. *Sci. Total Environ.* 117: 263-270.
- GARCÍA, F.; PICONE, L.; BERARDO, A. 2006. Fósforo. En: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 99-121.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL, B.W.W.; ZENTNER, R.P. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res.* 47:181-95.
- KASPAR, T.C.; SINGER, J.W. 2011. En: Hatfield J.L., y T.J. Sauer, Ed. The Use of Cover Crops to Manage Soil. Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Guilford Road, Madison, EUA. 321-337.
- KASPAR, T.C.; JAYNES, D.B.; PARKIN, T.B.; MOORMAN, T.N. 2007. Rye cover crop and gamagrass strip effects on NO₃ concentration and load in tile drainage. *J. Environ. Qual.* 36:1503-1511.
- KASPAR, T.C.; RADKE, J.K.; LAFLEN, J.M. 2001. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion. *J. Soil Water Conserv.* 56:160-164.
- LIEBMAN, M.; DAVIS, A.S. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40:27-47.
- LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; O'DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; SOON, Y.K. 2007. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Soil Till. Res.* 95: 231-239.
- KUO, S.; JELLUM, E.J. 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol. Fertil. Soils* 31:470-477.
- QUIROGA, A.; FERNÁNDEZ, R.; FRASIER, I.; SCIANCA, C. 2009. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. Jornadas Cultivos de Cobertura. UNS-Cerzos, CRIBABB, p.16.
- MALAVOLTA, E. 1987. Manual de Calagem e Adubacao das Principais Culturas. Editorial Agronomica Ceres LTDA, Sao Paulo. p. 496.
- MIGLIERINA, A.M.; IGLESIAS, J.O.; LANDRISCINI, M.R.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Tillage Research* 53: 129-135.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- NOVELLI, L.E.; CAVIGLIA, O.P.; WILSON, M.G.; SASAL, M.C. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196:260-267.
- PEECH, M.; ALEXANDER, L.T.; DEAN, L.A.; REED, J.F. 1947. Methods of soil analysis for soil-fertility investigations. USDA circ. 757, Washington, D.C. p. 25.
- PHIRI, S.; BARRIOS, E.; RAO, I.M.; SINGH, B.R. 2001. Changes in soil organic matter and phosphorus fractions under planted fallows and a crop rotation on a Colombian volcanic soil. *Plant and Soil* 231: 211-223.
- PICONE, L.I.; ZAMUNER, E.; BERARDO, A.; MARINO, M.A. 2001. Phosphorus transformations as affected by sampling date and fertilizer rate, and phosphorus uptake in soil under pasture. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 67, 225-232.
- RANELLS, N.; WAGGER, M. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777-782.
- RATTO, S.E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del area pampeana. En: VAZQUEZ, M. (ed.). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. pp. 79-112.
- REICOSKY, D.C.; FORCELLA, F.1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.*, 53:224-229.
- 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.
- RESTOVICH, S.; ANDRIULO, A.; AMÉNDOLA, C. 2011. Introducción de los cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades de suelo. *Rev. Ciencia del Suelo.* Vol 29(1): 61-73.
- RUFFO, M.L.; BOLLERO, G.A. 2003. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. *Agron. J.* 95:1034-1040.
- SAINJU, U.M.; BINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F.; WANG, F. 2007. Accumulation and Crop Uptake of Soil Mineral Nitrogen as Influenced by Tillage, Cover Crops, and Nitrogen Fertilization. *Agron. J.* 99: 682-691.
- SALAS, A.M.; ELLIOT, E.; WESTFALL, D.; COLE, C.; SIX, J. 2003. The Role of Particulate Organic Matter in P Cycling. *Soil Science Society of America Journal* 67: 181189.
- SCIANCA, C.; ÁLVAREZ, C.; BARRACO, C.; PÉREZ, A.M.; QUIROGA, A. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Actas del xx Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- SENARATNE, R.; HARDARSON, J. 1988. Estimation of the residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using 5N methodology. *Plant and Soil* 110, 81-89.
- SHUMAN, L.M.; ANDERSON, O.E. 1978. Relationship of extractable soil manganese to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:666-667.

SUÑER, L.G.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A.; CHAMADOIRA, M.D. 2002. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 104 (2): 105-111.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; MOIR, J.O. 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle fractions during 60-70 years of cultivation. *Journal of Soil Science* 34: 815-823.

UNGER, P.W.; VIGIL, M.F. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *J Soil Water Cons* 53 (3): 200-207.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of De-gtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-37.

WANDER, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. En: MAGDOFF, K.; WEIL, R.R. (eds.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE. UU. pp. 67-102.

ZIBILSKE, L.M.; BRADFORD, J.M. 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization a microbial activity. *Soil Science* 168(10): 677-685.

Caracterización de aislamientos de moho verde (*Penicillium digitatum*) resistentes al fungicida pirimetanil en la región citrícola del río Uruguay

PANOZZO, M.¹; ALMIRÓN, N.¹; BELLO, F.¹; VÁZQUEZ, D.¹

RESUMEN

El uso continuado de los fungicidas tiabendazol e imazalil en los empaques citrícolas de la región del río Uruguay ha llevado a la selección y proliferación de aislamientos de moho verde resistentes; este hongo es la principal causa de podredumbres en poscosecha. Recientemente, el fungicida pirimetanil (anilino-pirimidina) (PYR) se ha incorporado a los programas de control de esta enfermedad. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la resistencia a este fungicida de una colección de aislamientos, obtenida luego de que este principio activo se incorporara a los programas de control en los empaques citrícolas durante un período de aproximadamente 5 años. 122 aislamientos de moho verde fueron recolectados desde Monte Caseros (Corrientes) hasta Concordia (Entre Ríos) durante 2015. Estos fueron obtenidos de frutos con síntomas del patógeno en campo y empaque. Se determinó la concentración de PYR que reduce el crecimiento de las colonias en un 50% (EC_{50}) para cada aislamiento. La EC_{50} media de los aislamientos recolectados en campo fue de $0,16 \pm 0,02 \mu\text{g mL}^{-1}$. No se observaron aislamientos resistentes en campo donde el fungicida no es usado. Por el contrario, el 64,4% de los aislamientos recolectados en empaques se muestran resistentes a PYR, con una EC_{50} media de $5,51 \pm 0,37 \mu\text{g mL}^{-1}$. Los sensibles presentan una EC_{50} media de $0,20 \pm 0,02 \mu\text{g mL}^{-1}$. La información suministrada en este trabajo resulta importante en el monitoreo de la susceptibilidad del moho verde al fungicida PYR en la región citrícola del río Uruguay. La incorporación de este fungicida en los programas de control de moho verde debe hacerse en forma cuidadosa, implementando distintas estrategias para lograr resultados efectivos.

Palabras clave: fungicida de síntesis, podredumbres de poscosecha de cítricos, resistencia.

ABSTRACT

The continuous use of the fungicides thiabendazol and imazalil in the citrus packing houses of the Uruguay River region has led to the selection and proliferation of resistant green mold isolates, being this fungus the main cause of postharvest rot. Recently, the fungicide pyrimethanil (anilino-pyrimidine) (PYR) has been incorporated into the control programs of this disease. The objective of the present work was to study the resistance to this fungicide of a collection of isolates, obtained after this active principle was incorporated into control programs in the citrus packaging houses during a period of approximately 5 years. 122 green mold isolates were collected from Monte Caseros (Corrientes) to Concordia (Entre Ríos) during 2015. They were obtained from fruits with symptoms of the pathogen in the field and packaging. The concentration of PYR which reduces

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia. Estación Yuquerí s/n Concordia, Entre Ríos, Argentina. Correo electrónico: vazquez.daniel@inta.gob.ar

colony growth by 50% (EC_{50}) was determined for each isolation. The mean EC_{50} of the field-collected isolates was $0.16 \pm 0.02 \mu\text{g mL}^{-1}$. No resistant isolates were observed in the field where the fungicide is not used. In contrast, 64.4% of those collected from packing houses were resistant to PYR, with an average EC_{50} $5.51 \pm 0.37 \mu\text{g mL}^{-1}$. Those sensible isolates showed an EC_{50} mean $0.20 \pm 0.02 \mu\text{g mL}^{-1}$. The information provided in this work is important for monitoring susceptibility of green mold to the fungicide PYR in the citrus region of the Uruguay River. The incorporation of this fungicide in green mold control programs must be done carefully, and different strategies must be implemented to achieve effective results.

Keywords: Synthesis fungicide, citrus postharvest rot, resistance.

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas económicas ocasionadas por las enfermedades de poscosecha representan actualmente uno de los principales problemas de la frutihorticultura mundial (Harvey, 1978; Kelman, 1989). Estas pérdidas varían en función de la zona de producción, de la especie y del cultivar, de la edad del árbol, de las condiciones climáticas y del manejo pre y poscosecha. En el caso de cítricos las podredumbres pueden ocurrir en el campo durante la cosecha, transporte, empaque, almacenamiento y conservación en frío y durante el proceso de comercialización (Garrán, 1996; Lado *et al.*, 2011). Los principales agentes causales de podredumbres en estos frutos son el moho verde (*Penicillium digitatum* Sacc.) y el moho azul (*P. italicum* Wehmer); el primero es el patógeno más común y de mayor actividad reproductiva (Garrán, 1996; Tuset, 1987). Para su control se recurre a un manejo integrado, en donde el uso de fungicidas de síntesis es un componente clave (Beattie *et al.*, 1992; Agustí, 2000; Kanetis *et al.*, 2010).

En los empaques del litoral del río Uruguay, los cítricos son tratados con tiabendazol e imazalil para el control de los mohos. No obstante, en ambientes donde se ha hecho un uso continuo de ellos, se ha observado una selección y proliferación de biotipos capaces de resistir las dosis comerciales de estos fungicidas (Burdyn *et al.*, 2010; Lado *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2011). En 2011 el uso del fungicida pirimetanil (PYR) no se encontraba ampliamente difundido en la región para el control de estos patógenos. Este producto, de bajo riesgo respecto al medioambiente y a la dieta humana, actúa bloqueando la síntesis de proteínas a través de la inhibición de la biosíntesis de la metionina (Kanetis, 2005; Smilanick *et al.*, 2006; 2008).

Vazquez *et al.* (2014) determinaron la línea base de sensibilidad del moho verde a este fungicida en la región citrícola del NE de Entre Ríos y SE de Corrientes en el año 2011. Para ello, se recolectaron 109 aislamientos de campo y empaque y se calculó la concentración del fungicida que inhibe el 50% del crecimiento del patógeno en medio de cultivo (EC_{50}). La EC_{50} media de los aislamientos recolectados en el campo fue $0,14 \pm 0,03 \mu\text{g mL}^{-1}$, no encontrándose aislamientos resistentes; la EC_{50} media de los recolectados en empaques fue $0,13 \pm 0,05 \mu\text{g mL}^{-1}$. Un aislamiento originado en un empaque mostró una EC_{50} de $3,40 \mu\text{g mL}^{-1}$, 26 veces superior al valor medio.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la resistencia a PYR de una colección de aislamientos de moho verde, obtenida luego de que este principio activo se incorporara a los programas de control en los empaques citrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los aislamientos

122 aislamientos de moho verde fueron recolectados en la región citrícola del río Uruguay, desde Monte Caseros (Corrientes) hasta Concordia (Entre Ríos) durante 2015 (tabla 1). Dichos aislamientos fueron obtenidos de frutos de naranjas (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck), mandarinas (*C. unshiu*, *C. deliciosa*, *C. reticulata*) y pomelos (*C. paradisi*) con síntomas del patógeno en campo (63) y empaque (59), empleando un hisopo estéril, cuya punta fue rota dentro de un tubo con una solución de Tritón X-100 (0,01%). Dichos tubos fueron agitados para suspender los conidios. La siembra se realizó en placas de Petri con agar papa glucosado (PDA), las que fueron mantenidas a 25 °C durante 24 h. Para producir colonias monospóricas de cada aislamiento, se tomó un esporo germinado y se lo colocó en nuevas cajas con PDA (Kinay *et al.*, 2007).

Determinación de la sensibilidad al fungicida

Se empleó PYR (97,5%, Janssen Pharmaceutica, Bélgica) y acetona como diluyente (Kinay *et al.*, 2007). El pH del medio fue $5,6 \pm 0,1$. Al medio de cultivo se le adicionó PYR a las concentraciones de 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 en los aislamientos de campo y 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 4,50; 5,00; 5,50; 6,00; 6,50 en los de empaque según pruebas preliminares de sensibilidad. Como control se empleó PDA no adicionado con PYR para el crecimiento de todos los aislamientos.

A partir de cultivos monospóricos de hasta 10 días de edad se obtuvo una suspensión de esporos, la que fue diluida con agua a una absorbancia de 0,1 a 425 nm, medida con espectrofotómetro BOECO S-22 UV/Vis., densidad que contiene aproximadamente 1×10^6 esporos/mL (Eckert y Brown, 1986). A partir de dicha suspensión de esporos se tomó 0,1 mL que se colocó en tubos con 10 mL de PDA a 45 °C. Se sembraron cajas de Petri que se incubaron a 20 °C.

Especie / Variedad	Lugar de Muestreo					
	Concordia		Federación		Monte Caseros	
	Campo	Empaque	Campo	Empaque	Campo	Empaque
Naranja "Salustiana"	4		1	3		
Naranja "Ombigo"	3					
Naranja "Común"	1					
Naranja "Valencia Late"	3		4	7		2
Naranja "Valencia Seedless"				1		
Naranja ^a	3	4			14	8
Mandarina "Nova"	10	3	4	2		
Mandarina "Ellendale"	1		6			
Mandarina "Clementina"				3	1	4
Mandarina "Común"			3			
Mandarina "Murcott"			2			
Mandarina "Dancy"			1			
Mandarina "Mor"			1			
Mandarina "Or"			1			
Mandarina "Okitsu"		4		2		
Mandarina "Satsuma"		7				
Mandarina ^a		4				4
Pomelo "Star Ruby"				1		

^aNo se identificó la variedad.

Tabla 1. Aislamientos de moho verde recolectados de la región citrícola del río Uruguay (Argentina).

durante 24 h. De ellas se extrajeron discos de 6 mm de diámetro de inóculo de *P. digitatum*, los que se colocaron en las placas control y en las adicionadas con PYR. Se emplearon 3 placas por cada concentración de fungicida estudiado y el control para cada aislamiento. Las cajas se incubaron a 20 °C durante 3 días. El diámetro de las colonias fue determinado como el promedio de los diámetros transversales de cada colonia y dicho valor fue promediado para las 3 repeticiones de cada concentración evaluada. El porcentaje de inhibición fue calculado con referencia al crecimiento de las colonias en el control (Kanetis *et al.*, 2008).

Análisis estadístico

La concentración de PYR que reduce el crecimiento de las colonias en un 50% (EC_{50}) es la medida de sensibilidad más precisa para evaluar las interacciones entre huésped y fungicida (Kanetis *et al.*, 2008). Esta fue determinada por la relación lineal entre el probit del porcentaje de reducción de crecimiento y el logaritmo de la concentración de fungicida (Brown, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un estudio previo al uso masivo de PYR, realizado en la región citrícola del río Uruguay, se determinó que la

EC_{50} media de los aislamientos recolectados en el campo fue $0,14 \pm 0,03 \mu\text{g mL}^{-1}$, no encontrándose aislamientos resistentes; la EC_{50} media de los recolectados en empaques fue $0,13 \pm 0,05 \mu\text{g mL}^{-1}$. Solo un aislamiento originado en un empaque mostró una EC_{50} de $3,40 \mu\text{g mL}^{-1}$, 26 veces superior al valor medio (Vázquez *et al.*, 2014). Tomando estos valores como referencia, en el presente estudio no se observaron aislamientos resistentes en campo, donde el fungicida no es empleado. Esto coincide con numerosos estudios previos (Holmes y Eckert, 1995; Smilanick *et al.*, 2006; Kinay *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2009; 2011). La EC_{50} media de los aislamientos de campo, recolectados en 2015 fue de $0,16 \pm 0,02 \mu\text{g mL}^{-1}$.

Por el contrario, el 64,4% de los aislamientos recolectados en empaques (de bins, cámaras de frío / desverdizado, de frutas luego del proceso), se muestran resistentes a PYR, con una EC_{50} media de $5,51 \pm 0,37 \mu\text{g mL}^{-1}$. Los sensibles presentan una EC_{50} media de $0,20 \pm 0,02 \mu\text{g mL}^{-1}$ (tabla 2).

Kinay *et al.* (2007) mencionaron que la EC_{50} de los aislamientos sensibles de moho verde a PYR fue de $0,30 \mu\text{g mL}^{-1}$ mientras que de aquellos resistentes $2,39 \mu\text{g mL}^{-1}$. Kanetis *et al.* (2010) determinaron que todos los aislamientos resistentes a PYR presentaban una $EC_{50} > 8 \mu\text{g mL}^{-1}$. Li y Xiao (2005) informaron que la EC_{50} para aislamientos de *P. expansum* era variable (entre $0,52$ y $2,05 \mu\text{g mL}^{-1}$). Es de men-

EC50 ($\mu\text{g mL}^{-1}$) ($\pm\text{SD}$)				
	Sensibles	n	Resistentes	n
Campo	0,16 (0,02)	63	--	--
Empaque	0,20 (0,02)	21	5,51 (0,37)	38

Los aislamientos fueron clasificados como sensibles o resistentes a PYR en función de su EC₅₀
n: Número de aislamientos de *P. digitatum*

Tabla 2. Concentración de PYR que inhibe el tamaño de las colonias de moho verde en PDA en 50 % (EC₅₀).

cionar que estos estudios fueron realizados antes de que el fungicida haya sido introducido. Nuestros estudios demuestran que la resistencia del patógeno al fungicida de síntesis se incrementó con el uso del mismo en los empaques.

CONCLUSIONES

La información suministrada en este trabajo resulta importante en el monitoreo de la susceptibilidad del moho verde al fungicida PYR en la región citrícola del río Uruguay. En muestreos en empaques realizados en el año 2011, solo un aislamiento mostró resistencia a PYR, lo que representaba el 1,5% de los aislamientos recolectados. Su EC₅₀ fue de 3,40 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Vazquez *et al.*, 2014). Por el contrario, en 2015, el 64,4% de los aislamientos fueron resistentes, con una EC₅₀ media de 5,51 $\mu\text{g mL}^{-1}$. En ambos muestreos todos los aislamientos de campo se mostraron sensibles a este agroquímico.

Se concluye que la incorporación de PYR en los programas de control de moho verde en los empaques cítricos debe hacerse en forma cuidadosa, debiendo implantarse distintas estrategias, como la limpieza y desinfección de los empaques, la rotación o su combinación con fungicidas con distinto modo de acción como el imazalil, la incorporación de sales de sodio como bicarbonato, etc. Estas estrategias minimizarían la selección de aislamientos resistentes del patógeno y contribuirían a lograr resultados efectivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Sra. Laura Eyman por su apoyo técnico y a productores y empacadores de cítricos. Este estudio fue financiado por INTA (PNFRU 1105083 "Nuevas tecnologías para el mantenimiento de la calidad en la cosecha, acondicionamiento y logística de frutas frescas").

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTÍ, M. 2000. Citricultura. Mundi Prensa, Madrid, España, p. 416.

BEATTIE, B.; WILD, B.; TUGWELL, B.; BAGSHAW, J.; KEENAN, P. 1992. Postharvest management. En: BEATTIE, B.; REVELANT, L. (Eds.). Quality Management Guide. Australian Horticultural Corporation, NSW Agriculture, pp. 121-184.

BROWN, G.E. 1989. Baseline sensitivity of Florida isolates of *Penicillium digitatum* to imazalil. Plant Dis. 73, 773-774.

BURDYN, L.; GARRÁN, S.M.; AVANZA, M.M.; ALMIRÓN, N. 2010. Resistencia de *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum* a los fungicidas de uso corriente en poscosecha. VI Congreso Argentino de Citricultura, San Miguel de Tucumán, Argentina.

ECKERT, J.W.; BROWN, G.E. 1986. Evaluation of postharvest treatments for citrus fruits. En: HICKEY, K.D. (Ed.). Methods for evaluating pesticides for control of plant pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, pp. 92-97.

GARRÁN, S.M. 1996. Enfermedades durante la poscosecha. En: FABIANI, A.; MIKA, R.; LAROCCA, L.; ANDERSON, C. (Eds.). Manual para productores de naranjas y mandarinas de la región del río Uruguay, INTA, pp. 173-240.

HARVEY, J.M. 1978. Reduction of losses in fresh market fruits and vegetables. Annual Review of Phytopathol. 16:321-341.

HOLMES, G.J.; ECKERT, J.W. 1995. Relative fitness of imazalil-resistant and -sensitive biotypes of *Penicillium digitatum*. Plant Dis. 79, 1068-1073.

KANETIS, M. 2005. Resistance potential of azoxystrobin, fludioxonil, and pyrimethanil to the citrus postharvest pathogen *Penicillium digitatum*. Phytopathol. 95, S51.

KANETIS, M.; FÖRSTER, H.; ADASKAVEG, J.E. 2008. Baseline sensitivities for new postharvest fungicides against *Penicillium* spp. on citrus and multiple resistance evaluation in *P. digitatum*. Plant Dis. 92, 301-310.

KANETIS, M.; FÖRSTER, H.; ADASKAVEG, J.E. 2010. Determination of natural resistance frequencies in *Penicillium digitatum* using a new air-sampling method and characterization of Fludioxonil- and Pyrimethanil-resistant isolates. Phytopathol. 100, 738-746.

KELMAN, A. 1989. Introduction: The importance of research on the control of postharvest diseases of perishable food crops. Phytopathol. 79:1374.

KINAY, P.; MANSOUR, M.F.; MLIKOTA GABLER, F.; MARGOSAN, D.A.; SMILANICK, J.L. 2007. Characterization of fungicide-resistant isolates of *Penicillium digitatum* collected in California. Crop Protection 26, 647-656.

LADO, J.; LUQUE, E.; BLANCO, O.; PÉREZ FAGGIANI, E. 2011. Evaluación de alternativas para el control poscosecha de aislamientos de *Penicillium digitatum* resistentes a imazalil. Agrociencia Uruguay 15 (1), 55-63.

LI, H.; XIAO, C. 2005. Resistance to thiabendazole and baseline sensitivities to fludioxonil and pyrimethanil in *Penicillium expansum* populations from apple. Phytopathology 95, S59.

PÉREZ, E.; LADO, J.; LUQUE, E.; BLANCO, O.; ALVES, P.; SILVA, G. 2009. Sensibilidad a pyrimethanil, fludioxonil e imazalil en aislamientos de *Penicillium digitatum* colectados en Uruguay. Hacia un manejo integrado y sustentable de *Penicillium* en poscosecha de cítricos. Serie Actividades de Difusión INIA, N.º 597, 3-6.

PÉREZ, E.; BLANCO, O.; BERRETA, C.; DOL, I.; LADO, J. 2011. Imazalil concentration for in vitro monitoring of imazalil resistant isolates of *Penicillium digitatum* in citrus packinghouses. Postharvest Biol. and Technol. 60, 258-262.

SMILANICK, J.L.; MANSOUR, M.F.; MLIKOTA GABLER, F.; GOODWINE, W.R. 2006. The effectiveness of pyrimethanil to inhibit germination of *Penicillium digitatum* and to control citrus green mold after harvest. Postharvest Biol. and Technol. 42, 75-85.

SMILANICK, J.L.; BYLEMANS, D.; TORRES LEAL, G.J.; LESAR, K. 2008. Pyrimethanil a new fungicide for the control of postharvest decay of citrus fruit. Proc. Int. Soc. Citriculture, Wuhan, China, 1296.

TUSET, J.A. 1987. Podredumbres de los frutos cítricos. Generalitat Valenciana, Valencia, España, p. 206.

VAZQUEZ, D.; PANOZZO, M.; ALMIRÓN, N.; BELLO, F.; BURDYN, L.; GARRÁN, S. 2014. Characterization of sensitivity of grove and packing house isolates of *Penicillium digitatum* to pyrimethanil. Postharvest Biol. and Technol. 98, 1-6.

Estimación del contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada

WORLOCK, J.¹; URFALINO, D. P.²

RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue generar una tabla para que los elaboradores de ciruela tiernizada estimen el contenido de sorbato de potasio residual en función de la concentración de conservante utilizada y del tipo de aplicación realizada (inmersión o aspersión). Se cosechó ciruela de calibre mediano (35 a 48 unidades frescas por kg) con una madurez promedio superior a 20°Brix y se deshidrató en horno hasta una humedad promedio de $21 \pm 1\%$ y una actividad acuosa promedio (a_w) de $0,682 \pm 0,013$. Posteriormente, se tiernizó en un autoclave hasta una humedad de $30 \pm 2\%$ y una a_w de $0,782 \pm 0,020$, se escurrió y se descarozó. El rendimiento promedio de ciruela de calibre mediano fue de $1,08 \pm 0,01$ kg de ciruela deshidratada para obtener 1,00 kg de ciruela tiernizada sin carozo. El residuo promedio de carozos fue de $14 \pm 1\%$. Se realizaron 8 tratamientos con 4 repeticiones de 20 unidades de ciruela tiernizada, en las cuales se aplicó sorbato de potasio en las siguientes concentraciones; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,25; 2,50; 2,75 y 3,00% mediante inmersión y aspersión. Las muestras se estabilizaron en recipientes herméticos durante veinticuatro horas. Se determinó sorbato de potasio residual con la técnica ISO 5519:2008 y se efectuó una tabla con los datos obtenidos. Para los métodos de inmersión y aspersión los residuos de sorbato de potasio obtenidos en función de las concentraciones utilizadas se ajustaron a modelos lineales y se agruparon mediante rangos. Ambos métodos presentaron diferencias significativas de residuos de sorbato de potasio. El Código Alimentario Argentino establece un contenido residual máximo de 100 ppm, el cual es insuficiente para conservar el producto final ya que se constató que la acción antimicrobiana de los sorbatos se produce entre 200 y 600 ppm (0,02 y 0,06%), dependiendo del contenido de humedad. Esto se corrobora en el Codex Alimentarius International Food Standards, el cual permite la utilización de sorbatos con un nivel máximo de 500 ppm en fruta deshidratada.

Palabras clave: ciruela d'Agen; *Prunus domestica*; (2E,4E)-hexa-2,4-dienoato de potasio.

ABSTRACT

The purpose of this study was to generate a table for high moisture prune makers to be able to estimate the residual potassium sorbate content depending on the concentration of preservative used and the type of application made (immersion or spraying). Medium size plums (35 to 48 fresh units per kg) were harvested with an average maturity over 20°Brix and dehydrated in oven until they reached an average humidity of $21 \pm 1\%$ and an average water activity (a_w) of $0,682 \pm 0,013$. Subsequently, the softening process was done in an autoclave reaching a humidity of $30 \pm 2\%$ and a a_w of $0,782 \pm 0,020$, prunes were drained and pitted. The average performance of medium size prunes was $1,08 \pm 0,01$ kg of prunes to obtain 1,00 kg of pitted high

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rama Caída, El Vivero s/n Rama Caída (5603), San Rafael, Mendoza, Argentina. Correo electrónico: worlock.jesica@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rama Caída (5603), El Vivero s/n Rama Caída, San Rafael, Mendoza, Argentina. Correo electrónico: urfalino.delia@inta.gob.ar

moisture prunes. The average residue of pits was $14 \pm 1\%$. 8 treatments were carried out with 4 repetitions of 20 units of high moisture prunes, in which potassium sorbate was applied using the following concentrations; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,25; 2,50; 2,75 and 3,00% through immersion and spraying. Samples were stabilized in hermetic containers for twenty-four hours. Residual potassium sorbate was determined using ISO 5519:2008 analytical technique and a table was made with the data obtained. In both methods, immersion and spray, the residual potassium sorbate obtained, depending on the concentrations used, adjusted to linear models and were grouped by ranges. Both methods showed significant differences in residual potassium sorbate. The Argentinean Alimentary Code establishes a residual maximum content of 100 ppm, which is not enough to preserve the final product, since it was found that the antimicrobial action of sorbates occurs between 200 and 600 ppm (0,02 and 0,06%) depending on the moisture content. This was corroborated in the Codex Alimentarius International Food Standards, which allows the use of sorbates with a maximum level of 500 ppm in dried fruit.

Keywords: D'agen plum; *Prunus domestica*; (2E, 4E)-hexa-2, potassium 4-dienoate.

INTRODUCCIÓN

La ciruela d'Agen es destinada principalmente a la deshidratación debido a su elevado contenido de azúcares y excelente sabor. A nivel mundial, las principales regiones productoras son California (EE. UU.), O'Higgins (Chile), Lot-Et-Garonne (Francia) y Mendoza (Argentina). La provincia de Mendoza posee una superficie productiva de 15.055 hectáreas (ha) de las 18.280,9 ha implantadas y una producción de ciruela deshidratada promedio de entre 15 y 40 mil toneladas (t). La gran variabilidad en los volúmenes de producción se debe a la ocurrencia de contingencias climáticas (heladas, viento, lluvia y granizo) y a mancha roja. En el mercado interno no hay prácticamente consumo de ciruela deshidratada, se consumen unas 3.500 t aproximadamente, el 89% restante se exporta a países tales como Rusia, Alemania, Brasil y Japón (Instituto de Desarrollo Rural, 2015). Esta situación hace que la ciruela deshidratada sea un producto de gran importancia económica para la región.

Durante la elaboración de ciruela deshidratada la fruta se somete a un proceso de secado al sol o en horno que finaliza al alcanzar una humedad del 21% o inferior. Posteriormente, se realiza el tiernizado, por exposición a vapor o agua caliente, con el objetivo de adquirir una textura agradable para el consumidor, eliminar microorganismos y facilitar el descarozado. En esta etapa se le incorpora humedad a la fruta, alcanzando un 30-34% de humedad final, por lo cual es necesario emplear un conservante para protegerla del deterioro por hongos y levaduras.

El ácido sórbico (ácido 2,4-hexadienoico; $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH=CH-COOH}$) y sus sales de calcio y potasio, comúnmente denominados sorbatos, inhiben o retardan el crecimiento de hongos, levaduras y ciertas bacterias (Chichester y Tanner, 1973; Sofos *et al.*, 1986; Sofos, 2000; Stopforth, *et al.*, 2005). Se emplean ampliamente debido a su inercia fisiológica, efectividad antimicrobiana en pequeñas con-

centraciones y por su elevado umbral de percepción de sabor (Guadagni y Schade, 1973; Lück y Jager, 1997; Sofos, 2000; Stopforth, *et al.*, 2005). Se consideran inocuos para uso alimentario cuando se utilizan empleando buenas prácticas de manufactura (Bolin *et al.*, 1980; Stopforth *et al.*, 2005) ya que se metabolizan en el organismo a través de un mecanismo similar al de los ácidos grasos, la mayor parte se oxida a dióxido de carbono y agua, aportando 6,6 Kcal/g (Bolin *et al.*, 1980; Chichester y Tanner, 1973; Stopforth *et al.*, 2005).

Los sorbatos cumplen un rol fundamental en la conservación de alimentos de humedad intermedia como la ciruela tiernizada. Habitualmente, se utilizan en concentraciones comprendidas entre 0,02 y 0,05% (Chichester y Tanner, 1973; Stopforth *et al.*, 2005). Su efectividad depende del contenido de humedad y pH del alimento; cuanto más alta la humedad y el pH, más conservante se requerirá para inhibir la proliferación microbiana (Bolin y Boyle, 1967).

En la etapa de sorbatado, se aplica el conservante a la ciruela con un contenido de humedad superior a 29% (a_w mayor a 0,700) mediante aspersión o inmersión (Morales Frette, 1971; Somogyi, 2005).

El método de inmersión consiste en sumergir la ciruela rehidratada en una solución de sorbato de potasio durante un cierto tiempo, a una concentración y temperatura determinada.

Uno de los principales inconvenientes que presenta la aplicación de sorbato de potasio por el método de inmersión es que los azúcares contenidos en la ciruela se solubilizan en la solución y a su vez la fruta absorbe agua (Morales Frette, 1971). Esta situación dificulta la estandarización del contenido de humedad final de la ciruela, y por lo tanto, la dosis residual de sorbato de potasio puede ser menor a la requerida en el producto, ocasionando el desarrollo de hongos y levaduras con su consiguiente pérdida de calidad.

En el método "spray" o por aspersión, el conservante se aplica en forma vaporizada (reducido a gotas muy pequeñas). Este sistema asegura una aplicación del sorbato de potasio en el porcentaje residual requerido ya que no afecta el contenido de humedad final de la ciruela.

Generalmente, las concentraciones de las soluciones aplicadas por inmersión o aspersión están comprendidas entre 2% y 5% (Morales Frette, 1971; Bolin y Boyle, 1967; Stopforth *et al.*, 2005). Normalmente se utilizan a temperatura ambiente.

El Código Alimentario Argentino (C.A.A.) en el Artículo 916 bis expresa que: "Se permite el tratamiento superficial de frutas desecadas con ácido sórbico o sorbato de potasio, siempre que el contenido residual (expresado en ácido sórbico) no exceda los 100 mg/kg o ppm de fruto entero". Este artículo se encuentra incorrectamente redactado, le falta un cero al límite residual. Para ciruela tiernizada, industrias elaboradoras y normativas internacionales siempre han empleado como límite 1.000 ppm. Esto se debe a que la acción antimicrobiana del sorbato se observa entre los 200 y 600 ppm dependiendo del contenido de humedad de la fruta a conservar (Alagöz, *et al.*, 2015; Chichester y Tanner, 1973; Stafford, 1976; Stopforth, *et al.*, 2005). Actualmente, el Codex Alimentarius en la Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios ha reducido el límite máximo a 500 ppm.

Para asegurar que la ciruela tiernizada posea una adecuada cantidad del conservante, para prevenir su deterioro microbiano o para cumplir con parámetros solicitados por el país de destino (0 - 1.000 ppm), se realizan determinaciones de sorbato de potasio a través de diversas técnicas analíticas. Para ello es necesario contar con el equipamiento y personal idóneos. Sin embargo, no todos los productores y empresas elaboradoras cuentan con estos recursos. Es por ello, que el presente trabajo de investigación pretende generar una herramienta que permita a los elaboradores estimar el contenido de sorbato de potasio en ciruela d'Agen tiernizada, según dosis aplicada y método de aplicación (inmersión y aspersión).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La ciruela (*Prunus domestica*) variedad d'Agen calibre mediano (35 a 48 unidades frescas por kg) se cosechó de los cultivos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rama Caída (georreferencia: 34°40'03.93" S 68°23'37.80" O) con un contenido de sólidos solubles mayor a 20% y una firmeza de pulpa entre 0,211 y 0,281 kgf/cm² (equivalente a 3 - 4 libras de presión por pulgada cuadrada) El proceso de deshidratación se efectuó a una temperatura de 82 °C, con una humedad relativa promedio de 60% durante 21 horas, en el horno de la planta piloto de la EEA Rama Caída.

A la ciruela deshidratada utilizada para realizar los ensayos se le determinó contenido de a_w humedad (método de Dean Stark) y calibre (unidades de ciruela seca contenidas en 1 kg).

Estandarización del tiernizado (rehidratación) de la ciruela

El tiernizado de la ciruela deshidratada se realizó con agua y vapor a presión en una autoclave (olla a presión). Para estandarizar el proceso se realizó el siguiente procedimiento: se colocó 1 L de agua en el recipiente, se llevó a ebullición y se colocaron veinte unidades de ciruela pesadas. El tiempo total del tratamiento térmico fue de 10 minutos. Posteriormente, la ciruela tiernizada se escurrió y se descaroizó en forma manual, se pesaron los carozos y la ciruela se conservó en un envase cerrado herméticamente durante 24 horas para estabilizar la humedad. Se evaluó la a_w , humedad, residuos de carozos y rendimiento.

Tratamientos aplicados

Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones con 20 unidades pesadas de ciruela tiernizada con una humedad de $30 \pm 2\%$.

Para efectuar los ensayos se empleó sorbato de potasio p.a. (título mínimo 99%).

Luego de efectuar los tratamientos, la ciruela se colocó en recipientes cerrados herméticamente durante 24 horas para su estabilización.

Se evaluó el contenido de sorbato de potasio residual.

Técnica analítica utilizada para la determinación de sorbato de potasio

Se empleó la técnica International Standard ISO 5519:2008 Fruits, vegetables and derived products - Determination of sorbic acid content. Modificada por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial Mendoza.

Durante la aplicación de la técnica se redujeron los volúmenes de las soluciones utilizadas para disminuir la cantidad de insumos empleados, los costos y la contaminación generada al medioambiente.

Principio

Se homogeneizó la ciruela tiernizada y se extrajo cuantitativamente el sorbato de potasio por destilación con arrastre de vapor.

El sorbato de potasio presente en el destilado se determinó mediante una lectura espectrofotométrica en el rango UV.

Alcance

La técnica se aplicó para la determinación de 70 a 2.000 ppm de sorbato de potasio en ciruela tiernizada.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016). Se

Tratamiento	Concentración de sorbato de potasio (%)	Método de Aplicación
1	1,25	Inmersión en 400 ml de solución de sorbato de potasio por 30 segundos a temperatura ambiente.
2	1,50	
3	1,75	
4	2,00	
5	2,25	
6	2,50	
7	2,75	
8	3,00	
1'	1,25	Aspersión de 10 ml de solución de sorbato de potasio a temperatura ambiente.
2'	1,50	
3'	1,75	
4'	2,00	
5'	2,25	
6'	2,50	
7'	2,75	
8'	3,00	

Tabla 1. Tratamientos aplicados a la ciruela tiernizada.

efectuaron los siguientes análisis estadísticos: análisis de correlación, análisis de regresión lineal simple y análisis de la varianza (ANAVA) (Balzarini *et al.*, 2011).

RESULTADOS

Materia prima

La a_w promedio de la ciruela d'Agen deshidratada durante su conservación en parva fue de $0,682 \pm 0,013$ ($19,9 \pm 0,1$ °C) y su humedad promedio de $21 \pm 1\%$. Este parámetro cumple con el C.A.A. artículo 904 bis, el cual expresa que la fruta desecada no deberá contener más de 25% de agua.

El número de unidades de ciruela deshidratada contenidas en 1 kg de fruta de acuerdo a la escala del C.A.A. artículo 906 correspondió a 110/132 unidades/kg. Según el Comité de Exportadores de Ciruela de Mendoza se denomina calibre "Mediano" a 110/132 - 132/154 unidades de ciruela seca/kg (equivalente a 50/60 - 60/70 unidades por libra).

Estandarización del tiernizado (rehidratación) de la ciruela

Luego del tiernizado y estabilizado, la ciruela alcanzó una a_w promedio de $0,782 \pm 0,020$ ($19,1 \pm 0,9$ °C) y una humedad promedio del $30 \pm 2\%$. Este contenido de humedad final cumple con el C.A.A. artículo 904 bis, el cual regula un contenido de agua máximo de 35% para empacar fruta en envases herméticos.

El rendimiento promedio durante el tiernizado de ciruela de calibre mediano fue de $1,08 \pm 0,01$ kg de ciruela deshidratada para obtener 1,00 kg de ciruela tiernizada sin caro-

zo. El rendimiento depende de varios factores, entre ellos se pueden mencionar: tipo de secado al cual fue sometida la ciruela (sol u horno), calibre, contenido de sólidos solubles, humedad, descarte por defectos y tecnología empleada durante la etapa de descarozado.

El residuo promedio de carozos fue de $14 \pm 1\%$ con respecto al peso de la ciruela deshidratada.

Determinación de sorbato de potasio

Se llevó a cabo un análisis de correlación para determinar si existía una asociación entre la concentración de las soluciones aplicadas por inmersión y aspersión y el residuo de sorbato de potasio obtenido en la ciruela tiernizada. El coeficiente de correlación de Pearson (r) fue positivo para ambos métodos, presentando un valor de $r = 0,93$ para el método de inmersión y $r = 0,94$ para el de aspersión. Estos coeficientes de correlación fueron similares a los obtenidos por Alagöz *et al.* (2015) quienes evaluaron la correlación entre soluciones de sorbato de potasio aplicados a damascos rehidratados y los contenidos residuales del conservante en las muestras.

Estos resultados condujeron a la evaluación del ajuste de modelos de regresión lineal a los datos obtenidos para cada método de aplicación.

Métodos de aplicación de sorbato de potasio por inmersión y aspersión

Se efectuaron análisis de regresión lineal simple con la finalidad de construir modelos para la estimación de las me-

días del contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada a partir de soluciones con distintas concentraciones del conservante (figuras 1 y 2).

Los coeficientes de determinación (R^2) para ambos métodos de aplicación fueron elevados, 0,86 para inmersión y 0,88 para aspersión, los cuales indican que las concentraciones de las soluciones de sorbato de potasio aplicadas, explican el 86% y 88% de la variabilidad observada en el sorbato de potasio residual determinado en la ciruela tiernizada.

Se efectuaron pruebas de falta de ajuste (lack of fit) para ambos métodos de aplicación. Se obtuvo un valor de $p = 0,1041$ para inmersión y $p = 0,7258$ para aspersión. Por lo tanto, al ser los valores de $p > 0,05$ en ambos casos, los mo-

delos lineales son apropiados para los conjuntos de datos obtenidos.

Se realizaron ANAVA (prueba DGC utilizando $\alpha = 0,01$) de los residuos de sorbato de potasio obtenidos en ciruela tiernizada en función de las concentraciones utilizadas. Para ambos métodos de aplicación, se obtuvo un valor de $p = 0,0001$, por lo tanto, al ser $p < 0,01$, existieron diferencias significativas, las cuales podían agruparse mediante rangos. Para el método de inmersión: soluciones con una concentración entre 1,25-1,75% generan residuos comprendidos entre 489 y 641 ppm; 2,00-2,25% entre 855 y 926 ppm; 2,50-2,75% entre 1126 y 1143 ppm y por último, 3,00% un residuo promedio de 1473 ppm (figura 3). Para el método

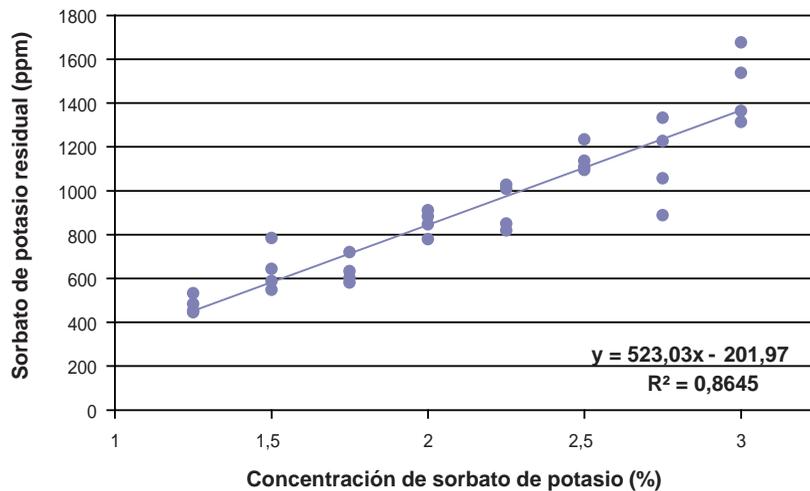


Figura 1. Regresión lineal simple para el método de aplicación de sorbato de potasio por inmersión.

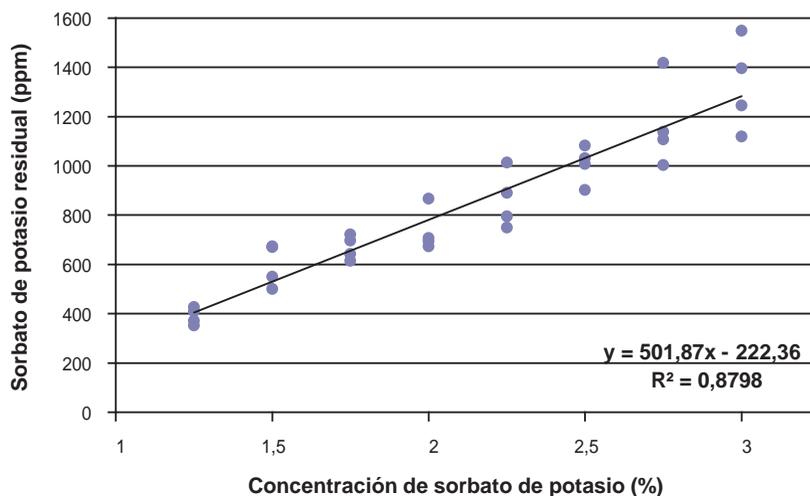


Figura 2. Regresión lineal simple para el método de aplicación de sorbato de potasio por aspersión.

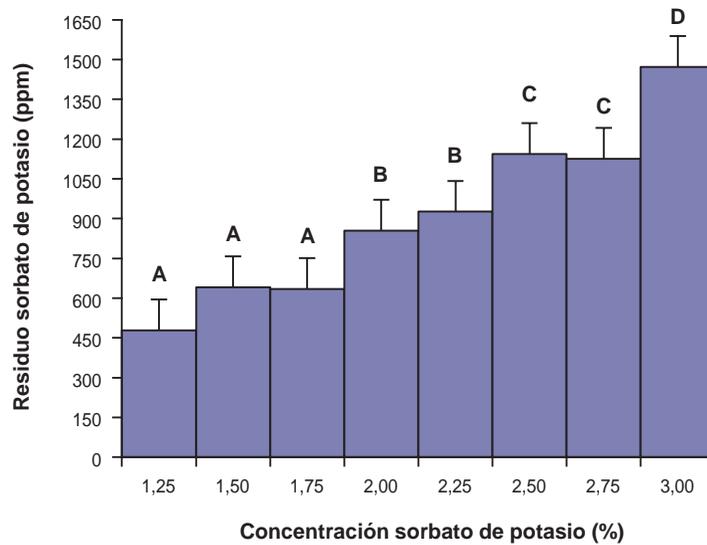


Figura 3. ANAVA entre la concentración de sorbato p.a. utilizado y el residuo obtenido en la ciruela tiernizada para el método de inmersión.

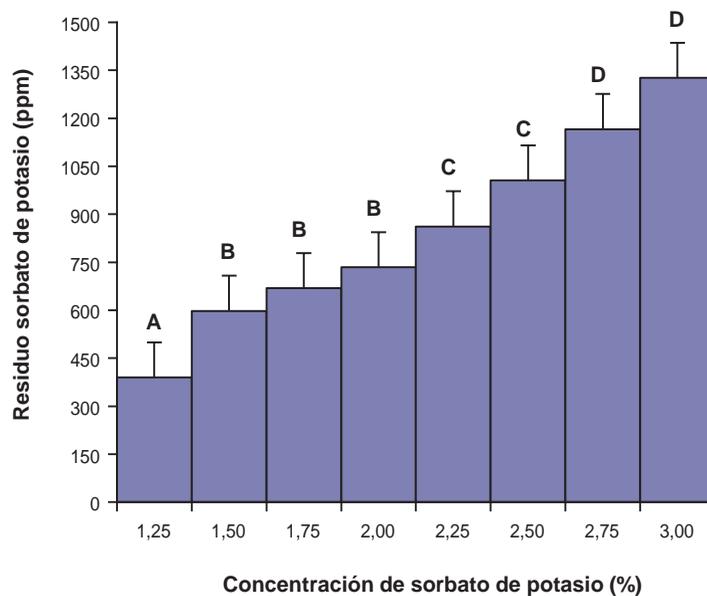


Figura 4. ANAVA entre la concentración de sorbato p.a. utilizado y el residuo obtenido en la ciruela tiernizada para el método de aspersión.

de aspersión: una solución con una concentración de 1,25% generó un residuo promedio de 390 ppm; 1,50-2,00% entre 598 y 735 ppm; 2,25-2,50% entre 862 y 1006 ppm y por último, 2,75-3,00% entre 1166 y 1327 ppm (figura 4).

Al comparar los resultados obtenidos en los ANAVA para los métodos de aplicación por inmersión y aspersión, pudo observarse que al emplear inmersión se obtenían residuos de sorbato de potasio en la ciruela más elevados que utilizando aspersión. Por lo tanto, se efectuó un ANAVA para comparar si las diferencias entre métodos de aplicación eran significativas.

Comparación entre métodos de aplicación de sorbato de potasio

Se realizó un ANAVA (prueba LSD de Fisher utilizando $\alpha = 0,05$) y se obtuvo un valor de $p = 0,0272$, por lo tanto, al ser $p < 0,05$, existieron diferencias significativas entre los métodos de aplicación de sorbato de potasio. El método de aplicación por inmersión obtuvo un valor de media (909,47 ppm) mayor que la del método de aspersión (844,11 ppm) (figura 5). Por lo tanto, este resultado permitió concluir que al emplear el método de inmersión, se obtiene una mayor concentración residual de sorbato de potasio en la ciruela tiernizada.

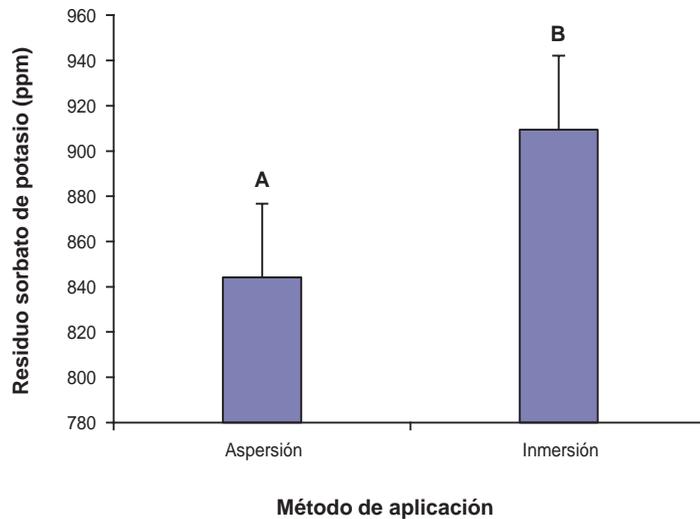


Figura 5. ANAVA entre los métodos de aplicación de sorbato de potasio.

Tabla para estimar el contenido de sorbato de potasio residual

En la tabla 2 se observan los datos obtenidos para estimar el contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada en función de la concentración y aplicación de conservante utilizado. La tabla es válida exclusivamente para ciruela procesada con una humedad final de $30 \pm 2\%$ - a_w $0,782 \pm 0,020$. Este aspecto es importante, como

expusieron Alagöz *et al.* (2015), quienes observaron que en frutas con diferentes contenidos de humedad inmersas en soluciones de sorbato de potasio a igual concentración, aquella que poseía mayor contenido de humedad absorbía más cantidad de conservante. Este fenómeno se debía a que la fruta con mayor contenido de humedad tenía menor contenido de materia seca, por lo tanto, el flujo de la solución de sorbato de potasio era mayor que en la muestra con un menor porcentaje de humedad.

Tratamiento	Concentración de sorbato de potasio (%)	Método de Aplicación
1	1,25	Inmersión en 400 ml de solución de sorbato de potasio por 30 segundos a temperatura ambiente.
2	1,50	
3	1,75	
4	2,00	
5	2,25	
6	2,50	
7	2,75	
8	3,00	
1'	1,25	Aspersión de 10 ml de solución de sorbato de potasio a temperatura ambiente.
2'	1,50	
3'	1,75	
4'	2,00	
5'	2,25	
6'	2,50	
7'	2,75	
8'	3,00	

Tabla 2. Tabla para estimar el contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada en función de la concentración y aplicación de conservante utilizado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe una fuerte correlación entre el contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada con respecto a la concentración y forma de aplicación del conservante.

Para los métodos de aplicación por inmersión y aspersión, los residuos de sorbato de potasio obtenidos en función de las concentraciones utilizadas, se ajustaron a modelos lineales y se agruparon mediante rangos. Para el método de aplicación por inmersión; soluciones con una concentración entre 1,25-1,75% generan residuos comprendidos entre 489 y 641 ppm; 2,00-2,25% entre 855 y 926 ppm; 2,50-2,75% entre 1126 y 1143 ppm y por último, 3,00% un residuo promedio de 1473 ppm. En el caso del método de aspersión; una solución con una concentración de 1,25% generó un residuo promedio de 390 ppm; 1,50-2,00% entre 598 y 735 ppm; 2,25-2,50% entre 862 y 1006 ppm y por último, 2,75-3,00% entre 1166 y 1327 ppm.

Los métodos de aplicación mediante inmersión y aspersión presentaron diferencias significativas en cuanto a los residuos de sorbato de potasio obtenidos en el producto. El método de aplicación por inmersión obtuvo un valor de media (909,47 ppm) mayor que el del método de aspersión (844,11 ppm). Este resultado permitió concluir que, al emplear el método de inmersión, se obtiene una mayor concentración residual de sorbato de potasio en la ciruela tiernizada. Es decir, en la aplicación por inmersión se requiere una menor dosis para obtener la misma concentración final de sorbato en el producto; sin embargo, se recomienda la aplicación de conservante mediante aspersión ya que esta no modifica la humedad final de la ciruela tiernizada y es más aséptica.

La tabla obtenida serviría como herramienta de referencia a elaboradores para estimar el contenido residual de sorbato de potasio en ciruela tiernizada, con una humedad de $30 \pm 2\%$ - a_w $0,782 \pm 0,020$, en función de la concentración y del tipo de aplicación de conservante utilizado.

Asimismo, el presente trabajo de investigación podría considerarse como un precedente para la modificación del artículo 916 bis del C.A.A., el cual regula el tratamiento superficial de frutas desecadas con ácido sórbico o sorbato de potasio, siempre que el contenido residual (expresado en ácido sórbico) no exceda los 100 ppm de fruto entero. Concentración que resulta insuficiente para lograr la conservación del producto final. Mediante el análisis bibliográfico llevado adelante se puso de manifiesto que la acción antimicrobiana de los sorbatos se produce entre los 200 y 600 ppm dependiendo del contenido de humedad de la fruta a conservar. Esto se pudo corroborar en el Codex Alimentarius International Food Standards, el cual establece en la "Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios" (NGAA, CODEX STAN 192-1995) que se permite la utilización de sorbatos (INS 200-203) con un nivel máximo de 500 ppm en fruta deshidratada.

Una futura línea de investigación en la elaboración de ciruela tiernizada debería orientarse a la obtención nuevos métodos de conservación que no impliquen la adición de

sorbato de potasio. Esto permitiría satisfacer la tendencia del mercado actual que demanda cada vez más productos naturales u orgánicos.

BIBLIOGRAFÍA

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE MEDICAMENTOS, ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA MÉDICA. 2017. Código Alimentario Argentino. Capítulo xi: Artículos: 819 al 981 Alimentos Vegetales. (Disponible: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp verificado: 13 de abril de 2017).

ALAGÖZ, S.; TÜRKYILMAZ, M.; TAĞI, Ş.; ÖZKAN, M. 2015. Effects of different sorbic acid and moisture levels on chemical and microbial qualities of sun-dried apricots during storage. *Food Chemistry* 174, 356-364.

BALZARINI, M.; DI RIENZO, J.; TABLADA, M.; GONZALEZ, L.; BRUNO, C.; CÓRDOBA, M.; ROBLEDO, W.; CASANOVES, F. 2011. Introducción a la bioestadística. Aplicaciones con Infostat en Agronomía. Editorial Brujas. p. 383.

BOLIN, H.R.; BOYLE, F.P. 1967. Use of potassium sorbate, diethylpyrocarbonate and heat for the preservation of prunes at high moisture levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 18 (7), 289-291.

BOLIN, H.R.; KING, A.D.; STAFFORD, A.E. 1980. Sorbic acid loss from high moisture prunes. *Journal of Food Science* 45, 1434-1435.

CHICHESTER, D.F.; TANNER, F.W. 1973. Antimicrobial Food Additives – Sorbic Acid and its salts. En: FURIA, T.E. (Ed.). *Handbook of Food Additives*, Second Edition, Volume I. CRC Press, pp. 115-184.

CODEX ALIMENTARIUS INTERNATIONAL FOOD STANDARDS. 2016. Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios, CODEX STAN 192-1995. (Disponible: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B%2B192-1995%252FCXS_192e.pdf verificado: 21 de abril de 2017).

COMITÉ DE EXPORTADORES DE CIRUELA DE MENDOZA. Cámara de Comercio Exterior de Cuyo. (Disponible: <http://www.cceuyo.com.ar/nodos/ver/comite-de-exportadores-de-ciruela-de-mendoza> verificado: 07 de marzo de 2017).

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infostat.com.ar> verificado: 28 de marzo de 2017).

GUADAGNI, D.G.; SCHADE, J.E. 1973. Sensory evaluation of high-moisture dried prunes preserved with sodium benzoate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24 (8), 913-919.

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL. 2015. Informe por producto: Panorama del Sector Ciruela Deshidratada de Mendoza. Mendoza, Argentina. (Disponible: <http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2016/04/Panorama-Ciruela-deshidratada-2015-.pdf> verificado 20 de abril de 2017).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2008. ISO 5519:2008 Fruits, vegetables and derived products. Determination of sorbic acid content. Segunda edición.

LÜCK, E.; JAGER, M. 1997. Sorbic Acid. *Antimicrobial Food Additives: Characteristics, Uses, Effects*. 2nd revised and enlarged edition, Springer Science & Business Media. pp. 152-162.

MORALES FRIETTE, R. 1971. Tiernización de ciruela d'Agen (*Prunus domestica* l. variedad d'Agen), con variaciones de pre-tratamiento en la deshidratación y empleo de sorbato de potasio como estabilizador. Tesis para optar al grado de licenciado en Agronomía. Facultad de Agronomía, Escuela de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago de Chile, p. 64.

SOFOS, J.N. 2000. Sorbic Acid. En: NAIDU, A.S. (Ed.). Natural Food Antimicrobial Systems. CRC Press Boca Ratón. pp. 637-660.

SOFOS, J.N.; PIERSON, M.D.; BLOCHER, J.C.; BUSTA, F.F. 1986. Review Mode of action of sorbic acid on bacterial cells and spores. International Journal of Food Microbiology 3 (1), 1-17.

SOMOGYI, L.P. 2005. Plums and Prunes. En: BARRET, D.M.; SOMOGYI, L.P.; RAMASWAMI, H. (Eds.). Processing Fruits Science and Technology Second Edition. CRC Press Boca Raton. pp 513-529.

STAFFORD, A.E. 1976. Rapid analysis of potassium sorbate in dried prunes by ultraviolet or colorimetric procedures. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 24 (4), 894-895.

STOPFORTH, J.D.; SOFOS, J.N.; BUSTA, F.F. 2005. Sorbic acid and sorbates. En: DAVIDSON, P.M.; SOFOS, J.N.; BRANEN, A.L. (Eds.). Antimicrobials in Food, Third Edition. CRC Press, Boca Raton, FL, 49-91. pp. 49-90.

Eficiencia en el uso de agua para la producción de carne en sistemas irrigados con diferentes niveles de intensificación

MIÑÓN, D.P.¹; ZAPATA, R.R.²; GALLEGU, J.J.³

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es comparar la cantidad de agua que se utilizaría para la producción primaria (t MS ha⁻¹) y secundaria (kg carne ha⁻¹) en áreas regadas del Río Negro en modelos ganaderos pastoriles dinámicos que simulan distintos grados de intensificación: I Producción estacional de carne (240 días) con pasturas base alfalfa (PEO); II Idem I maximizando la eficiencia de todos los procesos; III Producción anual de carne (365 días) con pasturas PEO + pasturas otoño-invierno-primaverales (OIP); IV PEO + OIP + suplementación con maíz; V Pasturas PEO + doble cultivo (verdeos de invierno + verdeos de verano). Con el modelo I se producen 12 t MS ha⁻¹, se predicen 399 kg de carne ha⁻¹, se producen 10,5 kg MS mm⁻¹ y se utilizan 29 m³ de agua kg de carne⁻¹; modelo II: 19 t, 798 kg, 15 kg MS y 16 m³; modelo III: 14 t, 1188 kg, 11 kg MS y 11 m³; modelo IV: 14 t, 1392 kg, 11 kg MS y 10 m³ y modelo V: 24 t MS ha⁻¹, 2152 kg de carne ha⁻¹, 18 kg MS y 6,5 m³ kg de carne⁻¹. Se concluye que existe un amplio margen para incrementar la producción de forraje y carne en los valles regados de la Patagonia haciendo un uso más eficiente del agua aplicando tecnologías disponibles.

Palabras clave: modelos simulación, bovinos, riego, medioambiente, producción de carne.

ABSTRACT

The aim of this study is to compare the amount of water used in primary production (t DM ha⁻¹) and meat production (kg ha⁻¹) in the Río Negro irrigated areas in livestock grazing dynamic models that simulate different degrees of intensification: I seasonal meat production (240 days) alfalfa based (PEO) pastures; II Idem I maximizing the efficiency of all processes; III annual meat production (365 days) with PEO + autumn-winter-spring (OIP) pastures; IV PEO + OIP + corn supplementation; V Pastures PEO + double cropping (winter + summer). Model I produced 12 t DM ha⁻¹, predicted 399 kg meat ha⁻¹, produced 10.5 kg DM mm⁻¹ and used 29 m³ of water meat kg⁻¹; model II: 19 t, 798 kg, 15 kg DM and 16 m⁻³, model III: 14 t, 1188 kg, 11 kg DM and 11 m⁻³; model IV: 14 t, 1392 kg, 11 kg DM and 10 m³ and model V 24 t DM ha⁻¹, 2152 kg of meat ha⁻¹, 18 kg DM and 6.5 m³ kg of meat⁻¹. In conclusion, there is an wide range to increase forage production and meat in irrigated valleys of Patagonia making more efficient use of water resources.

Keywords: simulation models, cattle, irrigation, environment, meat production.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior, Convenio Pcia. Río Negro-INTA. Universidad Nacional de Río Negro (UNRN). Ruta Nac. N° 3 km 971, Camino 4 IDEVI (8500), Viedma, Río Negro. Correo electrónico: minion@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior, Convenio Pcia. Río Negro-INTA.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Valle Inferior, Convenio Pcia. Río Negro-INTA. Universidad Nacional del Comahue (UNCo).

INTRODUCCIÓN

La ganadería en sistemas irrigados requiere de estrategias científicas integrales que permitan incrementar la producción sin perder de vista la conservación y mejora de los recursos naturales involucrados (Steinfeld *et al.*, 2006). Los mayores niveles de producción de alimentos están asociados al aumento del flujo de nutrientes y energía y al incremento de riesgos de deterioro ambiental (Tilman *et al.*, 2001).

En los sistemas ganaderos, el agua aplicada es el mayor costo en términos del volumen empleado. Considerando la superficie que ocupan y el crecimiento futuro de las superficies intensivas de forrajeras, será necesario mejorar la productividad del agua (FAO, 2002). La producción de forraje en sistemas irrigados para ser transformado en carne tiene un alto costo de oportunidad ya que compite con la producción de alimentos para consumo humano (FAO, 2002).

En el Valle Inferior del Río Negro (VIRN) el 78% de la superficie regada está dedicada a forrajes, principalmente alfalfa y pasturas plurianuales para henificar y para producción de carne (Di Nardo *et al.*, 2006/07). Las cargas promedio de los sistemas ganaderos son bajas (1,8 a 2,2 EV ha⁻¹-2003-09) (La Rosa *et al.*, 2010). La carga animal es el principal factor determinante de la producción por hectárea y del sistema (Shalloo, 2009).

El objetivo de este trabajo es comparar la cantidad de agua que se utilizaría para la producción primaria (kg MS ha⁻¹) y secundaria (kg carne ha⁻¹) en áreas regadas del río Negro en modelos ganaderos pastoriles que simulan distintos grados de intensificación de uso de los recursos forrajeros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se simularon modelos de producción de carne en sistemas irrigados (tabla 1) con datos de producción y distribución estacional de forraje (kgMS ha⁻¹ mes⁻¹) de experimentos en parcelas de corte de alfalfa (Gallego *et al.*, 2014; Gallego y Miñón, 2016), alfalfa-festuca (Enrique y Miñón, 1997; Ozcariz y Miñón, 1997), cultivares de trébol blanco (Barbarossa *et al.*, 2013), trébol blanco-festuca (Enrique y Miñón, 1995) y cultivares de festuca continentales y mediterráneas (Miñón *et al.*, 2013). Por un lado, se contaba con curvas de crecimiento de cultivares de festuca, trébol blanco y alfalfa (Sevilla *et al.*, 1997a), y secuencias de doble cultivo en siembra directa de maíz o sorgo forrajero combinado con avena, o cebada, destinándose ambos tipos de verdes para silaje (Colabelli *et al.*, 2016). El riego de los experimentos se realizó mediante sistema gravitacional con sifones, distribuyendo el agua en tablones con pendiente longitudinal (Pascual, 1993). Para todos los experimentos se disponía de la cantidad de riegos realizados. Las láminas aplicadas se estimaron en 120 mm en función de mediciones realizadas por Lui *et al.* (2012) en establecimientos del VIRN en pasturas similares.

Por otro lado se disponía de información sobre cargas, ganancia de peso, períodos de utilización, producción de

carne y elaboración de reservas en pasturas de alfalfa-gramíneas (Sevilla *et al.*, 1996; Kugler y Barbarossa, 1998; Garcilazo *et al.*, 2005), trébol blanco-gramíneas (Montico y Rodríguez, 2015) y pasturas base alfalfa suplementadas con grano de maíz (Garcilazo *et al.*, 2003; Garcilazo *et al.*, 2005; Garcilazo y Barbarossa, 2007). Se conocía el desempeño de bovinos consumiendo silajes de sorgo y maíz (Garcilazo *et al.*, 2012; Neira Zilli *et al.*, 2012) y de avena y cebada (Elizalde y Gallardo, 2003).

La evapotranspiración potencial del VIRN (1965-2008) calculada por distintos métodos (Blaney y Criddle, Papadakis y Turc) es superior a los 1000 mm, y el aporte de lluvias promedio es de 408 mm (Martín, 2009). Se consideró que un 74% de las precipitaciones son efectivas (método del porcentaje fijo: FAO, 1992) lo que representaría 302 mm aunque la dotación normal de riego es de 700 mm para cultivos de probable implantación en la zona. Dado que el déficit hídrico es permanente el riego que debe aplicarse es integral (Martínez *et al.*, 2012).

La simulación de los modelos se realizó mediante planilla de cálculo electrónica del programa Microsoft® Excel 2010 en los que se procesaron los datos provenientes de los experimentos mencionados. Mediante un cuadro de doble entrada en las columnas se ubicaron los modelos y en las filas los principales componentes: producción primaria y secundaria y agua utilizada.

Se consideró la producción de los distintos recursos forrajeros, su distribución mensual (t MS ha⁻¹) y el forraje cosechado según la eficiencia establecida (t MS ha⁻¹) en cada modelo. En la producción secundaria se consideró la carga animal (animales ha⁻¹), ganancia de peso (kg animal día⁻¹), pesos de ingreso y egreso (kg), duración del ciclo productivo (días), producción de carne por animal y por hectárea (kg carne animal⁻¹; kg carne ha⁻¹), la eficiencia de conversión utilizada fue de 10:1. En el componente agua utilizada se consideró la precipitación efectiva (m³), riegos aplicados (m³) y el consumo de agua por animal (m³) (10% del peso vivo). En el modelo IV se consideró el aporte de agua virtual con el maíz "importado" al sistema (900 l kg grano⁻¹).

Modelos

En la base de los modelos se ubica el sistema típico del VIRN, que consiste en una invernada corta de vaquillonas de 240 días que se alimenta con pasturas de alfalfa-festuca en regular estado caracterizado por La Rosa *et al.* (2010). La eficiencia de cosecha aplicada fue del 60%.

El segundo sistema es similar: invernada corta de vaquillonas pastoreando alfalfa-festuca fertilizada (20 kg P en la siembra). Este sistema presenta una pastura más productiva de 17 t MS ha⁻¹, mayor carga animal, eficiencia de cosecha del 70% y la conservación como heno de los excedentes de primavera. Asimismo se aplicó un riego adicional.

El tercer modelo es un sistema de invernada larga que combina pasturas primavera-estivo-otoñales (PEO) con otras de ciclo otoño-invierno-primaveral (OIP) fertilizadas

Sistemas productivos	Modelo I Invernada corta vaquillonas	Modelo II Invernada corta intensiva de vaquillonas	Modelo III Invernada larga de vaquillonas	Modelo IV Invernada larga novillos suplementados	Modelo V Invernada larga novillos y doble cultivo
Recursos Forrajeros	Alfalfa+Festuca	Alfalfa+Festuca	Alfalfa+Festuca / Festuca mediterránea+ Trébol)	(Alfalfa+Festuca)+ (Festuca mediterránea+Trébol)+ suplementación maíz	(Alfalfa+Festuca)+ Maíz/ Sorgo+Avena/ Cebada
Duración ciclo (días)	240	240	365	365	365
Carga (animales . ha ⁻¹)	3	6	6	6	8
Biomasa animal promedio (kg ha ⁻¹)	799	1599	1494	1596	2356
Agua proveniente de riego (mm ha ⁻¹)	840	960	960	960	1040

Tabla 1. Característica de los modelos formulados.

a la siembra. Las mezclas fueron alfalfa-festuca del tipo templado y festuca de tipo mediterránea-trébol blanco respectivamente. La relación PEO: OIP fue de 60:40%.

El cuarto sistema es una invernada larga de novillos con pasturas PEO y OIP, fertilizadas con P, a las que se les adiciona grano de maíz de producción externa para suplementación estratégica. En este modelo se produce durante 365 días. La suplementación puede hacerse durante la recría (mayo-agosto) en pasturas OIP o en otoño (febrero-abril) para alcanzar niveles comerciales de engrasamiento.

En quinto lugar se consideró la utilización de una pastura PEO + un doble cultivo forrajero: (verde de verano (VV) + verde de invierno (VI) en una invernada de novillos de 365 días. El porcentaje de superficie destinado a cada recurso (67-33%) se estimó de manera tal que los volúmenes de forraje producidos fueran similares en ambas áreas. Se combinaron maíz y sorgo fertilizados (300 kg de N ha⁻¹) con avena y cebada fertilizados (100 kg de N ha⁻¹) que se utilizaron para la confección de silajes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 puede observarse el agua que demandaría la producción de forraje y carne en los modelos propuestos. Aunque los requerimientos de agua para la producción de forraje y carne pueden variar, se estima que en promedio se necesitan entre 0,5-5 m³ kg MS⁻¹ y entre 13-35 m³ kg carne⁻¹ respectivamente (Barthelèmy *et al.*, 1993; Renault y Wallender, 2000; Mekonnen y Hoekstra, 2012).

En los modelos planteados sería posible pasar de una producción de 10,5 a 18 kg MS mm⁻¹ (tabla 2). Valores similares a los del Modelo I (MI) fueron informados por Godoy-Avila *et al.* (2003) quienes alcanzaron una producción de 10,7 kg MS mm⁻¹ en México. Según Ochoa (1997) en California la relación oscila entre 12,5 y 14,3 kg MS mm⁻¹.

En MI la pastura PEO está por debajo de su potencial, se efectúan menos riegos, se utilizan bajas cargas y por ende

la producción de carne es inferior. Diferentes estimaciones hacen referencia a una producción promedio para el VIRN de 300 kg carne ha⁻¹ (Di Nardo *et al.*, 2006/2007; La Rosa *et al.*, 2010). En consecuencia MI reflejaría producciones superiores a las observadas y la eficiencia en la utilización del agua sería muy baja. A su vez el costo en m³ por kg de MS de forraje producido es el más alto (tabla 2). La alfalfa es la más productiva de las especies perennes, puede superar las 20 t MS ha⁻¹ (Gallego, 2014). En mezcla con gramíneas alcanza unas 17 t MS ha⁻¹ (Sevilla *et al.*, 1997b). Las estimaciones de producción promedio incluyen sistemas con pasturas PEO y otras especies menos productivas como festuca o agropiro, muy difundidas en el VIRN.

Por un lado, incrementando la eficiencia de cosecha al 75% y aplicando los riegos correspondientes (Modelo II, MII), la cantidad de agua es un 48% menor respecto al MI y se puede duplicar la producción de carne ajustando el manejo de los recursos (tabla 2). Antecedentes en sistemas ganaderos experimentales y comerciales zonales mencionan rendimientos de 693 a 811 kg carne ha⁻¹ utilizando pasturas de alfalfa-festuca en el Valle Bonaerense del Río Colorado (Sevilla *et al.*, 1996). Por otro lado Kugler y Barbarossa (1995) lograron 1070 kg de carne ha⁻¹ en una pastura de alfalfa-agropiro. Se puede concluir que MII estima aceptablemente la producción de carne ha⁻¹ respecto de los sistemas reales.

Al combinar pasturas PEO + OIP (Modelo III, MIII) se logra mayor estabilidad en la disponibilidad de forraje, valor nutritivo y en la carga animal (Montico y Rodríguez, 2015), lo que permitiría producir más de 1000 kg carne ha⁻¹. El agua empleada es un 31% menor respecto al MII lo que denota un mayor aprovechamiento atribuible a la ocupación continua de los lotes con material fotosintéticamente activo (tabla 2). Las pasturas OIP combinan festucas mediterráneas con trébol blanco que producen en otoño-invierno, alcanzando rendimientos entre 7-10 t MS ha⁻¹ (Gallego *et al.*, 2011). La producción se puede diferir logrando 3-4 t MS ha⁻¹ entre marzo-agosto (Montico y Rodríguez, 2015).

Modelos	I	II	III	IV	V
Materia Seca (t MS ha ⁻¹)	12	19	14	14	24
Agua utilizada en la producción de forraje (m ³ t MS ⁻¹)	951	667	906	906	260
kg MS mm ⁻¹	10,5	15	11	11	18
Carne producida (kg ha ⁻¹)	399	798	1188	1392	2152
Agua utilizada para producción de carne (m ³ kg carne ⁻¹)	29	16	11	10	6,5
Kg carne mm ⁻¹	0,349	0,633	0,942	1,104	1,604

Tabla 2. Producción primaria (kg MS ha⁻¹), producción secundaria (kg carne ha⁻¹) y agua demandada para cada uno de los modelos propuestos.

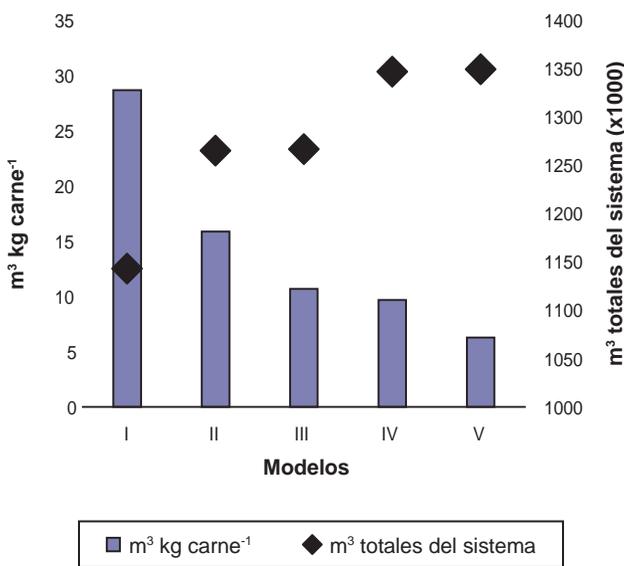


Figura 1. Producción primaria (kg MS ha⁻¹), producción secundaria (kg carne ha⁻¹) y agua demandada para cada uno de los modelos propuestos.

Durante el mismo período estas mezclas produjeron 33% más de forraje que una pastura PEO.

El Modelo IV (MIV) incorpora agua externa al sistema. Para producir una tonelada de cereal se requieren entre 900 y 3000 m³ (FAO, 2012). Esto se traduce en una mayor producción de carne aunque la eficiencia en el uso del agua es similar al MIII. El agua importada al sistema representa un ahorro del recurso que puede destinarse a otros fines. Durante el otoño las pasturas poseen un alto contenido de proteína de alta degradabilidad ruminal y un bajo contenido de carbohidratos solubles (Pordomingo *et al.*, 2008) que afectan las ganancias de peso vivo y la terminación comercial de los animales. A diferencia del modelo anterior en este se logra engrasar en forma correcta a los animales y se produce un 17% más de carne (tabla 2).

El Modelo V (MV) alcanzaría las mayores eficiencias en el uso del agua. El volumen empleado es mayor y permitiría casi multiplicar por cinco la producción (tabla 2). Parte de la ganancia se debe a la inclusión de especies C4 que son más

eficientes en el uso del agua (Valenzuela *et al.*, 2009). Los cultivos de maíz alcanzan producciones entre 18 y 35 t MS ha⁻¹ y los sorgos entre 14 y 25 t MS ha⁻¹ (Colabelli *et al.*, 2016). Los verdes de invierno para silaje (avena y cebada) proveen forraje verde y aceptable proteína bruta que podría ser utilizado durante otoño e invierno. Con estas especies se pueden obtener de 9 a 14 t MS ha⁻¹ para ensilar (Colabelli *et al.*, 2016).

En MV si bien el nitrógeno se aplica fraccionado para suplir gradualmente las demandas de los cultivos minimizando las pérdidas al ambiente, deberían efectuarse mediciones para conocer posibles externalidades negativas que afecten los cursos de agua (Gil, 2015). La intensificación de los sistemas de producción podría incrementar los flujos de energía y nutrientes provocando una exposición a procesos de contaminación (Viglizzo y Roberto, 1997). Cabe aclarar que los modelos son eficaces para estudiar el mérito relativo de diferentes alternativas de manejo de los sistemas más que para predecir los resultados exactos de estos (Fu, 2002).

La cantidad de agua utilizada en los modelos se incrementa al aumentar la complejidad de este verificándose una significativa diferencia en el volumen empleado por unidad de producto entre MI y MV. Obtener más de 1000 kg de carne ha⁻¹ solo es posible con altos niveles de producción de materia seca, de eficiencia de cosecha del forraje producido y el empleo de altas cargas instantáneas.

Los sistemas bovinos cumplen un rol importante al evitar el efecto de una agricultura continua, ya sea con especies hortícolas o cereales anuales. Las pasturas controlan malezas, mantienen un ciclado de nutrientes y reincorporan parte de los extraídos por las plantas. Además mejoran las condiciones físicas del suelo y aportan nitrógeno mediante fijación biológica disminuyendo la necesidad de utilizar fertilizantes (Haynes y Williams, 1993; Díaz Zorita y Barraco, 2002; Eiza *et al.*, 2005). La intensificación de la producción animal debe contar con esquemas de rotación adecuados, un monitoreo constante y tecnologías de control y reciclado de desechos para hacer frente a los desafíos ambientales que cada vez son más evidentes (Jobbágy, 2011).

CONCLUSIONES

El MI es el menos eficiente en la producción de forraje seguido por MIII y MIV que emplean pasturas PEO + OIP,

estas últimas estabilizan la producción anual de alimento, pero son menos productivas que las primeras. El MII presenta una eficiencia intermedia, factible de lograr con tecnologías de bajo costo, mientras que la inclusión de una gramínea C4 en Mv maximiza la producción de materia seca y la eficiencia de uso del agua.

Los MI y II estacionales son menos eficientes en la utilización del agua para la producción de carne que los modelos anuales (III, IV y V) aunque el consumo total de agua no varió significativamente entre modelos.

La producción de carne aumenta con la intensificación del uso de los recursos entre los MI a Mv, incrementándose la eficiencia del uso del agua en el mismo sentido.

Existe un amplio margen para incrementar la producción de forrajes y carnes en los valles de la Patagonia haciendo una utilización más eficiente del agua de riego. Realizar avances en esta dirección será imperioso en la medida que la disponibilidad del agua se torne limitante por la expansión de las áreas regadas.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBAROSSA, R.A.; GALLEGO, J.J. y MIÑÓN, D.P. 2013. Producción de forraje de cultivares de trébol blanco en valles norpatagónicos. En: MIÑÓN, D.P.; GALLEGO, J.J.; BARBAROSSA, R.A. (Eds.). Producción de forraje de especies y cultivares de leguminosas en valles regados norpatagónicos. Ediciones INTA. Información Técnica N.º 33, 25-31.
- BARTHÉLEMY, F.; RENAULT, D.; WALLENDER, W. 1993. Water for a Sustainable Human nutrition: Inputs and resources analysis for Arid areas. UC Davis Internal report, p. 70.
- COLABELLI, M.R.; NEIRA ZILLI, F.; BARBAROSSA, R.A.; GALLEGO, J.J.; MIÑÓN, D.P. 2016. Producción de forraje de secuencias de cultivos anuales y alfalfa bajo riego en el Valle Inferior del Río Negro. Resultados de tres años de evaluación. RAPA 36, 402.
- DÍAZ ZORITA, M.; BARRACO, M. 2002. ¿Cómo es el balance de fósforo en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? Informaciones Agronómicas del Cono Sur 13, 8-10.
- DI NARDO, Y.; LASCANO, O.; TAGLIANI, P.; VILLEGAS, M. 2006/2007. La Economía Agropecuaria bajo riego en el Valle de Viedma. Revista Piquén, Sección Agronomía. Año VIII 8, 1-9.
- EIZA, M.J.; FIORITI, N.; STUDDERT, G.A.; ECHEVARRÍA, H.E. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. Ciencia del Suelo 23, 59-67.
- ELIZALDE V, H.F.; GALLARDO, C. 2003. Evaluación de ensilajes de avena y cebada en la ganancia de peso de vaquillas en crecimiento. Agricultura Técnica v. 63, n.º 4. (Disponible: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072003000400006 verificado 10 de julio de 2017).
- ENRIQUE, M.L.; MIÑÓN, D.P. 1995. Comportamiento de mezclas simples de tréboles y gramíneas irrigadas y pastoreadas con ovinos. Memorias XIV Reunión Latinoamericana de Producción Animal y 19 Congreso Argentino de Producción Animal. RAPA 15 (1), 55-59.
- ENRIQUE, M.L.; MIÑÓN, D.P. 1997. Forage production of irrigated lucerne-grass mixture grazed by sheep. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba, Saskatoon, Canadá. Volume 2 Session 29-Grazing Management, 125-126.
- FAO. 1992. Cropwat. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. FAO. Estudios Riegos y Drenajes N.º 46, pp. 23-24.
- FAO. 2002. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje N.º 56, p. 299.
- FAO. 2012. (Disponible: <http://www.unwater.org/www12/campaign.html> verificado 10 de marzo de 2016).
- FU, M.C. 2002. Optimization for simulation: theory vs practice. Inform Systems Journal on Computing 14, 192-215.
- GALLEGO, J.J.; BARBAROSSA, R.A.; MIÑÓN, D.P. 2011. Comportamiento de variedades de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) en condiciones de riego en el noreste patagónico (Argentina). Memorias de la XXII Reunión ALPA. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal Vol. 19 (1), 69.
- GALLEGO, J.J. 2014. Red de evaluación de cultivares de alfalfa: Localidad Viedma. En: SPADA, M. del C. (Ed.). Avances en alfalfa. Ensayos territoriales. Red de evaluación de cultivares de alfalfa. Año 24. N.º 24, pp. 85-91.
- GALLEGO, J.J.; MIÑÓN, D.P. 2016. La producción de alfalfa en el Valle Inferior del Río Negro frente al cultivo en otros ambientes de la Argentina: resultados de una comparación. Revista Piquén. Centro Regional Zona Atlántica. Universidad Nacional del Comahue 15 N.º 1. (Disponible: www.curza.net/revistapiquen/index.php/agro/article/view/160 verificado 10 de julio de 2017).
- GARCILAZO, G.; KUGLER, N.; BARBAROSSA, R.; ELIZALDE, J. 2003. Suplementación de novillos en pastoreo en otoño con grano de avena y maíz. RAPA 23 (1), 84-85.
- GARCILAZO, G.; KUGLER, N.M.; BARBAROSSA, R.A. 2005. Respuesta animal y consumo de novillitos suplementados con grano de maíz entero sobre pasturas de alfalfa y gramíneas en primavera. RAPA 21 (1), 83-84.
- GARCILAZO, M.G.; BARBAROSSA, R.A. 2007. Consumo, ganancia de peso y rendimiento carnicero de novillos pastoreando alfalfa suplementados con grano de maíz o avena. RAPA 27 (1), 100-101.
- GARCILAZO, M.G.; NEIRA ZILLI, F.A.; ANGELICCHIO, C.P. 2012. Alimentación a corral con silaje de sorgo o grano de maíz en la recría y su efecto sobre la terminación en pastoreo de alfalfa. RAPA 32 (1), 192.
- GIL, R.P. 2015. El uso del agua en una agricultura sustentable. En: CASAS, R.; ALBARRACÍN, G.F. (Eds.). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo I. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua, pp. 351-362.
- GODOY AVILA, C.; PÉREZ GUTIÉRREZ, A.; TORRE, C.A.; HERMOSILLO, L.J.; ISIDRO REYES, J. 2003. Uso del agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Agrociencia, 37 (2), 107-115.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Advances in Agronomy 49, 119-197.
- JOBÁGY, E.G. 2011. Una mirada hacia el futuro. En: Viglizzo, E.F.; Jobbágy, E.G. (Eds.). Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico – ambiental, pp. 71-78.
- KUGLER, N.; BARBAROSSA, R. 1995. Engorde de vaquillonas en una pastura de alfalfa y agropiro con dos niveles de uso. RAPA 15 (1), 59-92.
- KUGLER, N.M.; BARBAROSSA, R.A. 1998. Producción de carne en dos sistemas de pastoreo rotativo sobre alfalfa. RAPA 18 (1), 220-221.
- LA ROSA, F.; SANCHEZ, J.; MIÑÓN, D. 2010. Sistemas irrigados de producción bovina del Valle Inferior del río Negro. Es-

- estructura y funcionamiento. Período 2003-2009. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Información Técnica N.º 30. Año 5 (12), p. 40.
- LUI, E.N.; ROA, R.C.; MARTÍNEZ, R.S.; ZELMER, H. REINOSO, L.; D'ONOFRIO, M. 2012. Evaluaciones de riego parcelarias en el Valle Inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. En VI Jornadas de actualización en riego y fertirriego: prácticas para incrementar la productividad y asegurar la sostenibilidad del uso del agua y del suelo. Mendoza, Argentina. (Disponible: http://www.riegoyfertirriego.com.ar/VI_Jornadas/ResumenesVIJARF/VI-JARF_Resumenes2012.pdf verificado 10 de marzo de 2017).
- MARTÍN, D. 2009. Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Información Técnica N.º 27. Año 4 (9), p. 80.
- MARTÍNEZ, R.S.; MARGIOTTA, F.A.; REYNOSO, L.; MARTÍNEZ, R.M. 2012. Buscando alcanzar altos rendimientos del cultivo de maíz. Experiencias en los valles norpatagónicos. EEA Valle Inferior Convenio Provincia de Río Negro-INTA. 3.ª Reunión Internacional de Riego. Manfredi, Córdoba. (Disponible: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_inta_buscando_alcanzar_altos_rendimientos_del_cultivo.pdf verificado: 11 de julio de 2017).
- MEKONEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15 (3), 401-415.
- MIÑÓN, D.P.; BARBAROSSA, R.A.; GALLEGO, J.J. 2013. Producción de forraje de especies y cultivares de gramíneas en valles regados norpatagónicos. EEA Valle Inferior Convenio Provincia de Río Negro-INTA. Información Técnica N.º 34, 13-24.
- MONTICO, M.L.; RODRIGUEZ, M.G. 2015. Beneficios del uso de pasturas base trébol en los sistemas ganaderos del Valle Bonaerense del Río Colorado. (Disponible: corfo.gob.ar/wp-content/uploads/2015/12 verificado 7 de febrero de 2016).
- NEIRA ZILLI, F.; GARCILAZO, M.G.; ANGELICCHIO, C.P. 2012. Recría de vaquillonas con tres fuentes de proteína sobre silaje de maíz. *RAPA* 32 (1), 193.
- OCHOA, L.H. 1997. La alfalfa en Santiago del Estero. Alfalfa: 3.º Jornadas Técnicas del NOA. INTA-Subs. Prod. Pcia. S.E.-FAA/UNSE-CIASE: 22.
- OZCARIZ, M.E.; MIÑÓN, D.P. 1997. Comportamiento de cuatro leguminosas intersembradas en una pastura de gramíneas en un suelo de granulometría pesada. Seminario Taller Internacional Argentino-Chileno. Intercambio de Experiencias de Pastoreo y Conservación de Forraje. III Reunión Grupo Regional Patagónico de Ecosistemas de Pastoreo. INTA-FAO-INIA, 51-54.
- PASCUAL, B. 1993. El riego: principios y prácticas. Universidad Politécnica de Valencia, p. 401.
- PORDOMINGO, A.J.; PORDOMINGO, A.B.; JUAN, N.A. 2008. Relación entre el aumento de peso de novillos sobre verdeos de invierno y parámetros de calidad del forraje. EEA Anguil-INTA. Boletín de Divulgación Técnica N.º 94, 27-29.
- RENAULT, D.; WALLENDER, W.W. 2000. Nutritional Water Productivity and Diets: From «Crop per drop» towards «Nutrition per drop». *Agricultural Water Management*, 45, 275-296.
- SEVILLA, G.; PASINATO, A.; GARCÍA, J.M.; IORIO, C. 1996. Invernada intensiva sobre pasturas irrigadas en el Valle Bonaerense del río Colorado. *RAPA* 16 (1), 46-47.
- SEVILLA, G.H.; PASINATO, A.; GARCÍA, J.M. 1997a. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 9, 91-98.
- SEVILLA, G.; PASINATO, A.; GARCÍA, J.M. 1997b. Producción y calidad de pasturas cultivadas en Norpatagonia (Buenos Aires). Seminario Taller Internacional Argentino Chileno Intercambio de Experiencias de Pastoreo y Conservación de forraje. III Reunión Grupo Regional Patagónico de Ecosistemas de Pastoreo. INTA-FAO-INIA, 62-65.
- SHALLOO, L. 2009. Pushing the barriers on milk costs/outputs. Teagasc National Dairy Conference. Mullingar and Killerney. 18 nov., 13-39.
- STEINFELD, H.; GERPER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture of the United Nations, Roma, Italia, p. 493.
- TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292, 281-284.
- VALENZUELA, C.; DELLA MAGGIORA, A.; ECHARTE, L.; CAMBARERI, M.; POLIZZI, M. 2009. Evapotranspiración y eficiencia en el uso de agua en intercultivos maíz-soja vs. cultivos puros. *Meteorológica* 34 (2). (Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2009000200001 verificado 15 de julio de 2016).
- VIGLIZZO, E.F.; ROBERTO, Z.E. 1997. El componente ambiental en la intensificación ganadera. *RAPA* 17, 271-292.

Relevamiento de la actividad avícola en el territorio norte del Área Metropolitana de Buenos Aires

SEPULCRI, M.G.¹⁻³; PALACIOS, D.¹; MAGRI, L.I.¹; BARBANO, P.M.¹

RESUMEN

La actividad avícola de la región Norte del Área Metropolitana de Buenos Aires está constituida principalmente por la producción de pollo parrillero y huevo fresco. Esta actividad agropecuaria resulta, después de la horticultura, segunda en importancia de producción en el ámbito cercano a la gran metrópolis. El avance urbano de los últimos años ha condicionado a la avicultura debido al surgimiento de nuevas disputas por la ocupación del suelo y de crecientes tensiones productivo-ambientales. La presencia de olores, moscas, la generación de grandes cantidades de residuos, y la cercanía a nuevos espacios urbanizados afectó negativamente el crecimiento y estabilidad de esta actividad productiva. Contar con un relevamiento de la avicultura en la zona, considerando la disposición y uso de desechos, permitirá intervenir tecnológicamente para minimizar los factores condicionantes de dicha actividad. El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico de la situación actual en el sector avícola del territorio norte del Área Metropolitana de Buenos Aires, que constituya información de base para poder evaluar posibles intervenciones que contribuyan a la convivencia entre el sector residencial y productivo. Se realizaron encuestas personales a campo para evaluar variables como tamaño de granja, nivel tecnológico y manejo de residuos. Este trabajo permitió visualizar una gran diversidad tecnológica en las granjas del territorio y su incidencia sobre la logística de los residuos. Se observó que el actual manejo de los desechos puede acarrear riesgos sanitarios y ambientales, existiendo mayores limitaciones para la gestión del guano en las granjas dedicadas a la producción de huevos. Asimismo, a través de estos contactos se logró identificar productores interesados en agregar valor al residuo y transformar un problema en una oportunidad.

Palabras clave: residuos avícolas, urbanización, periurbano norte.

ABSTRACT

The main poultry activities in the North Region of Metropolitan Area of Buenos Aires province are broiler and egg production. This activity is ranked as second leading peri-urban agricultural production. Urban progress has conditioned the poultry activity because of new quarrels about land use and increasing environmental and productive pressure. The presence of unpleasant smells, flies, huge quantities of manure and proximity to new urbanized sites adversely affected the productive growth and stability. A survey of the poultry in the

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), Agencia de Extensión Rural Luján, Dr. Negri entre Riguetti y Dr. Laza s/n. 6700, Luján, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: sepulcri.maria@inta.gob.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA). Av. Gob. Udaondo 1695. 1714, Itzaingó, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: palacios.diego@inta.gob.ar

³Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Alimentos y Alimentación Animal. Camino de Cintura (Ruta Prov. N° 4) y Av. Fair s/n. 1836, Llavallol, Buenos Aires.

Recibido 16 de agosto de 2016 // Aceptado 19 de febrero de 2018 // Publicado online 19 de septiembre de 2018

zone, considering the manure management could help to join in with appropriate technologies that minimize the conditioning factors of this activity. The aim of this work was to carry out a diagnostic of the current state of the poultry in the North region of Metropolitan Area of Buenos Aires province that brings baseline information to evaluate possible interventions that allow the coexistence between residential and productive poles. We did personal inquiries at field. Variables as farm size, technological level and manure management were asked. This work allowed visualizing a great technological diversity among the interviewed farms. It was observed that the current poultry litter management could introduce sanitarian and environmental risk. The egg producers have more limitations for manure logistics than broiler farms. Also, we could identify producers that are interested in adding value to the litter and turn a problem in an opportunity.

Keywords: chicken manure, urbanization, north peri-urban.

INTRODUCCIÓN

En los alrededores del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) se concentran las principales producciones de abasto alimentario en fresco, en el territorio comúnmente conocido como “cinturón verde bonaerense” (Benencia, 1994). Otros autores se refieren a la misma unidad de estudio del suelo, agregando una actualización de las transformaciones territoriales de las últimas décadas, producto del avance urbano sobre el suelo rural (Le Gall y García, 2009). En el último tiempo, se ha detectado un importante avance del área urbana y de clubes de campo sobre áreas rurales y agropecuarias, modificando el contexto territorial en el cual las granjas avícolas se sitúan (Feito, 2014). El proceso de urbanización modificó el uso del suelo en el territorio periurbano, desplazando el espacio dedicado a la producción de alimentos, desde territorios homogéneos a pequeñas áreas más concentradas y especializadas, creando clústers productivos.

La actividad avícola del AMBA se concentra principalmente en el territorio norte, en cercanías a las autopistas que la conectan con la región maicera-sojera núcleo de la región pampeana (Palacios, 2014). En relación con otras actividades productivas, ocupa el segundo lugar en importancia numérica en la región según datos del Senasa, con 240 establecimientos después de la actividad hortícola con 329 (HFBA, 2005). Le sigue en importancia la producción florícola (flor de corte y plantas en maceta) con 100 unidades productivas según el mismo censo hortiflorícola bonaerense para los mismos distritos.

La avicultura desarrollada en la región del AMBA se compone principalmente por la producción de pollo parrillero, ponedoras de huevo, cría de ponedoras y reproductoras. El destino principal de la producción de alimentos derivados de las aves es el mercado de la gran metrópolis, ya que constituye el alimento proteico de producción cercana más importante y económico. Casi la totalidad de lo producido en carne y huevo es consumida en zonas próximas al área de producción y dentro del AMBA.

La actividad avícola no solo representa una de las principales fuentes de proteína animal a bajo precio, sino también

un importante aporte de enmiendas orgánicas que actualmente son aplicadas tanto en la producción hortícola intensiva como en la agricultura extensiva. La utilización del guano crudo como enmienda en agroecosistemas de campos propios o en superficies agrícolas de terceros es una práctica habitual. Si bien los efectos benéficos de los nutrientes presentes en la cama y en el guano sobre la fertilidad del suelo son bien conocidos, ellos también pueden transformarse en graves contaminantes del medioambiente (Crespo *et al.*, 2013). Existen tres inconvenientes principales que pueden presentarse como consecuencia del manejo inadecuado de las excretas avícolas: la lixiviación de los nitratos que puede alcanzar las napas de agua subterránea, la escorrentía de lotes con escasa cobertura que puede aportar fósforo a cursos de agua superficial y la liberación al ambiente de microorganismos patógenos (Maisonnave, 2015).

Esta problemática genera la necesidad de replantear y estudiar aspectos vinculados a la gestión y disposición adecuada para este tipo de materiales. El compostaje es considerado un buen método para aprovechar residuos orgánicos de distintos orígenes y calidades basado en el cumplimiento de las etapas termófilas y de madurez que aseguran la reducción de patógenos, semillas de malezas y de los problemas de inestabilidad de sustancias orgánicas fácilmente degradables (Lavado, 2012). No obstante, el éxito del proceso de tratamiento depende de las características del material y de las estrategias operativas que se llevan a cabo durante este (Tiquia *et al.*, 2002).

En los últimos años, la actividad avícola ha transitado por un proceso de intensificación en la producción que trajo como consecuencia la concentración de animales en áreas pequeñas, produciendo la acumulación de grandes cantidades de estiércol, generando problemas ambientales y malos olores (Ko *et al.*, 2008). Asimismo, el avance urbano de los últimos años ha condicionado a la avicultura, no solo por la ocupación del suelo, sino también por nuevas y crecientes tensiones productivo-ambientales, afectando negativamente su crecimiento y estabilidad. A raíz de esto, el objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico de la situación productiva y ambiental de los establecimientos avícolas de la zona, que permitió contar con información de base que

sirva para evaluar posibles intervenciones que contribuyan a la convivencia entre el sector urbano y productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se centró en el relevamiento de información primaria *in situ*, predominantemente cuantitativa, en conjunto con un análisis de información originado de fuentes secundarias que combinó información cuanti-cuali, vinculada a la problemática planteada. La recolección de información primaria se realizó por medio de una encuesta semiestructurada, organizada con preguntas abiertas y cerradas, orientadas a los productores avícolas, o en su defecto, a los encargados de la producción en las granjas visitadas. Asimismo, se realizaron algunas preguntas abiertas a fin de contextualizar y recodificar la información cuantitativa en combinación con la metodología cualitativa técnica propuesta por Vera (2005). El relevamiento de información secundaria implicó la revisión de trabajos interdisciplinarios precedentes a esta investigación en el territorio en cuestión, los cuales han dado cuenta de las transformaciones territoriales en las últimas décadas con impacto en la actividad agropecuaria en general y avícola en particular.

La población muestreada constituyó el conjunto de las explotaciones agropecuarias avícolas, ubicadas en los distritos de Campana, Pilar, Escobar, Luján y Exaltación de la Cruz, la cual se determinó utilizando como guía una base de datos de Senasa actualizada al año 2012. La unidad de análisis fue constituida por los establecimientos avícolas. Una vez definida la unidad territorial y de estudio se realizó un muestro intencionado no probabilístico (Taylor y Bogdan, 1986) para consolidar la herramienta final de recolección de información. Dicha encuesta contó con 30 preguntas, orientadas a los aspectos productivos como volumen de producción, tamaño de la granja, manejo, sanidad, instalaciones, tratamiento de residuos y tipo de ocupación de la tierra. Para poder concretar el diseño de la muestra en términos económicos y operativos, se calculó una muestra representativa a partir del universo de establecimientos preexistentes en la mencionada base de datos de Senasa. Por tratarse de una población conocida, la muestra final se seleccionó en forma aleatoria y simple. Se utilizó la fórmula propuesta por Cochran, (1983) que calcula el tamaño de muestra "n" según la cantidad proporcional de granjas por distritos y con un margen de error de 0,05 (ecuación 1):

$$n = \frac{NPQ}{\frac{e^2}{t^2} (N-1) + PQ}$$

donde N: tamaño de la población

n: tamaño de la muestra para estimar

e: error máximo admisible: 0,05

t: coeficiente de confianza

PQ: varianza poblacional

El relevamiento se realizó entre noviembre de 2013 y febrero de 2015. Se programaron salidas a campo de forma no continua, dependiendo de factores climáticos y disponibilidad de recursos. Para definir el tamaño de muestra ideal, representativa de cada distrito, se aplicó la fórmula de muestreo presentada (ecuación 1). Sin embargo, en función de las posibilidades de acceso a los campos y disponibilidad de tiempo y recursos, se logró obtener una muestra real que difiere mínimamente de la ideal (tabla 1). La cantidad total de granjas relevadas fueron 35.

Cada una de estas granjas visitadas se georreferenció a fin de indagar en los criterios generales de su localización y distribución espacial. Se construyeron cuadros de datos ordenados por actividad y variables operacionalizadas en reactivos cuantificados (Babbie, 2000). Los datos empíricos relevados en los establecimientos avícolas se analizaron y evaluaron teniendo en cuenta interacciones entre variables.

RESULTADOS

En relación con el tipo de actividad avícola específica, según el muestreo realizado para la región norte del AMBA, se observó que aquellas granjas orientadas a la producción de pollo parrillero lideran en cantidad con un 50% sobre el total de las unidades avícolas, seguido por la de gallinas de postura con un 44% de los establecimientos. Muy por debajo de estos valores, se encontraron las granjas con actividades de cría de ponedoras y reproductoras (tabla 2). De estas dos últimas mencionadas, la de reproductoras no se tuvo en cuenta para el análisis de resultados. Al ser un solo caso aislado, se prefirió analizar en forma comparativa las granjas de gallinas ponedoras y pollos parrilleros, informando por lo tanto el resultado de un total de 34 gran-

Distritos	Cantidad de granjas	Tamaño de muestra ideal	Tamaño de la muestra real
Exaltación de la cruz	106	15	15
Pilar	61	8	6
Luján	59	8	12
Escobar	11	2	1
Campana	3	0	1
Total	240	33	35

Tabla1. Cálculo de muestras según la cantidad de granjas totales (base de datos publicada por Senasa, 2012) en los distritos relevados.

jas. Por una parte, del total de granjas relevadas un 85% se encontraban activas al momento de la realización del diagnóstico, mientras que el 15% restante no registraban actividad. En dos de las cinco granjas inactivas se pudo hablar con el encargado quien nos comentó sobre el estado al momento, mientras que en las tres restantes se visualizó la granja vacía y sin actividad. Por otra parte, se observó que el 97% de los establecimientos se localizan próximos a centros urbanos, en un radio menor o igual a 3 km. Solamente una de las granjas entrevistadas (3%) se encuentra en un radio mayor (figura 1).

En cuanto al régimen de tenencia de la tierra y ocupación del suelo, el 96% de los establecimientos avícolas encuestados declararon ser propietarios y solo el 4% arrendatarios. Este resultado permitió inferir la importante capitalización y estabilidad de esta actividad, comparado con otras producciones donde predomina el arrendamiento como tipo de ocupación principal de la tierra, tal es el caso de la horticultura.

Con respecto al predio de los establecimientos avícolas del AMBA norte, un 30% posee una superficie total mayor a 10 hectáreas. De estos, 50% corresponde a granjas de ponedoras y 50% a granjas de parrilleros. Un 30% de las granjas encuestadas posee una superficie predial entre 4 y 9 hectáreas y el 40% tienen 3 hectáreas o menos. El número de aves está comprendido entre 10.000 y 100.000 en el 78% de las granjas entrevistadas. Un 14% trabaja con más de 100.000 aves y solo un 7% posee menos de 10.000 (tabla 3).

Para el caso de las granjas productoras de carne se detectó que predomina la modalidad de integración vertical con grandes empresas. El 87% de los propietarios de este tipo de establecimientos no residen en el campo ni en cercanías a este. En estos casos el encargado es quien vive en la granja, y es el responsable del mantenimiento productivo y de las instalaciones. Reciben los pollitos bebé y los insumos necesarios para todo el proceso productivo, entregando el pollo terminado a un valor fijo por animal. En cuanto a la producción de huevos, las granjas suelen ser unidades tipo pymes y la mayoría de los propietarios tampoco reside dentro del sistema productivo. Sin embargo, en el 75% de los casos hay una persona que habita en la granja, mayormente es el encargado.

El número de galpones por granja está comprendido entre 4 y 9 en el 60% de los establecimientos encuestados. Un 33% de las granjas posee entre 1 y 3 y solo el 7% cuenta con más de 10 galpones. Asimismo, se destaca que un 33% de los establecimientos encuestados son totalmente automatizados y corresponden a granjas de gallinas ponedoras. Por una parte, en relación con las instalaciones dentro del galpón, se observó que el 87% de los galpones de pollos parrilleros posee sistema de ventilación forzada mientras que en el caso de gallinas ponedoras el valor es de 67%. Por otra parte, el 52% de las avícolas poseen comederos automáticos, el 18% poseen algunos de los galpones automáticos y otros manuales, mientras que el 30% restante son solo manuales. El 81% realiza mantenimiento a los bebederos y lo consideran un tema importante, mien-

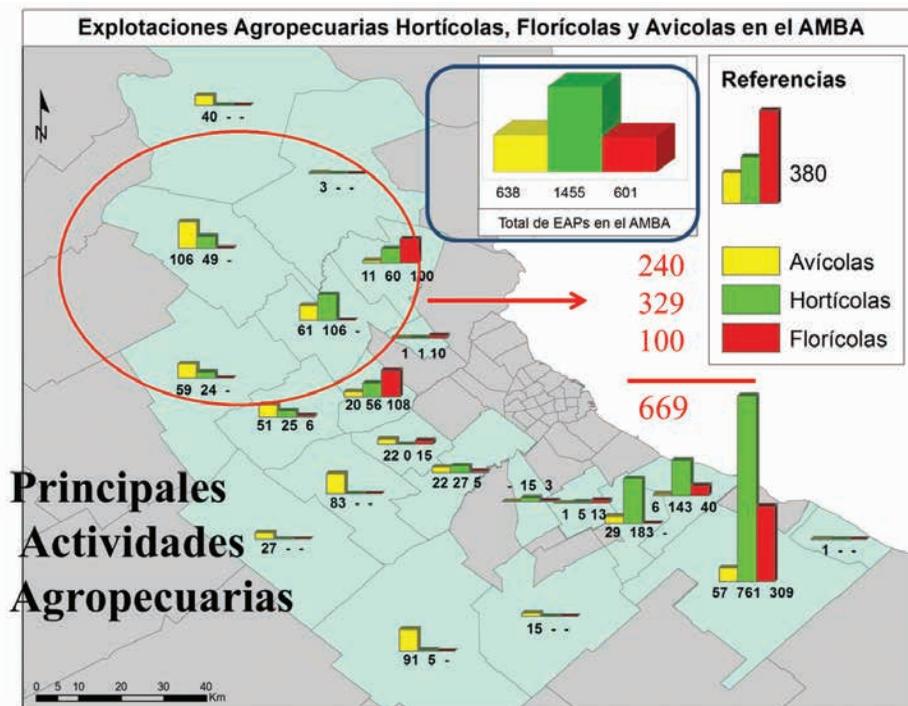


Figura 1. Distribución espacial de las granjas encuestadas, en rangos de número de aves, y distribución de los cascos urbanos en los distritos de Luján, Pilar, Exaltación de la Cruz y Campana.

Fuente: elaboración propia en base a datos del Senasa (2012) y Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires (CHF 2005).

Tipo de granja	Distrito			
	Luján	Exaltación de la cruz	Campana	Pilar
Ponedoras	3	6	1	5
Parrilleros	8	9		
Recría Ponedoras				1
Reproductoras Pesadas	1			
Total	12	15	1	6

Tabla 2. Distribución de los tipos de granjas relevadas en cada distrito.

tras que el 19% restante no realiza esta tarea (tabla 3). Esto influye directamente en la calidad del guano de ponedoras y cama de parrilleros. A mayor contenido de humedad, su manejo es más problemático, sumado al gran riesgo que representa en la salud de los animales y el conflicto ambiental dada la cercanía a los cascos urbanos. El exceso de humedad favorece el desarrollo de los huevos de moscas, vector de numerosas enfermedades que afectan la salud pública.

Problemas ambientales y manejo de desechos

Acerca del manejo de desechos, solo el 33% de los establecimientos encuestados asumió tener problemas con

estos en lo que refiere al destino, forma y tiempo de extracción, costo por desalojo/limpieza del galpón o disponibilidad de personal dedicado a esta tarea. De este porcentaje mencionado, un 78% son granjas de gallinas ponedoras y solo un 22% corresponde a granjas de parrilleros. El 58% de las avícolas relevadas dedicadas a la producción de huevo declararon tener alguna limitante vinculada al manejo del guano.

El 50% de las granjas de ponedoras extraen más de 1000 t de guano por año. En el caso de los parrilleros, la cantidad de estiércol extraída es menor a las 1000 toneladas por año en el 87% de las avícolas encuestadas (tabla 4). En la figura 2 se observa la ubicación de las granjas

		Ponedoras	Parrilleros	Total
Ocupación de la Tierra	Propietario	11	15	26
	Arrendatario	1		1
Superficie	< 10 ha	8	11	19
	10-20 ha	4	4	8
Número de animales	< 10.000	1	1	2
	10.000 a 100.000	9	12	21
	> 100.000	2	2	4
Número de galpones	1 -- 3	4	5	9
	4 -- 9	7	8	15
	> 10	0	2	2
Vive en la granja	Sí	9	13	22
	No	3	2	5
Tipo de comederos	Automático	3	11	14
	Automático y manual	4	1	5
	Manual	5	3	8
Mantenimiento bebedero	Sí	9	13	22
	No	3	2	5
Sustrato cama (Piso)	Cáscara de Arroz	1	13	14
	Cáscara de Arroz+Viruta	1	1	2
	Cáscara de Arroz+Girasol		1	1

Tabla 3. Caracterización productiva de las granjas de ponedoras y parrilleros relevadas en el territorio norte del AMBA.

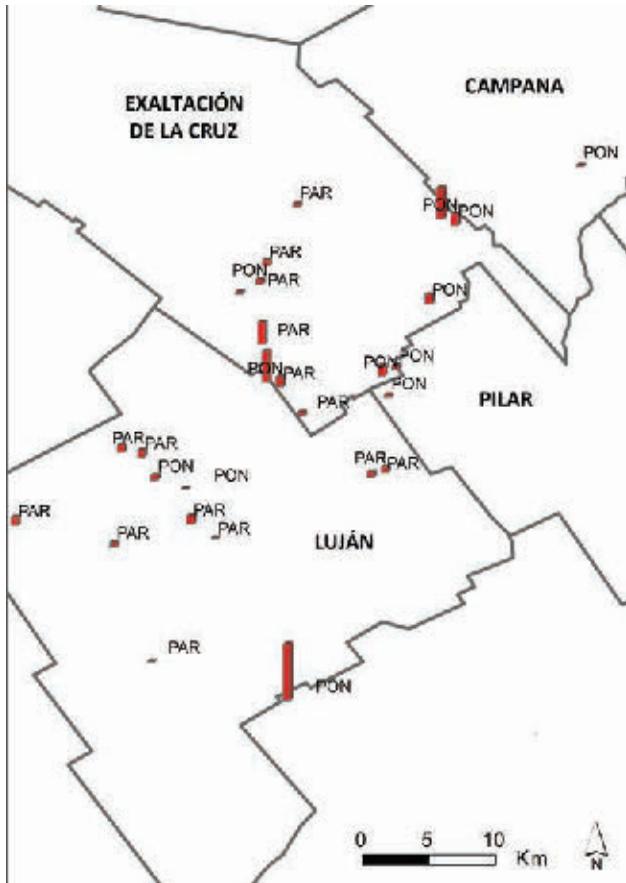


Figura 2. Distribución espacial de las granjas encuestadas. Proporción de guano extraído anualmente por granja. PON: gallinas ponedoras; PAR: pollo parrillero.

relevadas en los distritos de Luján, Exaltación de la Cruz, Pilar y Campana con la proporción relativa de guano que se extrae anualmente de cada una.

En cuanto a la mano de obra empleada para la extracción de guano, el 74% de las granjas encuestadas terceriza el servicio mientras que el restante 26% utiliza mano de obra propia para realizar esta tarea. De estos últimos, el 86% corresponde a granjas de aves ponedoras (tabla 4). Se mencionó la figura del “guanero” como la persona o grupo de personas que prestan servicio a las granjas para retirar el guano, tanto en ponedoras como en parrilleros. Los encuestados mencionaron que por lo general se destina una importante suma de dinero para realizar esta tarea y que muchas veces se desconoce si los camiones han sido correctamente desinfectados previamente a ingresar a cada establecimiento. Asimismo, es frecuentemente observable la desprolijidad y falta de limpieza de los camiones y cintas transportadoras.

Otro aspecto para tener en cuenta es el estado en que se presentan los residuos según el tipo de granja. En las de parrilleros, el guano se encuentra en forma sólida, mezclado con el sustrato que conforma la cama de los animales, que en el 86,6% de los casos se compone de cáscara de arroz, en el 6,7% se combina cáscara de arroz + viruta de madera y en el 6,7% de los casos de cáscara de arroz + cáscara de girasol (tabla 4). Por una parte, en el caso de las granjas productoras de huevo para consumo, los desechos se presentan en forma semisólida o líquida sin presencia de sustrato alguno. El 33% de las granjas de ponedoras activas tienen sistemas automatizados de extracción de guano y realizan esta tarea día por medio. Por otra

		Ponedoras	Parrilleros	Total
Guano Anual	< 1000 t	6	13	19
	≥ 1000 t	6	2	8
Destino guano	Campo propio	4	1	5
	Huerta	2	1	3
	Alguna vez compostó		2	2
	Mendoza	1	6	7
	No sabe	5	5	10
Trabajo guano	Personal granja	6	1	7
	Tercerizado	6	14	20
Limitaciones con guano	Sí	7	2	9
	No	5	13	18
Problema mosca	Sí	6	9	15
	No	6	4	10
Control mosca	Químico	11	13	24
	Trampa	1		1
	No controlan		2	2

Tabla 4. Caracterización de la generación y manejo del guano y mosca en las granjas relevadas.

parte, se relacionó el número de animales en producción con la cantidad de guano generado. Se pudo observar que en las granjas de ponedoras esta última variable depende en gran medida de la primera ($r^2=0,80$), no así en el caso de parrilleros donde el valor de r^2 alcanza un valor de 0,45 (figura 3). Esto podría explicarse por la frecuencia de extracción menor y la presencia de un sustrato carbonado en este segundo caso.

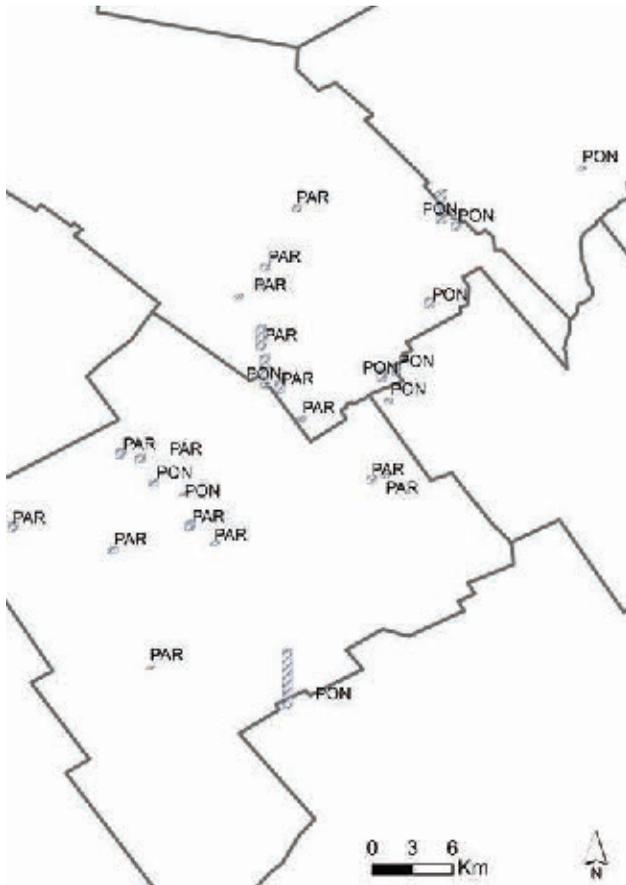


Figura 3. Relación entre el número de animales por granja y la cantidad de guano extraída anualmente. Granjas de ponedoras (A) y de parrilleros (B).

Con respecto al destino final del guano, el 37% de los encuestados declaró no tener conocimiento al respecto, el 26% asegura que viaja en camiones a la provincia de Mendoza donde lo utilizan como abono crudo, el 18,5% lo utiliza en sus propios campos como enmienda para sus cultivos extensivos, el 11,5% lo destina a productores hortícolas y solo el 7% intentó alguna vez realizar un proceso de compostaje sin llegar a obtener resultados del producto final (tabla 4). De aquellos establecimientos que depositan el guano en sus propios campos, el 80% de los casos corresponden a granjas de ponedoras.

Por último, la presencia de moscas y olores constituye una delicada problemática para las granjas que se en-

cuentran próximas a núcleos poblacionales. Del total de establecimientos consultados, un 63% considera que tiene problema de mosca y un 89% de los encuestados utiliza productos químicos como método de control.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Mediante esta investigación se logró actualizar con información primaria y en forma descriptiva varios aspectos de la situación avícola actual del territorio norte del AMBA. En este campo de estudio se analizaron principalmente las características productivas y ambientales en un contexto de alta conflictividad y disputa por el uso de la tierra.

En relación con la temática ambiental y a partir de los resultados obtenidos de las granjas encuestadas, podemos inferir que los mayores inconvenientes asociados al tratamiento y disposición de los desechos lo presentan las granjas productoras de huevo para consumo. En este caso el guano se presenta en grandes cantidades y con mayores contenidos de humedad. La extracción se realiza de manera trimestral en granjas convencionales y cada dos o tres días, hasta incluso a diario en granjas automáticas. El avance tecnológico de esta actividad está direccionado hacia la adopción de sistemas automatizados que conllevan a la concentración de la producción en áreas más reducidas y el retiro de los residuos con mayor periodicidad.

En los sistemas dedicados a la producción de pollos parrilleros la situación es diferente. La utilización de la cama, soporte seco que actúa como medio aislante y absorbente entre el suelo del galpón y la garra del pollo puede aportar algunas propiedades para la aplicación de tecnologías que permitan la gestión adecuada de estos desechos. La presencia de materiales vegetales fibrosos con alto contenido de carbono como cáscara de arroz, cáscara de girasol o viruta, resulta beneficiosa debido a que absorben los componentes líquidos y de esa forma retienen los nutrientes. En este tipo de granjas los galpones se limpian íntegramente una vez al año.

De todas maneras, es importante aclarar que en ambos tipos de granjas, la extracción del guano se realiza bajo escasas medidas de bioseguridad y tratamiento. Para implementar prácticas de tratamiento de residuos es necesario contar con una vasta superficie libre en el establecimiento, disponer de mano de obra y otros materiales que aseguren la correcta implementación del proceso. Si bien el porcentaje de productores que han intentado realizar el tratamiento de compostaje es bajo (7%), es importante destacar que el 50% de las granjas de ponedoras encuestadas manifestaron interés en recibir asesoramiento para realizar este tipo de práctica en sus establecimientos. De esta manera, podrían gestionar sus residuos y obtener un producto de uso seguro para el ambiente, agregando valor a los desechos de la producción y satisfaciendo una importante demanda para los suelos del territorio.

La problemática asume aún más relevancia cuando se tiene en cuenta que el 97% de las granjas encuestadas se encuentran próximas a los cascos urbanos, lo cual genera

un agravante por el surgimiento de tensiones productivas y ambientales entre los diferentes modos de uso de la tierra. Los avicultores manifiestan que existen conflictos con los pobladores circundantes y que en muchas ocasiones se sienten presionados por los organismos provinciales y municipales. Los procesos de urbanización afectaron y afectarán la ocupación agropecuaria del suelo no solo por el aumento en el costo de la tierra en el pasaje de uso rural a residencial, sino además por un aumento en la conflictividad ambiental debido a la falta de planes de ordenamiento territorial. El ente que determina la zonificación para el uso de la tierra y los cambios asociados es el área de planeamiento urbano municipal, quien emite resoluciones por votación del Concejo Deliberante. En este sentido, es importante tener en cuenta la dificultad de la relocalización de los establecimientos avícolas ante el avance urbano, debido a la infraestructura inmobiliaria requerida para desarrollar el proceso productivo.

La incorporación de tecnologías que mitiguen el impacto ambiental de la actividad avícola es cada vez más importante, no solo para direccionar la producción hacia el desarrollo de sistemas más sustentables, sino también para contribuir a su permanencia en el actual contexto de disputa por el uso de la tierra. El desafío como equipo de trabajo es fortalecer el vínculo con los productores, capacitándolos y realizando pruebas para el tratamiento de residuos en sus establecimientos. De esta manera, se lograrían ajustar las tecnologías disponibles a las necesidades locales, asumiendo un mayor compromiso con la gestión ambiental y producción sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Financiamiento otorgado por los proyectos INTA: Programa Nacional de Gestión de Residuos (PNNAT 1128042) y Proyecto Regional con Enfoque Territorial (BANOR-12715012) y al Ing. Agr. Pedro Aboitiz por su colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

BABBIE, E. 2000. Fundamento de la Investigación Social. Ed. Paraninfo S.A., Thomson, México, p. 473.

BENENCIA, R. 1994. La horticultura bonaerense: lógicas productivas y cambios en el mercado de trabajo. *Desarrollo Económico*, 34(133): 53-73.

CRESPO, D.; BEILY, M.E.; TORTI, J.; GARCÍA, L.; DALPIAZ, J.; ANDRIULO, A. 2013. Impacto de la producción intensiva de aves sobre algunas propiedades del suelo y la calidad del agua subterránea. Acta de la xxxvi Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1. Buenos Aires, Argentina, pp 1-7.

COCHRAN, W. 1983. *Técnicas de Muestreo*. Ed. Continental. México, pp. 41-73.

FEITO, M.C. 2014. *Ruralidades, Agricultura Familiar y Desarrollo, Territorio periurbano Norte de la Provincia de Buenos Aires*. Ed. La Colmena, Buenos Aires, Argentina, p. 146.

HFBA 2005. *CENSO HORTIFLORÍCOLA DE BUENOS AIRES 2005, 2006*. Ministerio de Asuntos Agrarios y Ministerio de Economía de la Prov. de Buenos Aires.

KO, H.J.; KIM, K.Y.; KIM, H.T.; KIM, C.N.; UMEDA, M. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste management*, 28(5), 813-820.

LAVADO, R. 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: MAZZARINO, M.J.; SATTI, P. (eds.). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, pp. 3-12.

LE GALL, J.; GARCÍA, M. 2009. Reestructuraciones de las periferias hortícolas de Buenos Aires y modelos espaciales ¿Un archipiélago verde? *Echo Géa*. Num. 11, p.19.

MAISONNAVE, R. 2015. *Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Cama de Pollo y Guano*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, p. 44.

PALACIOS, D. 2014. *Identificación de la Agricultura Familiar en el AMBA*, Tesis presentada para obtener el grado de Magister en Desarrollo Rural, EPG- FAUBA, Buenos Aires, Argentina, p. 167.

TAYLOR, S.J.; BOGDAN, R. 1986. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Ed. Paidós, Buenos Aires, pp. 15-27.

TIQUIA, S.M., RICHARD, T.L.; HONEYMAN, M.S. 2002. Carbon, nutrient and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 62, 15-24.

VERA, J. 2005. La imposibilidad de separar lo observado de lo interpretado: la falsedad del empirismo y del interpretativismo como métodos distintos. *Episteme* N.º 6, año 2 (Disponible: <http://www.uvmnet.edu/investigación/episteme/n°mero5-05/> verificado: octubre 2016).

Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y β -glucanos en el grano de la avena (*Avena sativa* L.)

HERNÁNDEZ-CAMPUZANO, A.V.¹; MARTÍNEZ-RUEDA, C.G.¹; ESTRADA-CAMPUZANO, G.¹; DOMINGUEZ-LOPEZ, A.¹

RESUMEN

La avena contiene cantidades relativamente elevadas de fibra dietética, particularmente de β -glucanos. Esto le confiere un potencial significativo en la producción de alimentos prebióticos, funcionales y nutracéuticos para el hombre. El propósito de este trabajo fue evaluar el efecto del genotipo y de la dosis de nitrógeno (N) aplicada durante el cultivo, sobre el rendimiento y la concentración de β -glucanos y nitrógeno en el grano. Para tal efecto, se sembraron, en la Universidad Autónoma del Estado de México, al norte de la ciudad de Toluca (19°15'33"N, 99°39'38" W, 2640 m s. n. m.) en México, siete variedades comerciales: Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex, Chihuahua, Paramo y Menonita y los tratamientos de fertilización consistieron en 60 y 120 kg N·ha⁻¹. Al grano cosechado se le cuantificaron los β -glucanos, además del rendimiento y sus principales componentes. Los resultados mostraron que en los genotipos Turquesa, Paramo y Menonita la fertilización nitrogenada incrementó el contenido de β -glucanos y en los otros cuatro, por el contrario los disminuyó. El rendimiento de grano aumentó con la dosis de N, aunque cada genotipo respondió de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explicó mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de estos. La capacidad de macollaje de la avena permite que los macollos generen la mayor parte del rendimiento y son los macollos los órganos donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada.

Palabras clave: dosis de nitrógeno; β -Glucanos; avena; fibra dietética.

ABSTRACT

Oat grain contains relatively high amounts of dietary fiber, particularly β -glucans. This is an advantage since it represents a significant potential in the production of human prebiotic, nutraceutical and functional foods. The aim of this work was to evaluate the effect of genotype and nitrogen (N) applied through the growing, on the concentration of grain β -glucans, nitrogen and yield. For this purpose, seven commercial varieties, Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex (Cevamex), Chihuahua, Paramo y Menonita were sowing in the Universidad Autónoma del Estado de México, located north of Toluca city (19°15'33"N, 99°39'38" W, 2640 msnm) in Mexico, and the fertilization treatments consisted of 60, and 120 kg N·ha⁻¹. β -glucans content and yield and some of its main components were quantified in harvested grain. Results showed that N dose increases the β -glucans

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario "El Cerrillo". Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo. Apdo. Postal 435, Toluca 50200, Estado de México, México.
Correo electrónico: adominguezl@uaemex.mx

content in the *Turquesa Paramo* and *Menonita* genotypes and in the other four, the content of this dietary fiber decreases. The grain yield increases with the N dose, although each genotype responds differently to this factor. This parameter is better explained by the number of grains obtained per surface than by the unit grain weight. Grain yield is produced in the tillers and in this part of the architecture of the plants is where the effect of N dose is focused.

Keywords: Nitrogen dose; β -Glucans; Oat; Dietary Fiber.

INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.) es una gramínea que ocupa el sexto lugar en la producción mundial de cereales porque se cultiva ampliamente con el propósito de producir grano para la nutrición humana o forraje para la alimentación animal (Hoffman, 1995). De acuerdo con la FAO (2017), la producción mundial anual de este cereal es de aproximadamente 22.5 millones de toneladas que se obtienen en 9.7 millones de hectáreas, con rendimientos promedio de $2.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y con un intervalo de 0.7 a más de $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El grano de avena contiene una cantidad considerable de fibra dietética soluble (FD) constituida principalmente por polisacáridos de glucosa denominados β -glucanos, los cuales producen una alta viscosidad cuando se encuentran en soluciones acuosas. Estudios recientes han reportado que las concentraciones de estos compuestos oscilan entre 2.0 y 5.0 g por cada 100 g de grano desprovisto de salvado (Asima *et al.*, 2017). La FD y particularmente los β -glucanos de este cereal han demostrado tener un potencial significativo para disminuir los riesgos de enfermedades cardiovasculares diabetes mellitus tipo 2, desórdenes gastrointestinales y algunos cánceres, debido a sus propiedades prebióticas y antioxidantes (Martínez-Villaluenga y Peñas, 2017).

Particularmente en las zonas urbanas, la alimentación es pobre en FD por una baja ingesta de vegetales. Regularmente no se cumple con el consumo recomendado por la FAO, que es de al menos cinco porciones (80 g cada una) de frutas y verduras por día (Villanueva Carvajal *et al.*, 2013). Puesto que esta meta solo es alcanzada por una minoría de la población mundial y este problema es particularmente importante en núcleos sociales de bajos ingresos, una alternativa viable es la incorporación de estos nutrimentos en la dieta a través de productos alimenticios enriquecidos con extractos que hayan sido obtenidos mediante cultivos agrícolas extensivos. Estos cultivos, como es el caso de la avena, pueden sintetizar FD en cantidades superiores a las de las frutas y verduras convencionales cultivadas en ambientes similares y en un período más corto.

Dado que la composición del grano de avena, así como el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el ambiente, el genotipo y la nutrición de la planta (Güller, 2003), es probable que la concentración y características

de los compuestos prebióticos, como los β -glucanos en el grano, también estén influenciados por estos factores. Por una parte, Lim *et al.* (1992) por ejemplo, reportaron una alta variabilidad en la concentración de estos compuestos en diversos cultivares de avena y Ajithkumar *et al.* (2005) demostraron variaciones en cuanto su peso molecular y propiedades reológicas. Por otra parte, Anker-Nilssen *et al.* (2008) encontraron que una temperatura más elevada durante el llenado de granos, en este caso de cebada, dio lugar a un contenido superior de β -glucanos, a un mayor el peso molecular y a una mayor viscosidad de las soluciones acuosas derivadas. Además, en climas cálidos y secos se han observado los niveles más altos de estos polisacáridos (Saasatamoinen, 1995) y, al contrario, los niveles más bajos en climas fríos y húmedos (Brunner y Freed, 1994). Aun así, el estudio de los efectos genotípicos y ambientales sobre la producción de FD, esencialmente β -glucanos, de la avena ha sido poco abordado y enfocar los trabajos de investigación agrónomos acerca de este cereal desde esta perspectiva podría generar alternativas viables para incrementar su cultivo y el valor económico de la producción de grano. En este sentido y con el propósito de proponer a la avena como fuente de ingredientes para la producción de alimentos funcionales y nutracéuticos, es decir, alimentos benéficos para la salud humana, los objetivos de este trabajo fueron: (i) verificar la existencia de variabilidad genética para el rendimiento y sus principales componentes y (ii) evaluar la concentración de N y β -glucanos de este cereal, ante variaciones ambientales dominadas por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental

El experimento se estableció durante el ciclo verano-otoño de 2014, en la Facultad de Ciencias Agrícolas (Universidad Autónoma del Estado de México), localizada al norte de la ciudad de Toluca ($19^{\circ}15'33''\text{N}$, $99^{\circ}39'38''\text{W}$, 2640 m s. n. m.) en México. El clima de esta localidad se clasifica como semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con un rango anual de precipitación de 800 a 1300 mm y de temperatura de 8 a 14°C . Las parcelas se establecieron en una superficie de 400 m^2 de suelo tipo vertisol pélico

con textura franco-arcillosa. El pH de este suelo fue igual a 6.6, con 6.7% de materia orgánica, 35 kg ha⁻¹ de N, 123 ppm de P y 564 ppm de K, medidos a 0.6 m de profundidad. Según la determinación de la fertilidad del suelo de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), este se clasifica como neutro, con niveles medios de materia orgánica y nitrógeno inorgánico, y niveles altos de fósforo y potasio.

Actividades de campo y tratamientos

La siembra se llevó a cabo manualmente a razón de 120 kg ha⁻¹ (lo que corresponde aproximadamente a 350 semillas por cada m²), a una profundidad de 4 a 5 cm, en hileras separadas a 20 cm. La parcela experimental consistió de seis hileras de 5 m de largo separadas a 0.20 m (6 m²). Se consideró como parcela útil para mediciones un área de 0.4 m² formada por dos hileras centrales de 1 m de longitud. Como material genético se utilizaron siete variedades de avena: Turquesa (Villaseñor-Mir *et al.*, 2009), Obsidiana (Espitia-Rangel *et al.*, 2007), Karma (Espitia-Rangel *et al.*, 2001), Avemex (Villaseñor-Mir *et al.*, 2001), Chihuahua (INIA, 1971), Paramo (Sudermann, 1975) y Menonita (Salmerón-Zamora, 2002). Los tratamientos de nitrógeno (N) consistieron en 60 y 120 kg ha⁻¹, que corresponden aproximadamente a las dosis más bajas y más altas utilizadas por los productores. En el primer caso se administró al momento de la siembra y en el segundo fraccionado en 60 kg a la siembra y 60 kg al amacollamiento. Se utilizó urea (46% N), 60 kg ha⁻¹ de superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y 30 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (60% K₂O). Las malezas se controlaron manualmente durante todo el ciclo del cultivo. No se presentaron plagas y/o enfermedades en este durante el período de crecimiento. Los tratamientos consistieron en un arreglo factorial de 2 dosis de N y 7 variedades de avena (14 tratamientos), los cuales fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Cosecha y análisis de grano

La cosecha se realizó de forma manual a los 164 días después de la emergencia. Se cosecharon las plantas en 1 m lineal de los dos surcos centrales en cada unidad experimental. Los tallos de cada planta se separaron en vástago principal y macollos, tras de lo cual fueron secados en una estufa de aire forzado a 60 °C por 72 horas. Con el grano obtenido, tanto de los vástagos principales como de los macollos, se determinó el rendimiento de grano (g m⁻²), número de granos por m² y peso individual de grano (mg grano⁻¹) para cada fracción; es decir, que se obtuvo un valor de cada una de estas variables con los granos provenientes del vástago principal y otro con aquellos de los macollos.

A cada muestra de grano se le determinó el contenido de β-glucanos mediante el kit enzimático K-TDFR adquirido en Megazyme (Megazyme International Ireland Limited) (Hollmann, *et al.*, 2013) y nitrógeno total mediante el método de Kjeldahl (Nielsen, 2017). Con los datos obtenidos se practicó un análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo

al modelo lineal utilizado y se realizó la comparación de las medias de Tukey (con la ayuda del software Statistical Analysis System V.6.12, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano y algunos de sus componentes

El efecto de la dosis de N, del genotipo y de la interacción entre estos dos factores resultó altamente significativo para el rendimiento y el número de granos, pero no para el peso individual de grano, cuya variabilidad solo dependió del genotipo. De la misma manera, la concentración de nitrógeno y β-glucanos en el grano estuvo más relacionada con el genotipo que con la fertilización nitrogenada (tabla 1). La variabilidad observada en el rendimiento y en el número de granos se explicó principalmente por el efecto del genotipo (26.1 y 38.5%, del total de la suma de cuadrados, respectivamente), en comparación con el efecto de la dosis de N que solo explicó un porcentaje marginal (14.6 y 7.97%, respectivamente). En el caso del peso individual de grano, esta variabilidad se explicó también por el efecto del genotipo (63.8%), ya que el efecto de la dosis de N solamente contribuyó con 4.2%. En lo que corresponde a la variabilidad en los compuestos evaluados en el grano esta se explicó principalmente por los diversos genotipos, ya que este factor integró por sí solo 28.5 y 39.8% de la suma de cuadrados en el ANDEVA para el contenido de nitrógeno y β-glucanos, respectivamente. Los resultados obtenidos en relación con esta fibra dietética están en línea con lo reportado por Humphreys *et al.* (1994), quienes a través del cultivo de cuatro variedades de avena no encontraron un efecto significativo entre la fertilización nitrogenada y el contenido de β-glucanos en el grano.

La comparación de medias para la dosis de N y para los genotipos en cada una de las variables que definen algunos componentes del rendimiento se muestran en la tabla 2. Por una parte, el aumento de la dosis de N produjo un incremento del rendimiento de alrededor de 19%. El número de granos también se incrementó de manera similar, pero a razón 16%. El resto de variables no tuvo un efecto significativo con el incremento en fertilización nitrogenada. Por otra parte, tras un análisis de correlación del número de granos contra el rendimiento, se encontró que por cada 21.45 unidades de incremento del número de granos se tuvo una unidad de aumento del rendimiento (R² = 0.84). Además, no se obtuvo ningún otro resultado significativo con alguna otra de variables estudiadas (figura 1). De manera general, los resultados sugieren que, para los genotipos evaluados, el rendimiento de grano se explicó mejor por el número de granos obtenido por m² que por el peso individual de estos (tabla 2). De acuerdo con estos resultados, el nitrógeno en el grano, que es la base del cálculo de proteína y la fibra dietética, representada aquí por los β-glucanos, no se vieron afectados por la dosis de N y sus variaciones dependieron esencialmente del genotipo.

Por un lado, el rendimiento de la avena estuvo estrechamente relacionado con el número de granos por unidad de

Fuente	GL	Rendimiento	Número de granos	Peso individual de granos	Nitrógeno en grano	β-Glucanos
Bloque	2	14023 ^{NS} (1.0)	42.63 ^{NS} (2.5)	20.30 ^{NS} (3.4)	0.084 ^{NS} (8.91)	0.129 ^{NS} (3.3)
A: Nitrógeno	1	203845 ^{**} (14.6)	133.88 [*] (7.7)	24.67 ^{NS} (4.2)	0.000 ^{NS} (0.03)	0.059 ^{NS} (1.5)
B: Genotipo	6	365512 ^{**} (26.1)	664.85 ^{**} (38.5)	378.21 ^{**} (63.8)	0.269 [*] (28.5)	1.538 ^{**} (39.8)
A*B	6	406051 ^{**} (29.0)	382.98 [*] (22.2)	16.62 ^{NS} (2.8)	0.231 [*] (24.51)	0.513 ^{NS} (13.3)
Error	26	410085 (29.3)	503.71 (29.1)	153.34 (25.9)	0.359 (38.05)	1.622 (42.0)
Total	41	1399520	1728.05	593.15	0.944	3.862

Tabla 1. Suma de cuadrados del ANDEVA y su significancia y contribución para algunos componentes del rendimiento de la avena.

superficie, posiblemente asociado con un mayor número de panículas y granos por panícula, en línea con lo que ocurre en trigo y cebada (Albrizio *et al.*, 2010; Slafer *et al.*, 2014). Por otro lado, estudios en trigo y cebada mostraron que existe una correlación negativa entre el rendimiento de grano y la concentración de nitrógeno en este, dado principalmente por un proceso de dilución de dicho elemento al tener un incremento en el tamaño del grano (Abeledo *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2014). Los resultados de la tabla 2 y de la figura 1 sugieren que en el caso de la avena no se presenta una correlación significativa entre estas dos variables.

Tal como se observa en la figura 2, la respuesta a la dosis de N fue diferente de acuerdo con el genotipo de avena. En la estimación del rendimiento, número de granos y nitrógeno en grano, la interacción resultó significativa. El genotipo Turquesa, seguido de Chihuahua, fue el que mejor respondió a la fertilización porque produjo el mayor rendimiento y

número de granos. En los otros genotipos este efecto no resultó significativo. En cuanto al nitrógeno en grano, fue notoria la respuesta de Obsidiana y Turquesa en donde la fertilización jugó un papel benéfico y Chihuahua donde se observó una disminución de este componente de la proteína del grano, con el incremento en la dosis del fertilizante.

La no significancia del efecto de la dosis de N sobre la síntesis de β-glucanos en el grano de avena (tabla 1) se explica por la interacción genotipo dosis de N (figura 2). Como se puede observar en la figura 2e, en 4 genotipos (Chihuahua, Avemex, Obsidiana y Karma) la dosis de N provocó una disminución de este componente prebiótico del grano de una manera significativa. En contraste, los genotipos Turquesa (en la cual el rendimiento respondió de una manera altamente significativa a la fertilización nitrogenada), Páramo y Menonita mostraron incrementos similares de este compuesto. Estos resultados sugieren

Fuente de variación	Rendimiento (g·m ⁻²)	Número de granos(10 ³ m ⁻²)	Peso de un grano (mg)	Nitrógeno en grano (g/100 g)	β-Glucanos (g/100 g MS)	
Genotipo	Avemex	632.25 ^{AB}	16.9100 ^A	37.61 ^C	2.15 ^B	3.62 ^B
	Chihuahua	607.38 ^A	20.1214 ^A	30.33 ^{AB}	1.93 ^A	3.26 ^A
	Karma	764.25 ^{BC}	26.3406 ^B	28.92 ^A	1.99 ^A	3.45 ^{AB}
	Menonita	561.63 ^A	18.5413 ^A	30.26 ^{AB}	2.15 ^B	3.47 ^{AB}
	Obsidiana	675.92 ^{AB}	20.6491 ^A	32.86 ^B	1.98 ^A	3.93 ^C
	Paramo	568.71 ^A	15.5999 ^A	36.03 ^C	2.02 ^{AB}	3.54 ^{AB}
	Turquesa	828.21 ^C	26.4991 ^B	31.14 ^{AB}	1.98 ^A	3.60 ^B
DMS _{95%}	149.04	5.22	2.88	0.14	0.30	
Dosis de N (kg·ha ⁻¹)	60	592.95 ^A	18.8805 ^A	31.68 ^A	2.03 ^A	3.59 ^A
	120	732.29 ^B	22.4513 ^B	33.22 ^A	2.03 ^A	3.52 ^A
	DMS _{95%}	79.67	2.79	1.54	0.07	0.16

DMS: Diferencia mínima significativa al 95% de confianza.

Tabla 2. Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de β-glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México.

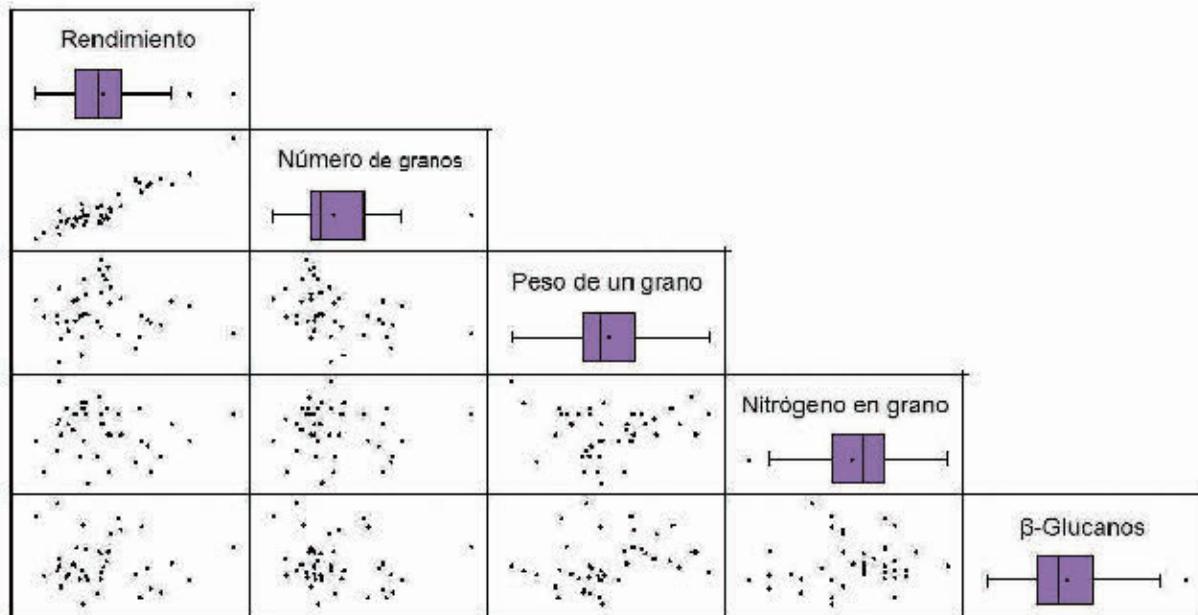


Figura 1. Correlaciones entre variables relacionadas con el rendimiento y la composición del grano de avena.

que, dependiendo de los genotipos cultivados, la fertilización nitrogenada promueve el incremento del contenido de β -glucanos en el grano de avena o por el contrario los disminuye. Por una parte, esto concuerda con los resultados obtenidos por Güler (2003), quien encontró que altos niveles de N aumentaban significativamente el contenido de β -glucanos en la cebada, y por Noworolnik *et al.* (2014), quienes, además, reportaron que las variaciones en el contenido de fibra insoluble en la cebada no dependían de la fertilización nitrogenada. Por otra parte, Welch *et al.* (1991), en cultivos de avenas modernas y silvestres encontraron una alta variabilidad en el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de β -glucanos en el grano. Además, tampoco observaron, como en el caso de este estudio, una correlación entre la proteína del grano y estos compuestos polisacáridos.

Relación entre macollos y vástago principal

La figura 3 representa la fracción del número total de granos obtenidos (por metro cuadrado) en los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, correspondiente a esta estructura de la planta (figura 3a) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal (figura 3b). En esta figura también se observa el efecto de la dosis de N sobre estas relaciones mediante flechas. La distribución de los componentes que definen el rendimiento en los macollos y el vástago principal varió entre genotipos y con la fertilización. Los genotipos Turquesa, Obsidiana, Chihuahua y, en menor medida, Páramo, incrementaron significativamente

el número de granos en los macollos con la dosis de N, lo que implica que la fracción correspondiente al vástago principal disminuyó. Al mismo tiempo, la fracción del rendimiento, correspondiente a los macollos, también aumentó, destacándose Páramo, Turquesa y Obsidiana (figura 3a). También es evidente que fueron los genotipos Karma, Menonita y Avemex los que tuvieron una respuesta muy pequeña, comparada con los otros, a la fertilización nitrogenada. Estos resultados coinciden con los reportados por Peltonen-Sainio y Järvinen (1995) quienes encontraron, en avenas semienanas que los macollos contribuyeron con 27% del rendimiento en grano.

La figura 3b indica que cuando la fracción de granos en los macollos fue baja, el tamaño de los granos de los macollos fue relativamente menor a aquellos de los vástagos principales. Por el contrario, cuando dicha fracción tendió a uno, el peso de los granos en los macollos tendió a incrementarse. De acuerdo con esta figura, no se observaron valores de esta relación iguales o mayores que uno, lo que implica que los granos de los macollos resultaron con menor peso que los del vástago principal. Es notorio cómo el incremento en el rendimiento de Páramo con la dosis de N se explicó por el incremento en el peso de los granos provenientes de los macollos, en cambio Karma y Menonita no respondieron o, al contrario, la fertilización nitrogenada incrementó el peso de los granos del vástago principal.

Estos resultados sugieren que el amacollamiento en avena forma parte importante en la formación del rendimiento de grano y sobre estas estructuras ejerce un papel fundamental la fertilización nitrogenada, probablemente debido a su efecto sobre la sobrevivencia de estos. Empero, el componente

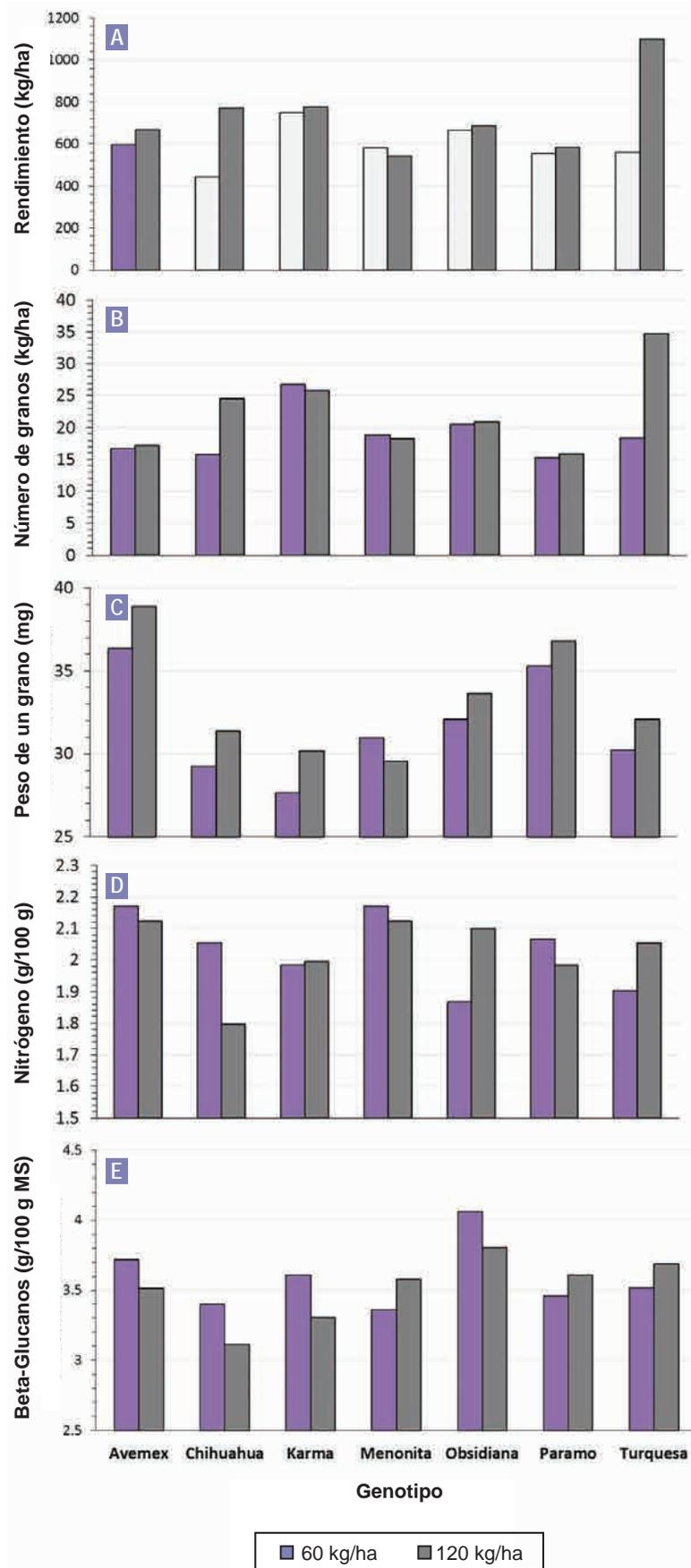


Figura 2. Interacción Genotipo*Dosis de N en avena.

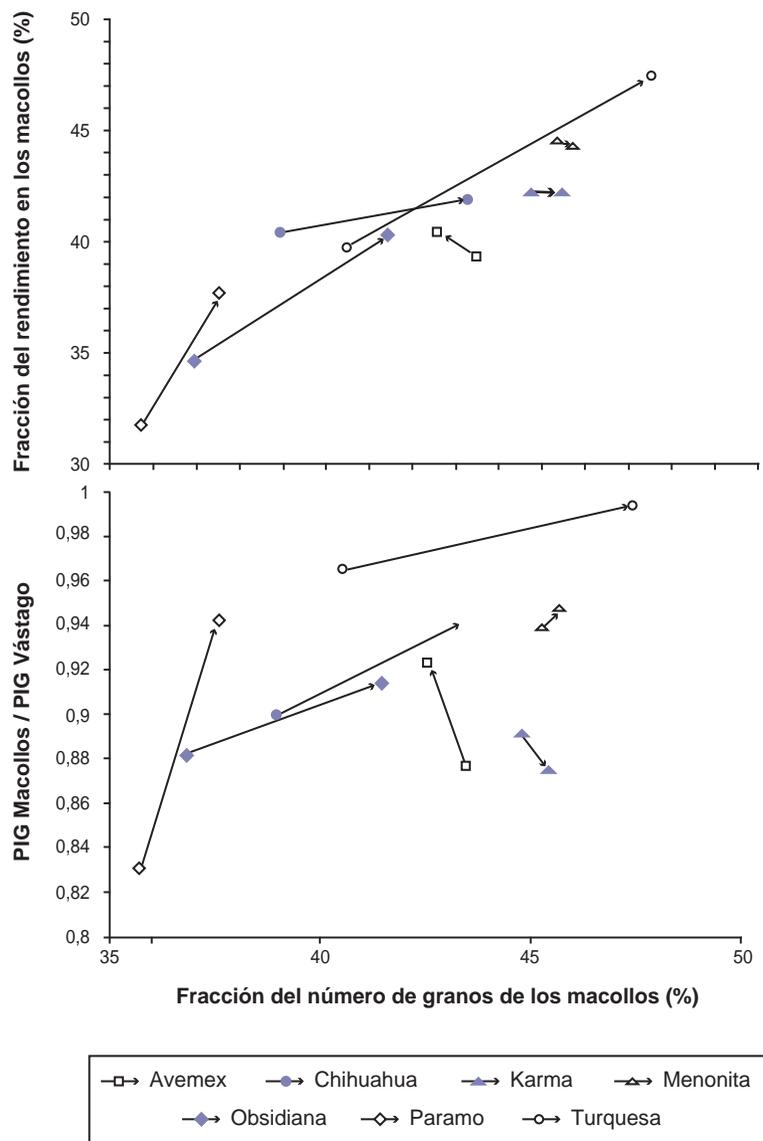


Figura 3. Fracción del total de granos obtenidos (por metro cuadrado) correspondiente a los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, propia de esta estructura de la planta (A) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal (B).

genotipo debe ser tomado en cuenta ya que existe variabilidad en la capacidad de amacollamiento en esta especie vegetal; además, es importante hacer notar que Peltonen-Sainio y Järvinen (1995) concluyeron que altas densidades de siembra disminuyen el amacollamiento en la avena, aunque acortan la longitud del vástago principal y se observan decrementos en el rendimiento y sus componentes.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, las diferencias de rendimiento de grano se debieron

principalmente al genotipo y, de manera secundaria, a la fertilización nitrogenada. Ambos factores se manifestaron de manera significativa a través del número de granos por m^2 . La capacidad de macollaje de la avena permitió que los macollos generen la mayor parte del rendimiento y fueron los macollos los órganos donde se concentró el efecto de la fertilización. Los datos obtenidos permitieron demostrar que la avena (al igual que otros cereales de invierno) responde al N a través del número de granos por m^2 . La respuesta en el contenido de β -glucanos y nitrógeno en el grano a la fertilización no fue uniforme entre cultivares, predominando el efecto de la interacción sobre el de la dosis de N.

AGRADECIMIENTOS

La autora Alemi Viridiana Hernández-Campuzano desea agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) por la beca que le permitió realizar sus estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELED, L.G.; CALDERINI, D.F.; SLAFER, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research*, 106, 171-178.
- AJITHKUMAR, A.; ANDERSSON, R.; ÅMAN, P. 2005. Content and molecular weight of extractable β -glucan in american and swedish oat samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1205-1209.
- ALBRIZIO, R.; TODOROVIC, M.; MATIC, T.; STELLACCI, A.M. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 115, 179-190.
- ANKER-NILSEN, K.; SAHLSTRØM, S.; KNUTSE, S.H.; HOLTEKJØLEN, A.K.; UHLEN, A.K. 2008. Influence of growth temperature on content, viscosity and relative molecular weight of water-soluble β -glucans in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Cereal Science*, 48, 670-677.
- ASIMA, S.; ADIL, G.; MASOODI, F.A.; SHOIB WANI, M.; ASHWAR, B. A. 2017. Structural, rheological and nutraceutical potential of β -glucan from barley and oat. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 10, 10-16.
- BRUNNER, B.R.; FREED, R.D. 1994. Oat grain β -glucan content as affected by nitrogen level, location and year. *Crop Science*, 34, 473-476.
- ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; HUERTA-ESPINO, J.; SALMERÓN-ZAMORA, J.J.; GONZÁLEZ-IÑIGUEZ, R.M.; OSORIO-ALCALÁ, L. 2007. Obsidiana, variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura Técnica en México*, 33, 95-98.
- ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of "Karma" Oat. *Crop Science*, 41, 266-266.
- FAO. 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- GÜLER, M. 2003. Barley grain b-glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Research*, 84, 335-340.
- HOFFMAN, L.A. 1995. World production and use of oats. En: WELCH, R.W. The oat crop. Production and utilization. Capítulo 2. Springer-Science+Business Media, B.V. EUA. p. 34.
- HOLLMANN, J.; THEMEIER, H.; NEESE, U.; LINDHAUER, M.G. 2013. Dietary fibre fractions in cereal foods measured by a new integrated AOAC method. *Food Chemistry*, 140, 586-589.
- HUMPHREYS, D.G.; SMITH, D.L.; MATHER, D.E. 1994. Nitrogen fertilizer and seeding date induced changes in protein, oil and β -glucan contents of four oat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 20, 283-290.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA). 1971. Chihuahua. *Oat Newsletter*, 22, 59-59.
- LIM, H.S.; WHITE, P.J.Y.; FREY, K.J. 1992. Genotypic effects on b-glucan content of oat lines grown in two consecutive years. *Cereal Chemistry*, 69, 262-265.
- MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; PEÑAS, E. 2017. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. Review Article. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26-31.
- NIELSEN, S.S. 2017. *Food Analysis*. 5th edition. Food Science Text Series. Springer
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial (Segunda Sección). México, D. F., p. 85.
- NOWOROLNIK, K.; WIRKIJOWSKA, A.; MIKOS-SZYMANSKA, M. 2014. Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 576-580.
- PELTONEN-SAINIO, P.; JÄRVINEN, P. 1995. Seeding rate effects on tillering, grain yield, and yield components of oat at high latitude. *Field Crops Research*, 40, 49-56.
- SAASATAMOINEN, M., 1995. Effects of environmental factors on the b-glucan content of two oat varieties. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 45, 181-187.
- SALMERÓN-ZAMORA, J.J. 2002. Menonita: Nueva variedad de avena de temporal para grano y forraje. *Agricultura Técnica en México*, 28, 87-88.
- SLAFER, A.G.; SAVIN, R.; SADRAS, V.O. 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research* 157, 71-83.
- SUDERMANN, P.D. 1975. Páramo. *Oat Newsletter*, 26, 67-67.
- VILLANUEVA-CARVAJAL, A.; DOMINGUEZ-LOPEZ, A.; BERNAL-MARTÍNEZ, L.R.; DÍAZ-BANDERA, D. 2013. Hibiscus sabdariffa L. confectionery gels, in vitro digestion, antioxidant activity and phenolic compounds quantification: a nutraceutical application. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 2659-2667.
- VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; HUERTA-ESPINO, J.; OSORIO-ALCALÁ, L.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura Técnica en México*, 35, 487-492.
- VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of "Cevamex" Oat. *Crop Science*, 41, 266-267.
- WELCH, R.W.; LEGGETT, J.M.; LLOYD, J.D. 1991. Variation in the kernel (1/3) (1/4)- β -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science*, 13, 173-178.
- ZHAO, Z.; WANG, E.; WANG, Z.; ZANG, HECANG, L.; YUNPENG, A.; JOHN, F. 2014. A reappraisal of the critical nitrogen concentration of wheat and its implications on crop modeling. *Field Crops Research* 164, 65-73.

Desarrollo morfológico de *Digitaria eriantha* Steud. ssp. *eriantha* y *Panicum coloratum* L. var. *coloratum*

GONZÁLEZ, F.A.¹; VENTIMIGLIA, P.¹; JOUVE, V.V.¹; FERRI, C.M.¹

RESUMEN

La cuantificación del desarrollo morfológico de una pastura resulta de interés a los fines de la aplicación de prácticas de manejo. El objetivo fue cuantificar el estado medio de desarrollo morfológico, analizar su variación a través del tiempo térmico y establecer la relación existente entre el estado medio de desarrollo y la proporción de lámina viva en pasturas de digitaria (*Digitaria eriantha* Steud.) y mijo perenne (*Panicum coloratum* L.). A principios de octubre, sobre pasturas de digitaria y mijo perenne se marcaron tres parcelas de 3,0 x 6,0 m en las que se cosecharon a ras del suelo 30 macollos por parcela, tomados al azar, cada siete días y durante 16 semanas. Se cuantificó el estado de desarrollo de cada macollo cortado a través de índices numéricos que relacionan el peso o la cantidad de macollos en cada estado con el peso (EMP) o la cantidad (EMC) total de macollos cortados, y se determinó la proporción de lámina viva. Los datos se sometieron a análisis de regresión lineal y modelos lineales mixtos para mediciones repetidas. Los índices EMP y EMC, en digitaria y mijo perenne, se relacionaron en forma estrecha ($p < 0,01$). La duración del periodo vegetativo fue aproximadamente 250 grados días (base 10 °C) más prolongado en digitaria que en mijo perenne, aunque alcanzaron el estado reproductivo al mismo tiempo. EMP fue un mejor predictor de la proporción de lámina viva que EMC, con un mayor R^2 (0,89 vs. 0,83) y una menor raíz cuadrada del cuadrado medio del error. Los índices por peso y por conteo permitieron describir el estado de desarrollo morfológico medio y predecir la proporción de lámina viva de digitaria y mijo perenne.

Palabras clave: gramíneas perennes de crecimiento estival, madurez, morfología, proporción de lámina.

ABSTRACT

The measurement of pasture morphological development is critical to the purpose of implementing management practices. The objective was to quantify the mean stage of morphological development, to analyze its variation through thermal time and to establish the relationship between mean stage of development and green leaf blade proportion of digitgrass (*Digitaria eriantha* Steud.) and kleingrass (*Panicum coloratum* L.). In early October, three plots of 3.0 x 6.0 m were marked on a pasture of digitgrass, and another one of kleingrass, for ground-level cutting of 30 tillers per plot selected at random, every seven days during a period of 16 weeks of canopy growing season. Mean stage by weight (MSW), mean stage by count (MSC) and green leaf blade proportion were determined. Data were analyzed using linear regression and mixed linear models for repeated measurements. The MSW and MSC indexes, in digitaria and kleingrass, were highly related ($p < 0.01$). The duration of the vegetative period was about 250 degree days (base 10 °C) longer in digitgrass than in kleingrass,

¹Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Ruta Nac. N° 35, km 334, 6300 Santa Rosa, La Pampa. Correo electrónico: varijouve@agro.unlpam.edu.ar

although they attained the reproductive stage at the same time. The MSW was a better predictor of green leaf blade proportion than MSC, with a higher R^2 (0.89 vs. 0.83) and a lower root mean square error. Both MSW and MSC indexes allowed describing the mean morphological developmental stage and predicting green leaf blade proportion of digitgrass and kleingrass.

Keywords: leaf blade proportion, maturity, morphology, warm-season grasses.

INTRODUCCIÓN

En la región semiárida central, parte de la superficie original del caldenal fue reemplazada, en forma progresiva, por sistemas de producción tanto ganaderos como mixtos o agrícolas (Viglizzo *et al.*, 2010). El sistema de producción predominante en las áreas donde se mantiene el bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk.) es el de cría bovina. En general, estas áreas se encuentran sometidas a condiciones de sobrepastoreo que determinaron la presencia de superficies extensas con distinto grado de degradación florística, a partir de la invasión de especies indeseables para la ganadería, que afectan la capacidad de carga animal (Roberto *et al.*, 2005; SAYDS, 2006). Todo ello determinó la necesidad de mantener e incrementar la receptividad animal y, para ello, se trabajó con éxito en la implantación de gramíneas C4 perennes exóticas como complemento forrajero del pastizal en áreas de desmonte, planicies y médanos (Ferri, 2014).

Dentro de las gramíneas C4 estudiadas que se adaptan a este ambiente se destacan digitaria (*Digitaria eriantha* Steud. ssp. *eriantha*) cv Irene y mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var. *coloratum*) cv Verde, dado sus niveles elevados de acumulación de materia seca y valor nutritivo (Stritzler *et al.*, 1996; Petruzzi *et al.*, 1996). Estas especies se caracterizan por ser insensibles a la longitud del día para iniciar la fase reproductiva (Nada, 1980; Loch *et al.*, 2004), observándose que luego de iniciada, esta se extiende durante toda la estación de crecimiento. Ello determina que las pasturas de estas especies presenten macollos con diferente estado de madurez en forma simultánea (Moore y Moser, 1995) afectando su valor nutritivo (Coleman *et al.*, 2004). Por ello, el conocimiento del estado medio de desarrollo de pasturas de digitaria y mijo perenne podría ser de utilidad a los fines de la investigación y para la toma de decisiones de manejo (por ej., inicio del pastoreo, cosecha para heno, pastoreo de los rebrotes, producción de semillas, aplicación de agroquímicos).

Varios autores han elaborado sistemas para cuantificar el estado de desarrollo morfológico de una pastura (Moore *et al.*, 1991; Sanderson, 1992), tal que considere su variabilidad. De este modo se pretende superar la cuantificación visual, la cual tiende a sobreestimar el estado de madurez de la pastura debido a que los macollos en elongación y reproductivos son visualmente dominantes en la población

(Mitchell *et al.*, 1997). El desarrollo ontogénico de los macollos de gramíneas perennes se puede dividir, según Moore *et al.* (1991), en cuatro estados (vegetativo, elongación de tallos, reproductivo y madurez de las semillas) que a su vez se conforman por subestados, que se corresponden con eventos morfológicos específicos. Esta clasificación permitió, al asignar un número a cada estado y subestado, la elaboración de escalas numéricas que pueden ser usadas con fines cuantitativos, como la construcción de índices. Así, el estado morfológico medio de una pastura puede ser calculado a través de índices numéricos que surgen de relacionar el peso (EMP, estado medio por peso) o la cantidad (EMC, estado medio por conteo) de macollos en cada estado con el peso o la cantidad total de macollos de una muestra, respectivamente (Moore *et al.*, 1991). El sistema propuesto por Moore *et al.* (1991) resulta de fácil aplicación y fue diseñado para ser utilizado en gramíneas forrajeras perennes, tanto del pastizal como cultivadas. A partir de este sistema, Sanderson (1992) elaboró una propuesta que también considera los estados parciales de desarrollo foliar, otorgando más precisión a la cuantificación.

A su vez, estos índices pueden ser utilizados para establecer posibles relaciones entre la madurez del forraje y variables de calidad o producción (Fick y Janson, 1990; Kalu y Fick, 1981; Smart *et al.*, 2001). Por un lado, esto es de importancia dado que el estado de madurez de las pasturas, al momento del pastoreo o corte, es una de las variables con mayor efecto sobre la calidad del forraje (Nelson y Moser, 1994), facilidad de aprehensión, palatabilidad y el potencial del rebrote de las especies forrajeras luego de la defoliación (Briske, 1991). Por otro lado, las decisiones de manejo sustentadas en el estado madurez se consideran fiables, dado que los efectos acumulados del ambiente, edad de las plantas y genéticos se integran y expresan en el desarrollo morfológico de una especie (Buxton y Marten, 1989).

El presente trabajo se realizó en pasturas de digitaria y mijo perenne con los siguientes objetivos: 1) cuantificar y comparar el estado medio de desarrollo morfológico, obtenido mediante índices cuantitativos de estado medio por peso (EMP) y por conteo (EMC), de ambas pasturas; 2) comparar entre estas especies la variación de los índices cuantitativos de desarrollo morfológico a través del tiempo térmico; 3) determinar la relación existente entre los índices EMP y EMC con la proporción de lámina viva.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se efectuó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía (UNLPam) (36°46' lat. sur; 64°16' long. oeste, 210 m s.n.m.), sobre pasturas monofíticas de digitaria (*Digitaria eriantha* Steud. ssp. *eriantha*) cv Irene y mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var. *coloratum*) cv Verde, implantadas en 1996 sobre un suelo Haplustol entico (MO: 1,7%; P: 37,0 ppm; pH: 7,1). Ambas pasturas fueron utilizadas mediante pastoreo rotativo y con similar carga animal instantánea, con 3 a 4 periodos de pastoreo durante las estaciones de crecimiento anteriores a las mediciones. En cada pastura, previo al inicio del crecimiento de primavera, el material muerto proveniente de la estación de crecimiento anterior fue cortado a 5 cm de altura y removido. Luego, para cuantificar el desarrollo morfológico medio de la pastura se marcaron y cercaron tres parcelas de 3,0 x 6,0 m.

A partir del día 7 de octubre de 2014, cada siete días y durante 16 semanas, se tomaron al azar y cosecharon al ras del suelo 30 macollos por parcela (Sanderson, 1992). Para la selección de los macollos cosechados se utilizó un dispositivo denominado marco de puntos (Goodall, 1952), el cual se apoyó sobre la superficie del suelo cada 50 cm, siguiendo una dirección establecida al azar. Dicho dispositivo consta de un bastidor con cinco varillas que se desplazan hacia el suelo en un ángulo de 45°, así se seleccionaron los macollos interceptados por las varillas de cada extremo y central. Luego, se determinó el estado de desarrollo, de cada macollo cortado, mediante el uso de descriptores de características macromorfológicas externas (visibles o palpables) de acuerdo

do a la escala propuesta por Sanderson (1992), se agruparon según el estado en que se encontraban y se contaron. Posteriormente, se secaron en estufa (48 h a 55 °C), se pesaron y separaron en sus fracciones morfológicas lámina, tallo (incluyendo vaina e inflorescencia) y material muerto, para determinar la proporción de lámina viva. La escala de estados numéricos (tabla 1) utilizada describe cuatro eventos (estados) fenológicos sucesivos y subestados, incluyendo desde la emergencia de plántula o rebrote en la primavera (0,5) hasta el desprendimiento de semillas (35).

Para determinar el estado medio de la pastura se utilizaron los índices por peso (EMP) y por conteo (EMC) de acuerdo a los modelos propuestos por Kalu y Fick (1981):

$$EMP = \sum_{0,5}^{35} (S \times D) / W$$

$$EMC = \sum_{0,5}^{35} (S \times N) / C$$

donde:

S = número de estado (de 0,5 a 35 de acuerdo a escala; tabla 1),

D = peso seco de los macollos en el estado S,

W = peso seco total de la muestra de los 30 macollos,

N = número de macollos en el estado S,

C = número total de macollos en la muestra (n = 30).

Escala numérica	Descriptores morfológicos
Vegetativo: desarrollo de hojas	
1-10	Estado de desarrollo foliar. 1 = hoja completamente expandida, etc. La transición se establece por cuartos*, <i>ej.</i> , 1,25 equivale a una hoja completamente expandida más otra hoja en elongación, cuya longitud es inferior a la mitad de la expandida, etc. Las hojas muertas se contabilizan de igual forma.
Elongación: elongación de entrenudos	
11-19	Tallo desarrollado cuantificado por el número de nudos palpables. 11 = un entrenudo en elongación, 12 = dos.
Reproductivo: desarrollo floral	
20	Estado de bota. Inflorescencia palpable o visible en la vaina de la hoja bandera.
21-29	Inflorescencia parcialmente excerta. 21 = 10% excerta, 22 = 20%, etc.
30	Inflorescencia completamente excerta (aparición de la última ramificación inferior del raquis de la inflorescencia).
31	Antesis (anteras visibles).
32	Estado de máxima antesis.
Desarrollo de semillas y madurez	
33	Semillas con endosperma pastoso.
34	Semillas con endosperma duro.
35	Desprendimiento de semillas.

Tabla 1. Escala de estados numéricos para gramíneas perennes de crecimiento estival basada en descriptores morfológicos (Sanderson, 1992).

*En el caso que la longitud de la parte visible de la hoja en expansión excediera la longitud de la hoja expandida se estimó de la siguiente forma: [(n-1) + 0,9] donde n es el número de hojas en expansión y expandidas (Gustavsson, 2011).

Se determinó el desvío estándar de EMC (S_{EMC}) para cada especie y en cada fecha de corte, a los efectos de estimar la variación alrededor de EMC dentro de la población de macollos siguiendo la ecuación propuesta por Moore *et al.* (1991):

$$S_{EMC} = \sqrt{\frac{\sum_{0,5}^{35} (S - EMC)^2 \times N}{C}}$$

En tanto que, el desvío de EMP no se estableció dado que es función del producto de dos variables (S y W) que son dependientes entre sí (Moore *et al.*, 1991).

La temperatura del aire se registró cada 30 minutos, en abrigo meteorológico a 1,50 m de altura, mediante un *data logger*. Para determinar el tiempo térmico se utilizó la sumatoria de los grados días (GD) acumulados durante el periodo de evaluación de las pasturas comenzando el 01 octubre de la siguiente forma:

$$GD = \sum_{i=1}^n (Tm - Tb),$$

donde:

Tm = temperatura media diaria,

Tb = temperatura base (10 °C; Sanderson y Moore, 1999; Mitchell *et al.*, 2001),

n = número de días desde el inicio de las mediciones.

La temperatura media y la lluvia total del mes de octubre superó en 1,6 °C y triplicó, respectivamente, a las medias históricas (1975-2013). En tanto que las temperaturas medias mensuales de noviembre a febrero fueron cercanas a la media histórica, con diferencias inferiores al grado centígrado. En cuanto a la lluvia acumulada, durante noviembre y diciembre fue 2,5 veces inferior a la histórica; sin em-

bargo, el elevado nivel de lluvias registrado al inicio de la primavera pudo haber atenuado, en parte, el posible efecto de la deficiencia posterior. A su vez, la lluvia total del periodo de evaluación fue superior al total histórico (484 vs. 426 mm; figura 1). Esta variabilidad intra e interanual en las lluvias es una característica de la región pampeana (Yahdjian y Sala, 2008), que se acrecentó durante los últimos años (Magrin *et al.*, 2005).

Las relaciones entre ambos índices de desarrollo y entre la proporción de lámina viva y los índices se establecieron mediante regresiones lineales. Se probaron los supuestos (ej., normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos) involucrados en la construcción de los modelos. Las pendientes e interceptos de las regresiones lineales fueron comparados mediante el uso de variables *dummy*. Para estimar el error asociado con la predicción se utilizó el error estándar de la regresión (ej., la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCME)). La variación de los índices cuantitativos de desarrollo morfológico, a través del tiempo térmico, de ambas especies se analizó mediante la aplicación de modelos lineales mixtos para mediciones repetidas en el tiempo. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación existente entre EMP y EMC fue estrecha y positiva (figura 2), lo cual indica que el cambio en uno de ellos se corresponde con un cambio proporcional en magnitud y en la misma dirección en el otro. Estos resultados acuerdan con antecedentes que prueban que EMP puede ser predicho a partir de EMC (Mueller y Fick, 1989; Mitchell *et al.*, 1997). Ello es de utilidad dado que la aplicación del índice EMC elimina la necesidad del secado de los macollos como parte del proceso de determinación del estado medio de desarrollo. Además, se observó que en la medida que incrementó EMC, el incremento en EMP fue menor

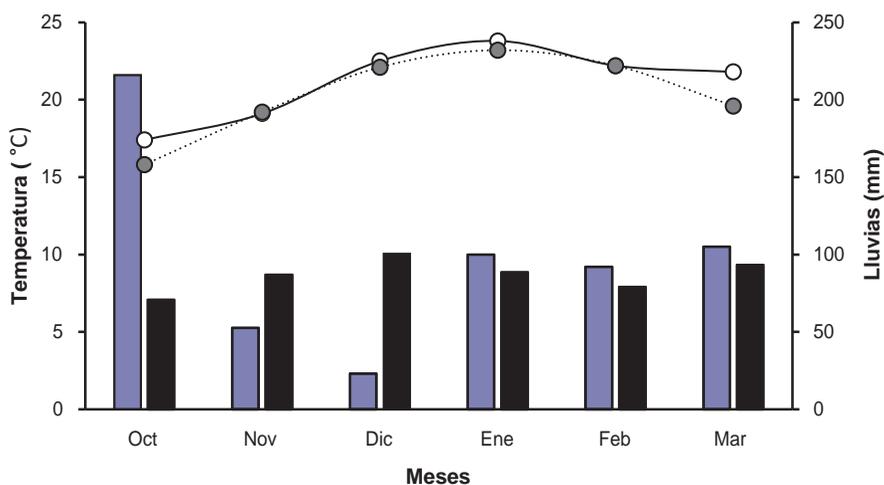


Figura 1. Temperatura media mensual (—), temperatura media mensual histórica (1975-2013;.....), lluvia mensual (■) y lluvia mensual histórica (■) desde octubre a febrero.

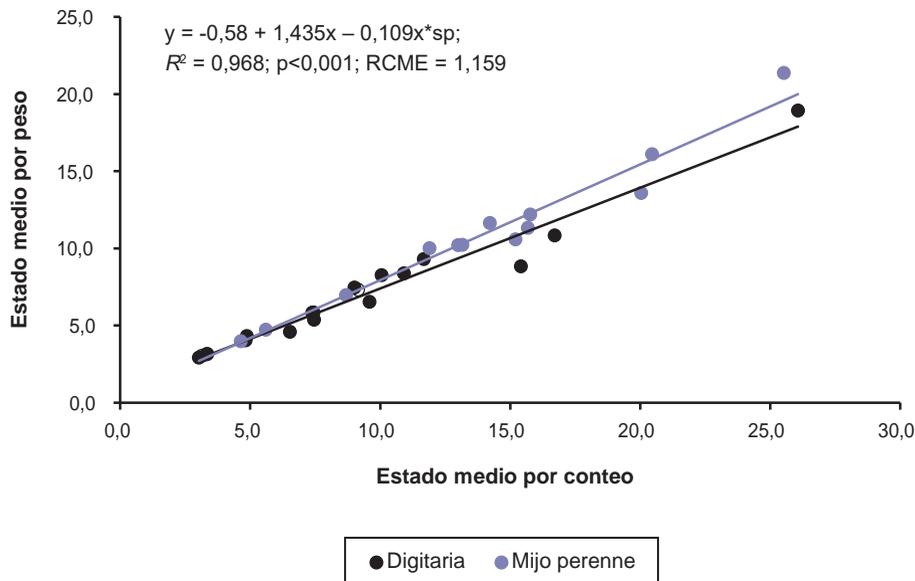


Figura 2. Relaciones entre el estado medio por peso (EMP) y el estado medio por conteo (EMC) para digitaria y mijo perenne (sp: digitaria = 0; sp: mijo perenne = 1). Cada observación representa el promedio de tres repeticiones. RCME, raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

($p < 0,05$) en digitaria que en mijo perenne (figura 2). Esto sugiere que los macollos elongados de digitaria fueron más livianos que los de mijo perenne incidiendo sobre EMP y no en EMC dado que, en este último, todos los macollos tienen igual incidencia sin importar su peso.

En la figura 3 se puede observar que el desarrollo aparente de las plantas estimado mediante el índice EMP fue más rápido o, en otros términos, el rango de valores obtenidos en función de los GD acumulados fue más amplio para EMP que para EMC. Este resultado es consistente con evaluaciones realizadas en alfalfa (Kalu y Fick, 1981; Kratchunov y Naydenov, 1995) y gramíneas C4 perennes (Hendrickson *et al.*, 1998; Mitchell *et al.*, 1997). En consecuencia, el uso de EMP facilitaría la detección de diferencias entre los estados de desarrollo en mayor medida que EMC (Kalu y Fick, 1981).

Las especies evaluadas presentaron un desarrollo morfológico medio similar ($p > 0,05$), estimado con ambos índices, hasta aproximadamente los 530 GD en que mijo perenne alcanzó el estado medio de elongación de entrenudos (≥ 11 ; figura 3). A partir de dicho momento y hasta los 650 GD, ambos índices fueron menores ($p < 0,05$) en digitaria, con respecto a mijo perenne, lo que indicaría que el periodo en que la primera especie permaneció en estado vegetativo fue más prolongado, alrededor de 250 GD (EMP y EMC < 11; digitaria: 646 y 807 GD; mijo perenne: 401 y 534 GD, respectivamente; figura 3). A los 900 GD, ambas especies, se aproximaron o alcanzaron el estado medio reproductivo. Las diferencias observadas en la tasa de desarrollo de las especies durante la fase de elongación de entrenudos sugieren una respuesta diferencial a la temperatura, que no se manifiesta en la expresión del desarrollo reproductivo, dado que ocurrió a un tiempo térmico similar. Esto último podría indicar la presencia de otros factores

abióticos involucrados en definir la iniciación floral como la disponibilidad de agua edáfica (Link *et al.*, 1990), el fotoperiodo (Pritchard y De Lacy, 1974) o la edad de los macollos (Loch *et al.*, 2004).

Posteriormente, luego de superados los 900 y hasta 1200 GD en digitaria y 1100 GD en mijo perenne, el estado medio numérico decreció (figura 3), lo cual se explicaría por la generación de nuevos macollos (Kalu y Fick, 1981), que se refleja en el incremento en la proporción de macollos vegetativos de 0,44 a 0,83 en digitaria y de 0,04 a 0,28 en mijo perenne. Este incremento, que surge con posterioridad al desarrollo floral, podría ser explicado por la recuperación en la humedad edáfica luego de un periodo de sequía (figura 1), lo que habría determinado un incremento en la tasa de macollaje (Horst y Nelson, 1979; Korte y Chu, 1983). A su vez, el decrecimiento mencionado en los valores de ambos índices fue mayor ($p < 0,05$) en digitaria. Esto se corresponde con la mayor proporción de macollos en estado vegetativo para dicha especie en relación con mijo perenne. Por último, digitaria se mantuvo en estado de desarrollo vegetativo y mijo reinició la elongación de entrenudos, reiterándose la presencia de un periodo en estado medio vegetativo más prolongado en la primera especie.

La elongación anticipada de entrenudos en mijo perenne tendría implicancias respecto del manejo de la defoliación, dado que la elevación de los meristemas apicales aumentaría la probabilidad de su remoción, con efectos negativos sobre el rebrote posterior. Además, se podría esperar una disminución más rápida en la calidad nutritiva de mijo perenne, al alcanzar antes el estado de elongación de entrenudos. En este sentido, Sanderson *et al.* (1999) observaron, en un estudio de dos años en dos tipos de suelo, que digitaria presentó porcentajes de fibra en detergente neutro inferiores a mijo perenne.

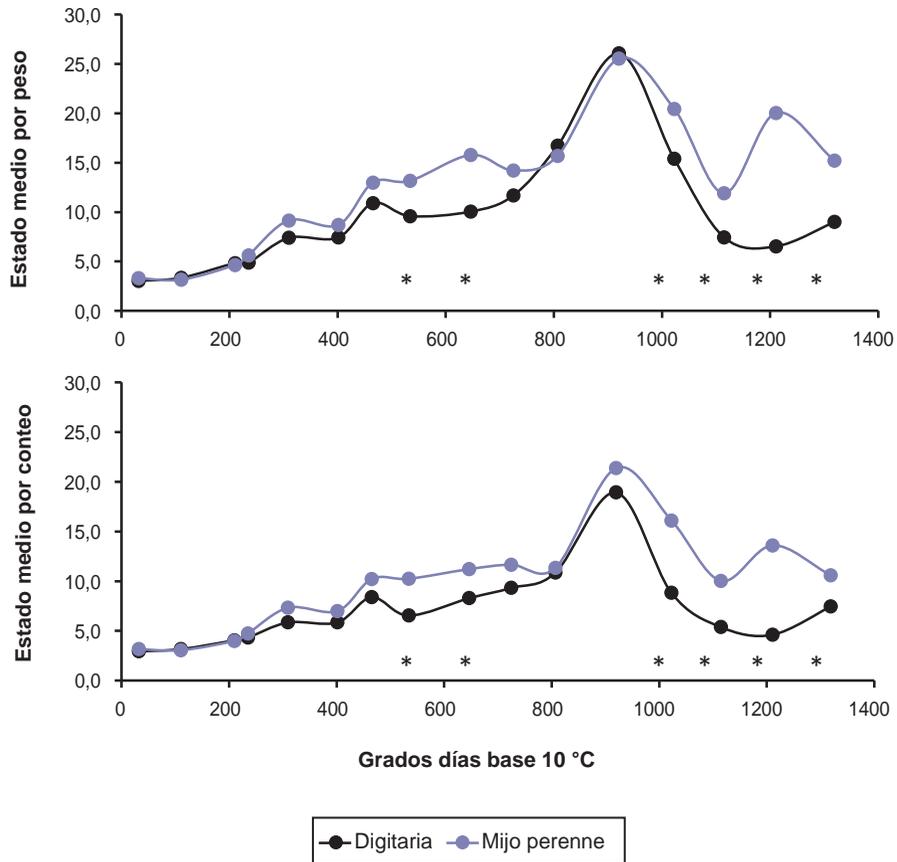


Figura 3. Relaciones entre los estados medio por peso (EMP) y por conteo (EMC) y los grados días base 10 °C acumulados desde el 01 de octubre para (a) digitaria y (b) mijo perenne

En los primeros seis cortes del presente trabajo los valores del desvío estándar del EMC fueron pequeños en términos relativos, y similares entre especies (figura 4). Ello es indicio de que la población de macollos estaba integrada por individuos con un estado de desarrollo similar; en este caso, en ambas especies solo se registraron macollos en estado vegetativo. Luego, a medida que progresó el desarrollo morfológico y hasta alcanzar los 900 GD el desvío estándar fue en incremento, en respuesta a una diversidad creciente de estados y subestados. Se puede observar que dicho incremento fue menor en digitaria en comparación con mijo perenne (figura 4), lo cual se podría relacionar con una duración más prolongada del periodo vegetativo en la primera especie. Sin embargo, al alcanzar el estado medio reproductivo el desvío estándar de digitaria fue marcadamente superior, indicando una variación mayor en el estado de madurez de los macollos que mijo perenne. Lo anterior pone de manifiesto que, aun cuando dos poblaciones de macollos alcancen a un mismo momento un similar EMC, su composición morfológica puede ser muy diferente. Superado los 900 GD el valor del desvío estándar disminuyó, hasta alcanzar un mínimo a los 1200 y 1100 GD para digitaria y mijo perenne, respectivamente (figura 4). Esto sería consecuencia de, por un lado, la presencia de una gran proporción de macollos reproductivos en un estado de desarrollo avanzado y similar (ej., estado de de-

sarrollo de semillas y madurez: $S > 32$) y, por el otro, la aparición de nuevos macollos en la población con similar estado de desarrollo. Lo expuesto explicaría la menor heterogeneidad en el estado de desarrollo medio de la población de macollos en ambas especies. Posteriormente, el desvío estándar incrementó en la medida que progresó el desarrollo morfológico de los macollos.

Además, se analizó la dinámica de la partición de la materia seca (ej., proporción de lámina viva) asociada al estado de desarrollo de las dos especies, dado su efecto sobre el valor nutritivo del forraje, al incrementar el contenido de fibra en detergente neutro y disminuir su digestibilidad (Sanderson y Wedin, 1989; Temu *et al.*, 2014). La variación en los índices de desarrollo explicó entre el 83 y 89% de la variación en la proporción de lámina viva, con una dispersión baja a moderada de los datos (RCME entre 4,8 y 5,8 g de lámina cada 100 g de materia seca). A su vez, las ecuaciones de regresión generadas a partir de EMP, en ambas especies, predijeron en forma ligeramente más ajustada la proporción de lámina viva, con relación a EMC (figura 5). Por una parte, la diferencia en la capacidad de predicción de los índices se debería a que en la estimación del índice EMP se considera el peso de los macollos individuales (Kalu y Fick, 1981), mientras que EMC es un promedio de todos los macollos presentes, teniendo los macollos jóve-

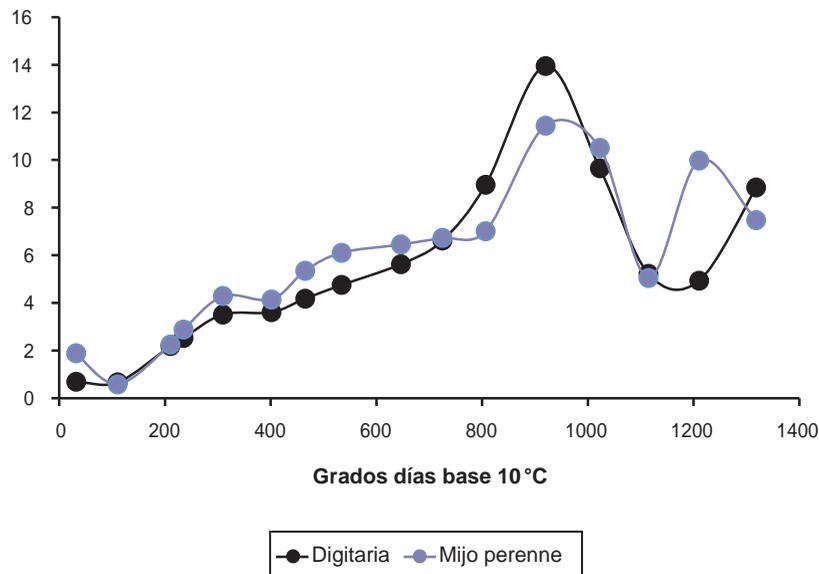


Figura 4. Desvío estándar del estado medio por conteo en función de los grados días base 10 °C acumulados desde el 01 de octubre para digitaria y mijo perenne.

nes y maduros igual ponderación. El índice EMP incorpora el efecto ejercido por los tallos maduros, más pesados que los jóvenes, determinando así una mayor sensibilidad para captar cambios en el desarrollo morfológico, lo que permitió predecir la proporción de lámina en forma más ajustada. En el mismo sentido, varios autores encontraron una mejor capacidad de predicción de las variaciones en el valor nutricional del forraje mediante EMP (Kalu y Fick, 1981; Mitchell *et al.*, 2001). En tanto que, bajo condiciones de pastoreo, EMC fue un pobre predictor de la relación lámina:tallo con el avance en la estación de crecimiento (Smart *et al.*, 2001).

Por otra parte, la tasa de disminución en la proporción de lámina viva en función de ambos índices fue mayor ($p < 0,05$) en digitaria con respecto a mijo perenne (figura 5), lo que se explicaría por el mayor flujo de senescencia en la primera (20,4 vs. 7,1 mg de material senescente por macollo; $p < 0,001$; EE: 0,36) a través de todos los cortes (interacción especie x corte; $p > 0,227$). Esto sugiere la importancia del flujo de senescencia como determinante de la menor proporción de lámina viva en digitaria, aun cuando el inicio de la fase de elongación de entrenudos en esta especie fue más tardía que para mijo perenne.

Los resultados del presente trabajo sugieren que sería posible predecir la proporción de lámina mediante estos índices. Sin embargo, se requeriría ampliar las evaluaciones para proveer evidencia acerca de la posibilidad de extrapolar esta información a otras condiciones ambientales. Además, sería necesario evaluar posibles diferencias estacionales en la proporción de lámina, en los distintos estados de madurez de la pastura. Si bien a medida que las plantas

forrajeras maduran la materia seca acumulada aumenta y su valor nutricional disminuye (Mitchell *et al.*, 2001; Ziehr *et al.*, 2014), estas tendencias podrían ser modificadas por las condiciones ambientales. Es decir, la disminución observada en la proporción de lámina y en la concentración proteica (Ferri, 2011), con el avance de la madurez, es afectada por las condiciones ambientales dado que estas determinan la cantidad de materia seca acumulada hasta alcanzar cada estado de desarrollo. De todos modos, aun cuando a través del desarrollo morfológico se pueda predecir la calidad nutricional del forraje bajo condiciones ambientales variables, la principal utilidad de los índices (EMP y EMC) radicaría en lograr caracterizaciones precisas y cuantitativas, del estado de desarrollo morfológico de especies C4 perennes.

CONCLUSIONES

Los índices cuantitativos por peso y por conteo permitieron describir el estado de desarrollo morfológico medio de digitaria y mijo perenne, aunque, el primero fue más sensible para detectar cambios morfológicos. A través de la aplicación de ambos índices se encontraron diferencias entre especies en cuanto a la duración del estado vegetativo; a su vez, ambas especies alcanzaron el estado reproductivo en forma simultánea. Además, dichos índices podrían proveer una estimación de la proporción de lámina viva de la población de macollos de ambas especies. Sin embargo, se requiere probar la consistencia de estas relaciones ante variaciones en las condiciones ambientales y a través de la estación de crecimiento.

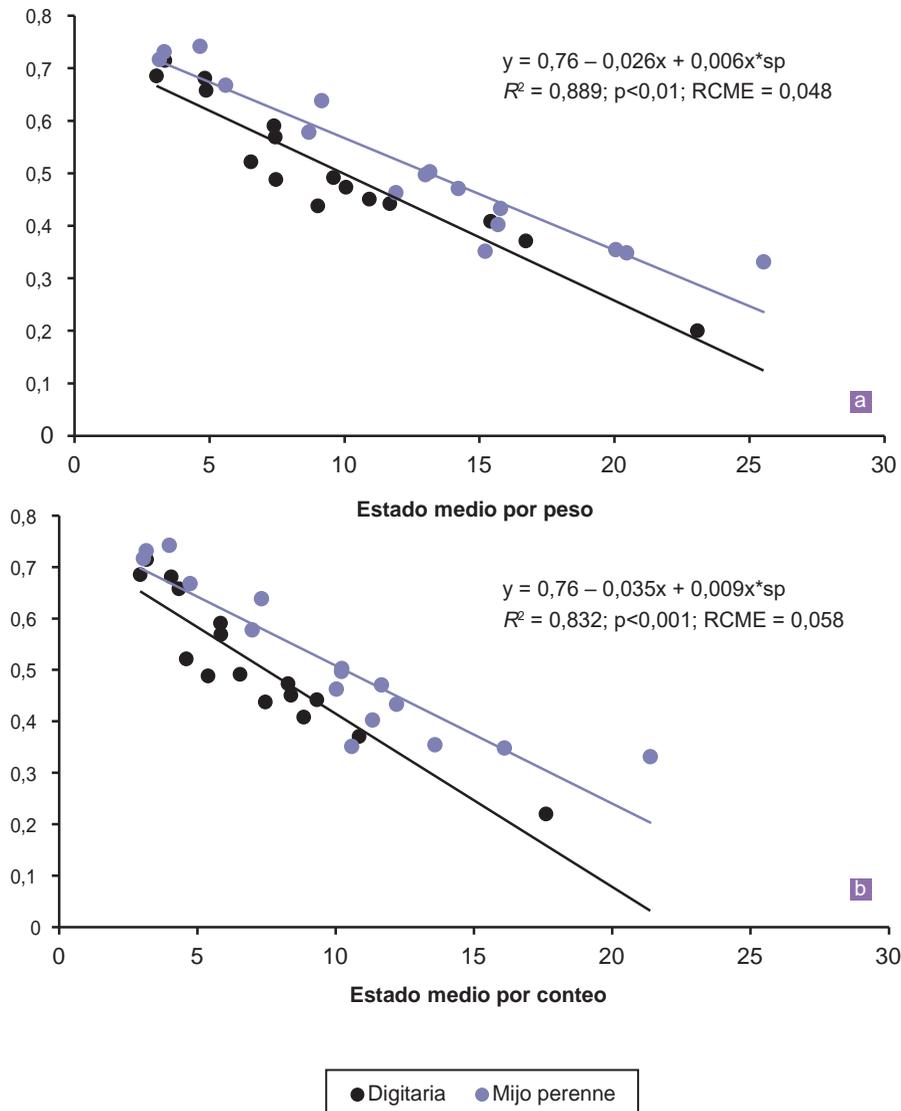


Figura 5. Relaciones entre la proporción de lámina y (a) el estado medio por peso (EMP) y (b) estado medio por conteo (EMC) para digitaria y mijo perenne (sp: digitaria = 0; sp: mijo perenne = 1). RCME, raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

BIBLIOGRAFÍA

BRISKE, D.D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. Timber Press, Portland, OR. En: HEITSCHMIDT, R.K.; STUTH, J.W. (Eds.). Grazing management: An ecological perspective, pp. 85-108.

BUXTON, D.R.; MARTEN, G.C. 1989. Forage quality of plant parts of perennial grasses and relationship to phenology. *Crop Sci.* 29, 429-435.

COLEMAN, S.W.; MOORE, J.E.; WILSON, J.R. 2004. Quality and utilization. En: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.). Warm-season (C4) grasses. *Agronomy Series 45, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA, pp. 267-308.*

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2015. InfoStat, versión 2015, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

FERRI, C.M. 2011. Relaciones entre composición química y estructura en *Panicum coloratum* L. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 31, 504.

FERRI, C.M. 2014. Gramíneas forrajeras perennes de crecimiento estival (C4) para la región Pampeana semiárida, en el contexto de la intensificación ganadera y del cambio climático. Resultados finales. Proyectos de investigación científica y tecnológica orientados al desarrollo productivo provincial. Universidad Nacional de La Pampa, EdUNLPam, Santa Rosa, pp. 92-145.

FICK, G.; JANSON, C.G. 1990. Testing mean stage as a predictor of alfalfa forage quality with growth chamber trials. *Crop. Sci.* 30, 678-682.

GOODALL, D.W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. iv Patterns and minimal area. *Aust. J. Sci. Res.* 5, 1-41.

GUSTAVSSON, A.M. 2011. A developmental scale for perennial forage grasses based on the decimal code framework. *Grass Forage Sci.* 66, 93-108.

HENDRICKSON, J.R.; MOSER, L.E.; MOORE, K.J.; WALLER, S.S. 1998. Morphological development of 2 warm-season grasses the Nebraska Sandhills. *J. Range Manage.* 51, 456-462.

- HORST, G.L.; NELSON, C.J. 1979. Compensatory growth of tall fescue following drought. *Agron. J.* 71, 559-563.
- KALU, B.A.; FICK, G.W. 1981. Quantifying Morphological stage of maturity as a predictor of alfalfa herbage quality. *Crop Sci.* 23, 267-271.
- KORTE, C.J.; CHU, A.C.P. 1983. Some effects of drought on perennial ryegrass swards. *Proc. N.Z. Grassl. Ass.* 44, 211-216.
- KRATCHUNOV, I.; NAYDENOV, T. 1995. Estimation of Lucerne forage quality by means of morphological and meteorological data. *Eur. J. Agron.* 4, 263-267.
- LINK, S.O.; GEE, G.W.; DOWNS, J.L. 1990. The effect of water stress on phenological and ecophysiological characteristics of cheatgrass and Sandberg's bluegrass. *J. Range Manage.* 43, 506-513.
- LOCH, D.S.; ADKINS, S.W.; HESLEHURST, M.R.; PATERSON, M.E.; BELLAIRS, S.M. 2004. Seed formation, development, and germination. En: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.). *Warm-season (C4) grasses Agronomy Series 45, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA.*, pp. 95-143.
- MAGRIN, G.O.; TAVASSO, M.I.; RODRÍGUEZ, G.R. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Clim. Chang.* 72, 229-249.
- MITCHEL, R.B.; MOSER, K.P.; MOORE, K.J. 1997. Relationships of visual and quantitative methods of grass sward development. *Proc. 18th Int. Grassl. Congr., Winnipeg, Manitoba, Canadá*, p. 7-8.
- MITCHELL, R.; FRITZ, J.; MOORE, K.; MOSER, L.; VOGEL, K.; REDFEARN, D.; WESTER, D. 2001. Predicting forage quality in switchgrass and big bluestem. *Agron. J.* 93, 118-124.
- MOORE, K.J.; MOSER, L.E.; VOGEL, K.P.; WALLIER, S.S.; JONSON, B.E.; PEDERSEN, J.F. 1991. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agron. J.* 83, 1073-1077.
- MOORE, K.J.; MOSER, K.P. 1995. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Sci.* 35, 37-43.
- MUELLER, S.C.; FICK, G.W. 1989. Converting alfalfa development measurements from mean stage by count to mean stage by weight. *Crop Sci.* 29, 821-823.
- NADA, Y. 1980. Photoperiodic responses in flowering of main tropical pastures grasses. *J. Jpn. Soc. Grassl. Sci.* 26, 157-164.
- NELSON, C.J.; MOSER, L.E. 1994. Plant factor affecting forage quality. En: Fahey, G.C. (Ed.). *Forage quality, evaluation and utilization. ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI, USA*, pp. 409-420.
- PETRUZZI, H.J.; JOUVE, V.V.; FERRI C.M.; STRITZLER, N.P.; PAGELLA, J.H. 1996. Tasa de crecimiento y valor nutritivo de siete gramíneas estivales en la región Pampeana semiárida. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16, 175-176.
- PRITCHARD, A.J.; DE LACY, I.H. 1974. The cytology, breeding system and flowering behavior of *Panicum coloratum*. *Aust. J. Bot.* 22, 57-66.
- ROBERTO, Z.; ADEMA, E.; RUCCI, T. 2005. Relevamiento fitosonómico de la vegetación en el área del caldenal. *Publicación Técnico N.º 60, EEA Anguil, INTA*, p 24.
- SANDERSON, M.A. 1992. Morphological development of Switchgrass and Kleingrass. *Agron. J.* 84, 415-419.
- SANDERSON, M.A.; MOORE, K.J. 1999. Switchgrass morphological development predicted from day of the year or degree day models. *Agron. J.* 91, 732-734.
- SANDERSON, M.A.; VOIGT, P.; JONES, R.M. 1999. Yield and quality of warm-season grasses in central Texas. *J. Range Manage.* 52, 145-150.
- SANDERSON, M.; WEDIN, W. 1989. Phenological stage and herbage quality relationship in temperature grasses and legumes. *Agron. J.* 81, 864-869.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2006. *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Inventario de campo de la región del espinal distritos Caldén y Ñandubay. Anexo 1. Estado de conservación del distrito Caldén*, p. 77.
- SMART, A.J.; SCHACHT, W.H.; MOSER, L.E. 2001. Predicting leaf/stem ratio and nutritive value in grazed and nongrazed big bluestem. *Agron. J.* 93, 1243-1249.
- STRITZLER, N.P.; PAGELLA, J.H.; JOUVE, V.V.; FERRI, C.M. 1996. Semi-arid warm-season grass yield and nutritive value in Argentina. *J. Range Manage.* 49, 121-125.
- TEMU, V.W.; RUDE, B.J.; BALDWIN, B.S. 2014. Nutritive value response of native warm-season forage grasses to harvest intervals and durations in mixed stands. *Plants* 3, 266-283.
- VIGLIZZO, E.F.; CARREÑO, L.V.; PEREYRA, H.; RICARD, F.; CLATT, J.; PINCÉN, D. 2010. Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. En: VIGLIZZO, E.F.; JOBBÁGY, E.C. (Eds.). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. INTA, Buenos Aires*, pp. 9-16.
- YAHDJIAN, L.; SALAS, O.E. 2008. Climate change impacts on South American Rangelands. *Rangelands* 30, 34-39.
- ZIEHR, R.D.; REA, G.L.; DOUGLAS, J.L.; SPAETH, K.E.; PEACOCK, G.L.; MUIR, J.P. 2014. Ontogenesis and nutritive value of warm-season perennial bunch grasses. *Trop. Grassl.* 2, 188-196.

Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo

VOISIN, A.¹; NOVILLO, B.¹; CHAMORRO, A.³; BEZUS, R.⁴; PELLEGRINI, A.⁴; GOLIK, S.⁵

RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar la producción de biomasa y el rendimiento de distintas secuencias de cultivos de cuatro años de duración (S1: trigo/soja 2.^o –maíz–soja–trigo; S2: cebada/soja 2.^o–maíz–soja–trigo; S3: avena/soja 2.^o –maíz–girasol–trigo y S4: colza/soja 2.^o –maíz–sorgo–trigo) bajo dos manejos tecnológicos: nivel medio (NTM: manejo del productor promedio) y nivel alto (NTA: manejo del productor de punta), ii) evaluar la extracción de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y potasio (K) y el balance de N y P para cada secuencia completa. Los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental J. Hirschhorn (Los Hornos), dependiente de la Universidad Nacional de La Plata. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas. Se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($P < 0,05$). La biomasa total tendió a ser mayor en S2, que a su vez presentó el mayor rendimiento total en grano (32212 kg ha^{-1}). La fecha de cosecha del cultivo antecesor, como el volumen y calidad de su rastrojo modificaron la respuesta del cultivo sucesor. El mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa total y los rendimientos fueran superiores, con una diferencia con respecto al NTM de 4715 y 1865 kg ha^{-1} , respectivamente, aumentando así la extracción de nutrientes. Las mayores extracciones de N se dieron en S2 y S1, que además de sus elevados rendimientos, incluyeron a la soja con mayor frecuencia, y en S4 con el cultivo de colza. Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el caso del K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3. Los balances de N y P resultaron negativos para todos los casos analizados. Los niveles de tecnología empleados en el presente trabajo, que son los que habitualmente realiza el productor de la zona, no alcanzan para satisfacer la capacidad extractiva de los cultivos y por ello resulta difícil esperar encontrar balances nulos en esta.

Palabras clave: balance de nutrientes, extracción de nutrientes, rendimientos, rotaciones, sustentabilidad.

ABSTRACT

The objectives of the study were: i) evaluate the production of biomass and yield of different crop sequences, four years in length (S1: wheat /2nd soybean -corn-soybean-wheat; S2: barley /2nd soybean -corn-soybean-wheat; S3: oat/2nd soybean -corn-sunflower-wheat and S4: canola/2nd soybean -corn-sorghum-wheat) under two technological manipulations: average level (NTM: used by the average farmer) and high level (NTA used by the tip farmer), ii) evaluate Nitrogen (N), phosphorus (P), sulfur (S) and potassium (K) extraction and N and P balance, for each complete sequence. The trials were conducted at the Experimental J. Hirschhorn (Los Hor-

¹CIC.

²CIC, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

³Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales.

⁴Curso Edafología.

⁵Curso Cerealicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 60 y 119, CC 31 La Plata, Argentina. Correo electrónico: axelvoisin@hotmail.com

nos) dependent of Universidad Nacional de La Plata. The experimental design was in random blocks with four replicates and in divided plots. The Tukey test was used for the comparison of means ($P < 0.05$). Total biomass tended to generate higher volume in S2, which resulted in a higher total grain yield in that sequence (32212 kg ha⁻¹). The harvest date of the predecessor crop, such as the volume and/or quality of the stubble left, modified the successor's response. The greater contribution of nutrients in the NTA caused total biomass and yields to be higher with a difference of 4715 and 1865 kg ha⁻¹, respectively, increasing the nutrient extraction. The highest extractions of N occurred in S2 and S1, which in addition to their high yields, included soybean with the highest frequency, and in S4 with rape crop and S3. The highest phosphorus and sulfur extractions occurred at S4 followed by S2, S1 and S3. For the case of potassium the largest extractions were given in S2, followed by S4, S1 and S3. The N and P balances were negative for all cases analyzed. The levels of technology used in this work, which are usually carried out by the farmer in the area, are not enough to satisfy the extractive capacity of the crops. Therefore it is difficult to expect to find zero balances in it.

Keywords: balance, nutrient extraction, rotations, yields, sustainability.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la agricultura argentina se ha tornado cada vez más especializada y homogénea, con grandes superficies bajo siembra directa continua y alta presión del cultivo más rentable: soja (Andriulo *et al.*, 2004; Altieri y Pengue, 2006). Este cultivo representa aproximadamente el 50% del área sembrada en el país, y aporta un volumen cercano al 50% de la producción agrícola, planteando la dificultad para la realización de secuencias de cultivos ("rotaciones") que permitan no solo considerar la rentabilidad en el corto plazo, sino también tener en cuenta plazos mayores, que consideren la sustentabilidad del sistema (Ventimiglia y Carta, 2005).

Las rotaciones de cultivos correctamente realizadas incrementan los rendimientos, adicionan materia orgánica al suelo y mejoran su fertilidad. Forjan y Manso (2010) sostienen que el aporte de residuos vegetales es uno de los factores más importantes que influyen sobre el balance de la materia orgánica del suelo. La alta relación C/N de los rastrojos de cereales de invierno y verano determina una descomposición lenta y favorece la formación de materia orgánica estabilizada del suelo. Mientras que el crecimiento de sus raíces contribuye a mejorar la estructura del suelo, generan grietas y canales que, al mejorar la porosidad superficial del suelo, incrementan la velocidad de infiltración del agua y el intercambio de gases, y facilitan el desarrollo de raíces de otros cultivos. Además de favorecer las condiciones físicas mejoran las propiedades químicas y biológicas (Casas, 2006; Forjan y Manso, 2010).

A lo anterior debe agregarse que si los cultivos se realizan bajo siembra directa, se logra un mayor control de la erosión, disminuye la formación de costras superficiales (Bragachini *et al.*, 2015), mejora la captación de agua de lluvia y se reducen las pérdidas por evapotranspiración, incrementándose las posibilidades de obtener mayores respuestas a la fertilización (Maddoni *et al.*, 2003).

Resulta fundamental establecer una adecuada programación de la fertilización, insertándola en forma eficaz en la rotación y adecuando las dosis a los niveles de extracción producidos. Para ello, el conocimiento de los balances de macronutrientes en los principales cultivos es una herramienta fundamental. También resulta necesario considerar el cultivo antecesor, ya que puede determinar cambios en la dinámica de cada nutriente, modificando las respuestas a la fertilización. La situación ideal, partiendo de un suelo saludable, es un balance cercano a cero. Si el balance fuese negativo, resultaría en la degradación del suelo por una disminución de la fertilidad química asociada a la menor dotación de nutrientes (Abbona y Sarandón, 2014).

El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) es amplia, abarca varios partidos de la provincia de Buenos Aires, principalmente el de Magdalena. Trabajos recientes indican que alrededor del 40% de los suelos de Magdalena son aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011). Esto hace necesario la generación de información local, con el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales y sociales relacionados al monocultivo.

Los objetivos del trabajo fueron: evaluar la producción de biomasa y el rendimiento de las distintas secuencias de cultivos bajo dos manejos tecnológicos diferentes, y estimar la extracción de nutrientes y balance de N y P de cada secuencia completa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental J. Hirschhorn dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), sobre un suelo Argiudol típico, similar a la mayoría de los suelos agrícolas de Magdalena, se iniciaron en el año 2011

ensayos a campo en los que se comparan a largo plazo distintas secuencias de cultivos agrícolas de cuatro años de duración cada una: S1: trigo/soja 2.º –maíz–soja–trigo; S2: cebada/soja 2.º –maíz–soja–trigo; S3: avena/soja 2.º –maíz–girasol–trigo; S4: colza/soja 2.º –maíz–sorgo–trigo. Se entiende como soja de segunda (2º) a aquella sembrada inmediatamente después del cultivo de invierno que le antecede, sin mediar barbecho; el caso contrario, arriba denominado simplemente “soja”, también se conoce como soja de primera. Estas secuencias se manejaron bajo dos formas de producción: un nivel tecnológico medio (NTM), considerado como el que realiza el productor promedio de la zona, y un nivel tecnológico alto (NTA), que es aquel que utilizan los productores que habitualmente obtienen mayores rendimientos en sus cosechas. Ambos manejos fueron conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales.

El diseño experimental se realizó en bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas, correspondiendo la parcela principal a la secuencia de cultivos y la subparcela al manejo tecnológico. La superficie de cada

parcela principal fue de 22 m². La producción de biomasa y el rendimiento en grano de cada cultivo se obtuvieron a partir del corte de las plantas a ras del suelo en una superficie de 0,6 m² para los cultivos de invierno, 1 m² en soja de primera y segunda, 7 m² para maíz, 7 m² en sorgo y 1,35 m² girasol, calculándose posteriormente la biomasa y rendimiento en grano totales para cada secuencia completa.

A partir de una búsqueda bibliográfica referida a la extracción de nutrientes en granos (Ciampitti y García, 2009), se calcularon las cantidades promedio de nutrientes (nitrógeno: N, fósforo: P, potasio: K y azufre: S) exportados por los cultivos en forma individual y por cada secuencia completa, a partir de sus rendimientos. Las entradas de nutrientes son las correspondientes a los fertilizantes y a la fijación biológica de N en la soja. Se calculó el balance de N y P a partir de las dosis de fertilizantes empleados para cada secuencia completa (cuatro años), con el propósito de establecer el nivel de reposición que se alcanzó en cada secuencia. Para la soja se consideró una fijación biológica de N estimada en 40% (González, 2002).

Cultivos	Cereales de invierno	Colza	Soja de segunda	Maíz	Soja de primera	Girasol	Sorgo	Trigo
Fecha de siembra	8/7/2011	24/5/2011	*(1)	26/10/2012	19/11/2013	4/11/2014	13/11/2013	5/7/2014
Densidad	300 pl/m²	100 pl/m²	50 pl/m²	8 pl/m²	40 pl/m²	5,7 pl/m²	14 semillas/m lineal	300 pl/m²
Material genético	- Trigo Buck Meteor - Cebada Scarlett - Avena Bonaerense INTA Calén	Híbrido Hyola 571	*(2)	DM 2741 MG RR2	NTM: DM 5.1 NTA: DM 4210	Paraíso 22	Híbrido AD64	Buck Meteor
Tratamientos fitosanitarios	Herbicida Misil II 0,1 l/ha (p.a: Dicamba, Metsulfuron M)	Herbicida Misil II 0,1 l/ha (p.a: Dicamba, Metsulfuron M)	- Glifosato - Cipermetrina 100 cm³/ha + endosulfan 0,7l/ha - Cipermetrina 100 cm³/ha + dimetoato 1,6l/ha	Glifosato 1,5 l/ha en presiembra	- Barbecho: Glifosato 2 l/ha + 2,4 D 0,5 l/ha - Glifosato 2,5l/ha - Endosulfan 0,7l/ha + Lambdacialotrina 150 cm³/ha	- Barbecho: Glifosato 2 l/ha + 2,4 D 0,5 l/ha - Fluorocloridona 1 l/ha + Glifosato 2 l/ha	- Barbecho: Glifosato 2l/ha +2,4 D 0,5 l/ha - Pre-siembra: glifosato 2 l/ha - Pre-emergencia: Atrazina 2 l/ha + propaclor 2 l/ha	No fue necesario

*(1) Siembra de soja el 14/11/2011 para el antecesor colza, 2/12 para el de cebada, 13/12 para el de avena y 16/12 para el antecesor trigo
*(2) DM4970 para antecesor trigo y avena; DM4210 para el antecesor cebada y para el caso de la colza se usó DM3810 para NTA y DM4210 para NTM.

Tabla 1. Manejo de los cultivos

Año	Cultivos	Fertilizantes (kg/ha)				
		Tipo	Grado equivalente	Base*	NTM	NTA
1	Cereales invierno	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	140
	Colza	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	120
		Fosfato monoamónico enriquecido en azufre	11-34-00-9S			100
Soja segunda	Niebla (foliar)**	9-6-00-5,5S			6	
2	Maíz	Superfosfato triple	00-46-00	80		
		Urea	46-00-00		100	140
3	Soja primera	Start fert (foliar)***	8,9-1,6-3,7-1,1S			1
	Girasol	Fosfato diamónico	18-46-00			60
		Urea	46-00-00			50
	Sorgo	Urea	46-00-00			50
4	Trigo	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	140

*Fertilización de base: aplicada en todas las parcelas de ambos niveles tecnológicos.

** Composición: 09-2,6-00, 5,5% de azufre

*** Composición: N total: 8,9%, P asimilable: 1,6%, K soluble en agua: 3,7%, Ca: 0,3%, Mg: 0,3%, Fe: 0,8%, Mn: 0,2%, Zn: 0,2%, Cu: 0,2%, SO₄= 1,1%, B: 0,2%, Mo: 0,06%, Extracto húmico total: 15,7%, Ácidos húmicos: 0,8%, Ácidos fúlvicos: 14,9%

Tabla 2. Manejo de la fertilización.

Los datos obtenidos se procesaron por el análisis de la varianza. Se analizaron los factores principales y sus interacciones para todas las variables consideradas. Respecto a estas últimas, nunca resultaron significativas a excepción para el balance de fósforo. Se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($P < 0,05$). Se utilizó el programa estadístico InfoStat, 2010.

El manejo de los cultivos y los detalles del manejo de la fertilización se muestran en las tablas 1 y 2.

RESULTADOS

La biomasa total no presentó diferencias estadísticamente significativas entre secuencias, tendiendo a ser mayor en la S2, siguiendo en orden decreciente S1, S4 y S3 (figura 1). En todas se destacó el aporte realizado por el cultivo de maíz y los cereales de invierno del primer año (figura 1). Sí hubo diferencias significativas entre los dos niveles de tecnología utilizados, presentando el NTA mayor biomasa (72750 kg ha^{-1}) que el NTM (68035 kg ha^{-1}) en respuesta a la mayor fertilización.

En la figura 2 pueden observarse los rendimientos totales de cada secuencia y a su vez el aporte por cada cultivo. El rendimiento total en grano (kg ha^{-1}) fue superior en la S2, que se diferenció significativamente de las restantes secuencias, aunque no existieron diferencias entre estas últimas. En las cuatro secuencias, el mayor aporte estuvo

dado por el cultivo de maíz. En S1 se destacó el aporte que realizó el trigo en el primer año y la soja de primera. En S2 el aporte de la cebada y la soja de primera hicieron que esta secuencia fuera la de mayor rendimiento. En la S3 el bajo aporte en grano del cultivo de girasol, al igual que el de la colza en la S4, hizo que estas secuencias fueran las de menores rendimientos. El rendimiento en grano según los dos niveles tecnológicos evaluados arrojó diferencias significativas, siendo en NTA mayor (29391 kg ha^{-1}) que el NTM (27526 kg ha^{-1}), con una diferencia de 1865 kg ha^{-1} . Como se indicó más arriba, no hubo interacciones entre secuencias y niveles tecnológicos.

En las cuatro secuencias los mayores niveles de extracción se dieron para el nitrógeno seguido del potasio, fósforo y azufre. Se encontraron diferencias significativas para la extracción de nitrógeno entre las secuencias. S3 fue la que arrojó el menor valor de extracción, no hubo diferencias significativas en este parámetro entre las restantes (tabla 3). Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el caso del K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3 (tabla 3). Para los cuatro nutrientes, las mayores extracciones en valor absoluto se dieron en el NTA, pero solo se encontraron diferencias significativas en N y P (figura 3).

Para el balance de nitrógeno, se encontró efecto significativo de las secuencias de cultivo, siendo en todos los casos negativo. S3 fue la que obtuvo el valor menos negativo

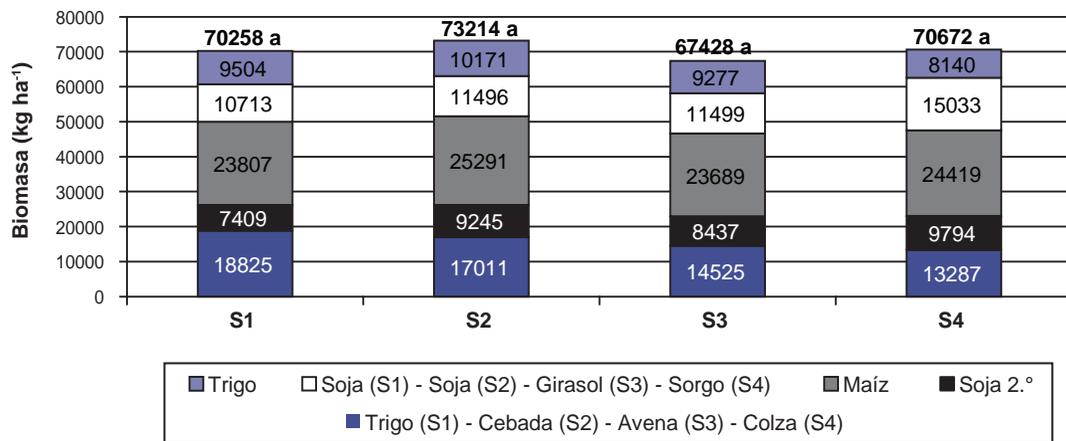


Figura 1. Biomasa total (kg ha⁻¹) para cuatro secuencias de cultivos y aporte de cada cultivo. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

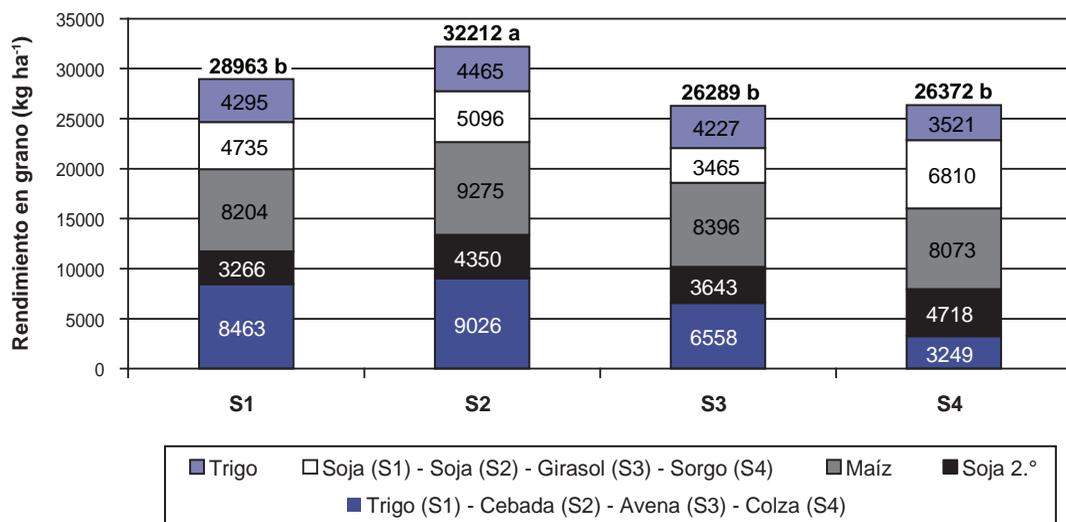


Figura 2. Rendimiento total en grano (kg ha⁻¹) para cuatro secuencias de cultivos y aporte de cada cultivo en el rendimiento. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

(figura 4). Según los niveles tecnológicos, el balance menos negativo de nitrógeno se dio para el tratamiento NTA (-351 kg ha⁻¹), siendo de -393 kg ha⁻¹, en el NTM, asociado al mayor aporte de nutrientes que se hizo con los fertilizantes en dicho manejo. Para el balance de fósforo, se encontró interacción significativa entre la secuencia y el nivel tecnológico empleado. Para el NTM no se encontró diferencia significativa entre secuencias, pero sí para el NTA donde, nuevamente, S3 fue la de mejor comportamiento (figura 5).

DISCUSIÓN

Biomasa y rendimiento

Si bien la biomasa total no presentó diferencias estadísticas significativas entre las distintas secuencias de cultivo, S2 mostró una tendencia a generar un mayor valor, presentando

a su vez un rendimiento en grano significativamente superior a las restantes. Asimismo, el mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa y los rendimientos fueran superiores con una diferencia de 1865 kg ha⁻¹ de grano, respecto al obtenido bajo el NTM. En general, los rendimientos obtenidos en todos los cultivos participantes de las diferentes secuencias fueron superiores a las medias nacionales.

Las fechas de cosecha de los cultivos antecesores modificaron el comportamiento del cultivo siguiente, cuando ellas no se realizaron simultáneamente. De hecho, en la soja de segunda, las plantas provenientes de siembras más tempranas crecieron aprovechando mejor el ambiente, sin excesos de temperaturas que aceleren las etapas de desarrollo, permitiéndoles capturar más recursos (radiación, agua, nitrógeno) y alcanzar mayor producción acorde a su potencial genético (Baigorri *et al.*, 2009). Por

Extracciones de N					Extracciones de P			
Año	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	153	135	131	123	30	27	20	36
	95	127	106	137	18	23	20	25
2	107	122	110	106	22	24	22	21
3	138	148	83	132	26	28	24	26
4	78	81	77	64	15	16	15	12
Total	571 a	613 a	507 b	563 a	110 bc	118 ab	101 c	121 a
Extracciones de K					Extracciones de S			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	30	45	20	91	13	18	12	23
	55	73	61	79	9	12	10	13
2	28	32	29	28	10	11	10	10
3	80	86	21	26	13	14	7	13
4	15	16	15	12	6	7	6	5
Total	208 b	252 a	146 c	237 a	52 b	63 a	46 c	64 a

S1: trigo/soja 2.º- maíz- soja- trigo; S2: cebada/soja 2.º- maíz- soja- trigo;
S3: avena/soja 2.º- maíz- girasol- trigo; S4: colza/soja 2.º - maíz- sorgo- trigo.

Tabla 3. Extracciones de nutrientes (N, P, K, S) en kg ha⁻¹ para cada secuencia y para cada cultivo. Medias con igual letra, para cada secuencia, no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

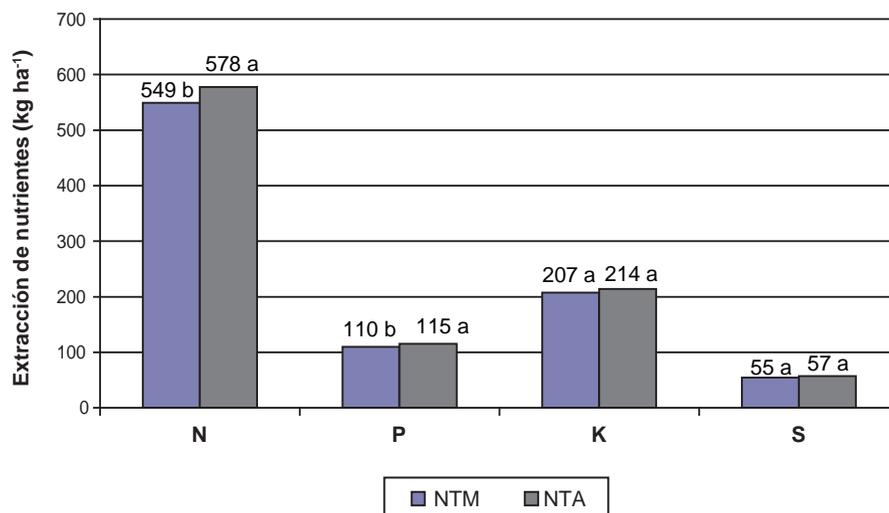


Figura 3. Extracciones de nutrientes en kg ha⁻¹ según el nivel tecnológico empleado: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con igual letra, para cada nutriente, no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

lo tanto, los mayores rendimientos de la soja de segunda se dieron cuando el antecesor fue colza, seguido de cebada, avena y trigo.

Asimismo, el volumen y la calidad del rastrojo dejado por el antecesor, en muchos casos, influyeron en el comportamiento del cultivo sucesor. Pellegrini *et al.* (2014) trabajando sobre el mismo ensayo, determinaron antes de la

siembra de maíz que las secuencias de cultivos no variaron significativamente en el volumen de rastrojos aportados. Sin embargo, estos autores encontraron diferencias estadísticas en el carbono orgánico particulado (que corresponde a la fracción más lábil de la materia orgánica), donde S3 y S2 aportaron los mayores resultados, 1,29 g kg⁻¹ y 1,17 g kg⁻¹ respectivamente, siguiendo en forma decreciente S1

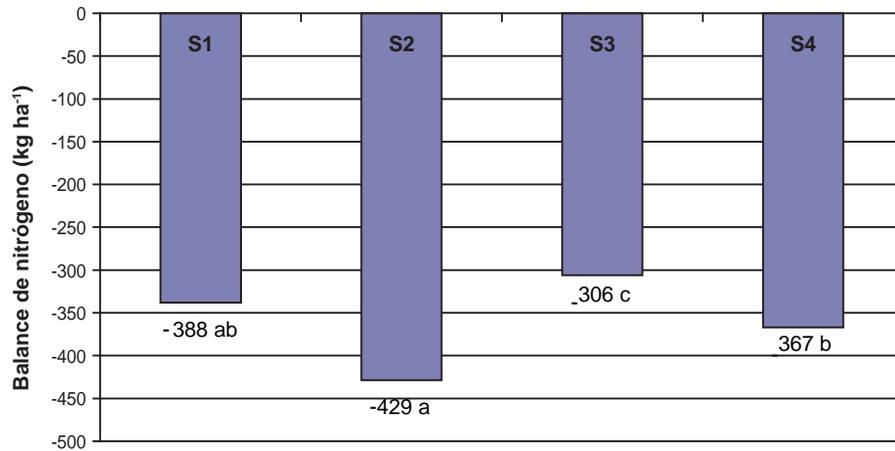


Figura 4. Balance de N en kg ha⁻¹ para cuatro secuencias de cultivos. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

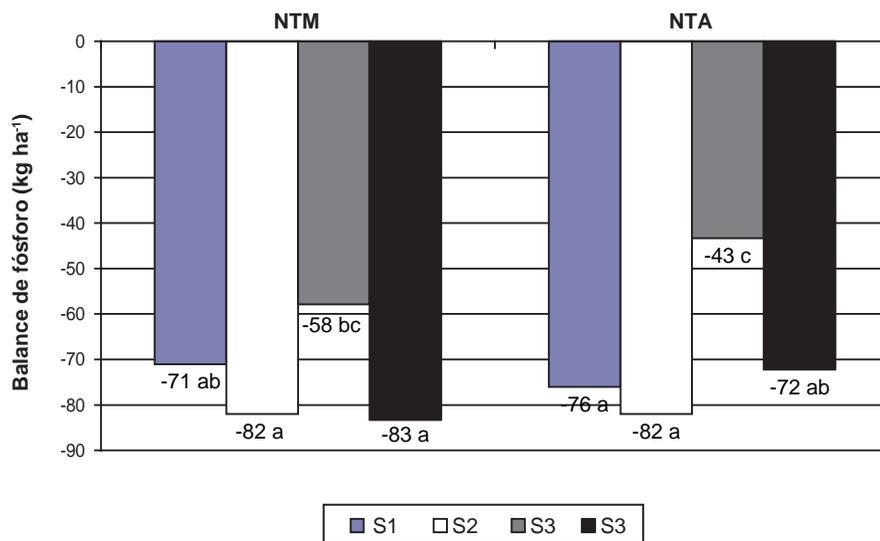


Figura 5. Balance de fósforo en kg ha⁻¹ para cuatro secuencias de cultivos bajo dos niveles tecnológicos: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

(1,11 g kg⁻¹) y S4 (1,0 g kg⁻¹). Este contenido superior de carbono orgánico particulado se asoció a su vez con los mayores rendimientos del maíz, lo que indicaría que la calidad de los rastrojos pudo favorecer el desarrollo del cultivo de maíz. El mismo tipo de respuesta se encontró para los cultivos de soja de primera (S1 y S2) que han tenido un buen comportamiento cuando el antecesor fue maíz. Por un lado, Bacigaluppo *et al.* (2009) encontraron una diferencia de un 10% en el rendimiento a favor de soja cuando se realizó en rotaciones con gramíneas, en relación con su producción como monocultivo. Por otro lado, la baja relación C/N de los rastrojos de soja hizo que se descompusieran rápidamente, aumentando la disponibilidad de nitrógeno para el desarrollo

del cultivo siguiente, lo que favoreció al trigo que siguió en la rotación. La relación C/N intermedia del girasol sumado al bajo aporte de rastrojos que realizó pudo aumentar la disponibilidad de nitrógeno, pero en menor medida que en S1 y S2. Contrariamente, la inmovilización microbiana de nitrógeno en S4, producida por el alto aporte de rastrojos del sorgo y su alta relación C/N, habría afectado la disponibilidad de este nutriente para el cultivo sucesor.

Extracción y balance de nutrientes

Las mayores extracciones de nutrientes se dieron en S2 y S1, que fueron las secuencias de mayores rendimientos

y mayor frecuencia de soja, cultivo que realiza una alta extracción de nutrientes por tonelada de grano (Ciampitti y García, 2009) y en S4 debido principalmente al cultivo de colza. S3 resultó la menos extractiva.

Los balances de N fueron deficitarios para las cuatro secuencias. El mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa total y los rendimientos fueran mayores, aumentando la extracción de nutrientes. Si bien el NTA aseguró un mayor nivel de reposición, sobre todo de N, en ambos niveles de tecnología el balance de nitrógeno fue negativo.

Para el balance de P, igual que para el caso anterior, las cuatro secuencias resultaron negativas. S1 y S2, que incluyeron dos veces a la soja, y S4 con el cultivo de colza, que requiere el doble de fósforo por tonelada de grano que la soja, 1,5 veces más fósforo que el girasol y entre 3 y 4 veces más que las gramíneas (Ciampitti y García, 2009) resultaron las secuencias con balances más negativos. De todos modos, para el balance de P se encontró interacción significativa entre las secuencias y el nivel tecnológico empleado, no habiendo diferencias en el comportamiento de las secuencias bajo el NTM, pero sí bajo el NTA. Esto indica que bajo el NTA la S3 presentó un mejor comportamiento.

Los balances negativos de nutrientes obtenidos concuerdan con los hallados por Flores y Sarandón (2002) durante la década de 1990 para los cultivos de trigo, maíz y soja en la región pampeana, donde el análisis costo beneficio, usualmente empleado por los productores no incluye el costo de degradación del capital natural del suelo, sobrestimando los beneficios de la actividad agrícola. Por lo tanto, este costo debería ser incluido a efectos de sustentar los sistemas agrícolas desde el punto de vista ecológico. Cruzate y Casas (2012) hallaron a escala nacional, que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 35% de lo extraído, con un 39% de reposición de N, 64% de P, 6% de K, 54% de Ca y 52% de S.

CONCLUSIONES

La fecha de cosecha del cultivo antecesor, como el volumen y la calidad de su rastrojo, modifican la respuesta del cultivo sucesor. Los mayores rendimientos de la soja de segunda se dieron cuando el antecesor se cosechó en forma temprana. A su vez, los rendimientos del maíz, de la soja de primera y del trigo del último año dependieron de la calidad del volumen del rastrojo del cultivo antecesor.

Las mayores extracciones de N se dieron en S2 y S1 que, además de ser las secuencias de mayor rendimiento, incluyeron a la soja con mayor frecuencia y en S4 con el cultivo de colza. Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3. Los balances de N y P resultaron negativos para todos los casos analizados.

Los niveles de tecnología empleados en el presente trabajo, que son los que habitualmente realiza el productor de la zona, no alcanzan para satisfacer la capacidad extractiva de los cultivos y por ello resulta difícil esperar encontrar balances nulos en esta.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBONA, E.A.; SARANDÓN, S.J. 2014. Manejo de nutrientes en los agroecosistemas. En: SARANDÓN, S.; FLORES, C. (ED.). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Editorial de la Universidad de La Plata. Argentina, pp 211-234. (Disponible: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280> consultado: marzo de 2015).
- ALTIERI, M.; PENGUE, W. 2006. La soja transgénica en América Latina. Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socioecológica. *Biodiversidad* 47:14-19.
- ANDRIULO, A.; SASAL, C.; PORTALA, S. 2004. Impacto ambiental de la agricultura 13 pampeana. *Revista de investigación y desarrollo agropecuario*. Cereales, Idia XXI 14 INTA, pp. 80.
- BACIGALUPPO, S.; BODRERO, M.; SALVAGIOTTI, F. 2009. Producción de soja en rotación vs. monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. *Soja 2009, para mejorar la producción*. EEA Oliveros – CR Santa Fe, pp. 53-55.
- BAIGORRI, H.; CIAMPITTI, I.; GARCÍA, F. 2009. Manejo del cultivo de soja. En: GARCÍA, F.O.; CIAMPITTI, I.A.; BAIGORRI, H.E. (Ed.). *Manual de manejo del cultivo de soja*. IPNI (International Plant Nutrition Institute), Buenos Aires, Argentina, pp. 17-32.
- BRAGACHINI, M.; VELEZ, J.P.; CASINI, C.; SANCHEZ, F. 2015. Siembra Directa. Un aporte a la productividad y sustentabilidad ambiental. *INTA Actualización Técnica N.º 89*, pp. 24.
- CASAS, R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. *Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Anales Tomo LX:37-58*.
- CRUZATE G.; CASAS, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas Hispanoamérica* 6: 21-26.
- CIAMPITTI, I.; GARCÍA, F. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Cereales, Oleaginosos e Industriales*. *Archivo Agronómico N.º 11 IPNI*, pp: 13-16.
- ETCHEGOYEN, J. 2011. Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de soja. Partido de Magdalena, Pcia de Buenos Aires. 1.ª aproximación. Trabajo final de Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, pp. 71.
- FLORES, C.C.; SARANDÓN, S.J. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agricultura en la región pampeana argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 105:52-67.
- FORJÁN, H.; MANSO, L. 2010. Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción. *Chacra Experimental Integrada Barrow, Convenio INTA – MAA Pcia. de Buenos Aires*, pp. 2.
- GONZÁLEZ, N. 2002. Nutrición nitrogenada del cultivo de la soja. Uso de inoculantes. *Actas de 19.ª Jornadas de Actuación Profesional*. INTA-FCA UNM del Plata-CIAM.
- MADDONNI, G.; RUIZ, R.; VILARIÑO, P.; GARCIA DE SALOMONE, I. 2003. Fertilización 5 en los cultivos para grano. *Capítulo 19. Producción de granos: Bases 6 funcionales para su manejo*. Editorial: Facultad de agronomía (UBA). pp. 501-557.
- PELLEGRINI, A.; CHAMORRO, A.; BEZUS, R.; GOLIK, S.; FRIAS CALVO, A. 2014. Efecto de las rotaciones con soja de segunda en La Plata. *xxiv Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas*. Bahía Blanca.
- VENTIMIGLIA, L.A.; CARTA, H.G. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *INPOFOS Cono Sur Informaciones Agronómicas* 28:23-25.

Producción y crecimiento de las plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. en la provincia Chaco

KEES, S.M.¹; FERRERE, P.²; LUPI, A.M.³; MICHELA, J.F.⁴; SKOKO, J.J.⁵

RESUMEN

En la provincia del Chaco existen actualmente cerca de 6000 ha de plantaciones con *Prosopis alba* Griseb “algarrobo blanco”, que no superan los 30 años de edad, ubicadas en diferentes calidades de sitio. Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar el comportamiento de las plantaciones con esta especie, a distintas edades y calidades de sitio y ajustar modelos no lineales para la predicción del diámetro sobre la edad. Se midieron 40 plantaciones, con edades de entre 4 y 23 años, ubicadas en 32 establecimientos y diferentes calidades de sitio, en las que se instalaron 126 parcelas de muestreo rectangulares de 1000 m². Se calculó para cada parcela: área basal (m².ha⁻¹); densidad (pl.ha⁻¹); volumen total (m³.ha⁻¹); diámetro normal medio (cm); diámetro medio de los árboles dominantes (cm); incremento medio anual del diámetro normal medio (cm.año⁻¹); incremento medio anual del diámetro medio dominante (cm.año⁻¹) y la calidad de sitio. En términos generales todas las edades presentan alta densidad, particularmente en las mejores calidades de sitio. Los incrementos en diámetro normal medio y diámetro medio de los árboles dominantes en las mejores calidades son mayores a la media general para la muestra y en general superiores a 1 cm.año⁻¹. Las variables medidas representan una expresión orientativa de la capacidad productiva de la especie en la zona de estudio. Es altamente recomendable seleccionar correctamente los sitios para plantar para lograr buenos resultados en términos de producción maderable. Los modelos Logístico y de Gompertz permiten estimar un turno tecnológico, con diámetros superiores a 30 cm a los 25 años de edad para los sitios de mejor calidad.

Palabras clave: calidad de sitio, modelos, parámetros dasométricos.

ABSTRACT

At present, in Chaco province, there are about 6000 ha plantations of Prosopis alba Griseb, “algarrobo blanco”, not exceeding 30 years of age, located in different site qualities. The purposes of this work were to typify the growth in this species plantations at different ages and site qualities, and to adjust non-linear models for age-based diameter projection. A total of 40 plantations were surveyed, with ages ranging between 4 and 23 years, located in 32 settings and different site qualities, where 126 rectangular sampling plots of 1000 m² were

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Sáenz Peña, Campo Anexo Estación Forestal Plaza, Lote IV, Colonia Santa Elena, (3536), Presidencia de la Plaza, Chaco. Correo electrónico: kees.sebastian@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Agencia Extensión Rural. (AER) 9 de Julio, Mitre 857, (6500), 9 de Julio, Buenos Aires. Correo electrónico: ferrere.paula@inta.gov.ar

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Instituto de Suelos, Castelar, Nicolás Repetto y de los Reseros s/n. (1686), Hurlingham, Buenos Aires. Correo electrónico: lupi.ana@inta.gov.ar

⁴Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero, Programa Cambio Rural II, Jujuy N° 850, (4200), Santiago del Estero. Correo electrónico: michela.julio@inta.gov.ar

⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Sáenz Peña, Programa cambio Rural II, Ruta 95 km 1108, (3700), Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco. Correo electrónico: juanjo_1980@hotmail.com

installed. For each plot, the estimations were as follows: basal area ($m^2 \cdot ha^{-1}$), density ($pl \cdot ha^{-1}$), total volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$), mean normal diameter (cm), mean diameter of dominant trees (cm), mean annual increase in mean normal diameter ($cm \cdot year^{-1}$), mean annual increase in dominant mean diameter ($cm \cdot year^{-1}$) and site quality. In general terms, all ages present high density, particularly in the highest quality sites. The increases in mean normal diameter and mean diameter of dominant trees in the highest quality sites are greater than the general average for the sample and generally greater than 1 in $cm \cdot year^{-1}$. The measured variables are indicative of the productive capacity of the species in the study area. It is highly recommended to correctly select the planting sites in order to achieve positive results in terms of timber production. The Logistic and Gompertz models allow us to estimate a technological shift, with diameters greater than 30 cm at 25 years of age for the best quality sites.

Keywords: site quality; Models; dasometric parameters.

INTRODUCCIÓN

El algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) crece naturalmente en la región Chaqueña oriental y en otras planicies subtropicales de Argentina, Uruguay, Paraguay, sur de Bolivia hasta el Perú (Burkart, 1976). Tiene un área de distribución geográfica muy amplia en la región central del país, y forma parte del grupo de maderas duras del bosque chaqueño (Burkart, 1952). Esta especie constituye un importante recurso forestal para ser utilizado en sistemas sustentables para mejorar las condiciones socioeconómicas en zonas áridas y semiáridas donde la desertificación no solo lleva al descenso productivo, sino directamente, a la desaparición de los recursos (Verga, 2000)

En estos últimos años también se ha valorado su empleo para la recuperación de suelos degradados por salinización (Ramírez y Torres, 1985; Valdora y Jaimez, 2000; Taleisnik y Lauenstein, 2011), ya sea con el establecimiento de plantaciones puras como en sistemas integrados como los sistemas silvopastoriles.

Según Perez *et al.* (2016), en general, la mayor parte de las forestaciones de *P. alba*, en el Parque Chaqueño de Argentina tienen una edad inferior a dos décadas. Particularmente en la provincia del Chaco la superficie forestada con la especie alcanza las 6000 hectáreas (Delvalle, 2006), de las cuales, según datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (2013), cerca de 3382 hectáreas se realizaron bajo el régimen de la ley 25.080 de promoción de bosques cultivados. Los mayores avances en el desarrollo de conocimiento y herramientas de manejo se dieron en el ámbito de la silvicultura de conducción. Delvalle (2006) ensayó la intensidad del raleo en Chaco; Pérez (2012) describió la técnica de raleo para Formosa; mientras que Ewens y Navall (2006) investigaron sobre densidad de plantación y tratamiento de poda en Santiago del Estero. Por su parte, Coronel de Renolfi *et al.* (2014) analizaron intensidades de raleo en Santiago del Estero. En Chaco, Atanasio (2014) analizó influencia de la poda en el crecimiento de las plantaciones, mientras que, Kees y Michela (2016) recomiendan concentrar el cre-

cimiento en los árboles dominantes, que son los que deberían alcanzar el turno.

Esto se debe a que el logro de individuos de grandes dimensiones es fundamental para el abastecimiento de la industria del aserrado y del mueble que se encuentra históricamente establecida en Chaco. Según Cuadra (2012), desde 1980 existen aserraderos y carpinterías abocadas fundamentalmente a la producción de muebles y artesanías de algarrobo en Machagai, aberturas en Quitillipi y productos varios en Presidencia de la Plaza, que abastecen la demanda regional y nacional.

Debido a la importancia económica y social del cultivo del algarrobo en la industria provincial y como generadora de ingresos para la provincia y la región, es necesario conocer el potencial productivo de los diferentes sitios en los que actualmente se desarrollan las plantaciones con esta especie.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) caracterizar el comportamiento de plantaciones de *Prosopis alba*, a diferentes edades y en diferentes calidades de sitio y 2) ajustar modelos no lineales para la predicción del diámetro basados en la edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de trabajo:

El área de estudio abarca 15 departamentos de la provincia del Chaco (figura 1).

El espacio chaqueño es una vasta cuenca sedimentaria, con una aparente uniformidad topográfica, que presenta una pendiente general de oeste a este que permite el lento desplazamiento de los cursos de agua y de las inundaciones por exceso de lluvias hacia los ríos Paraguay, Paraná, o hacia la cuenca del Salado. El elemento diferencial más acusado radica en los valores de precipitación y en los regímenes pluviométricos de oriente y occidente, ya que el Chaco oriental es más húmedo y recibe precipitaciones de

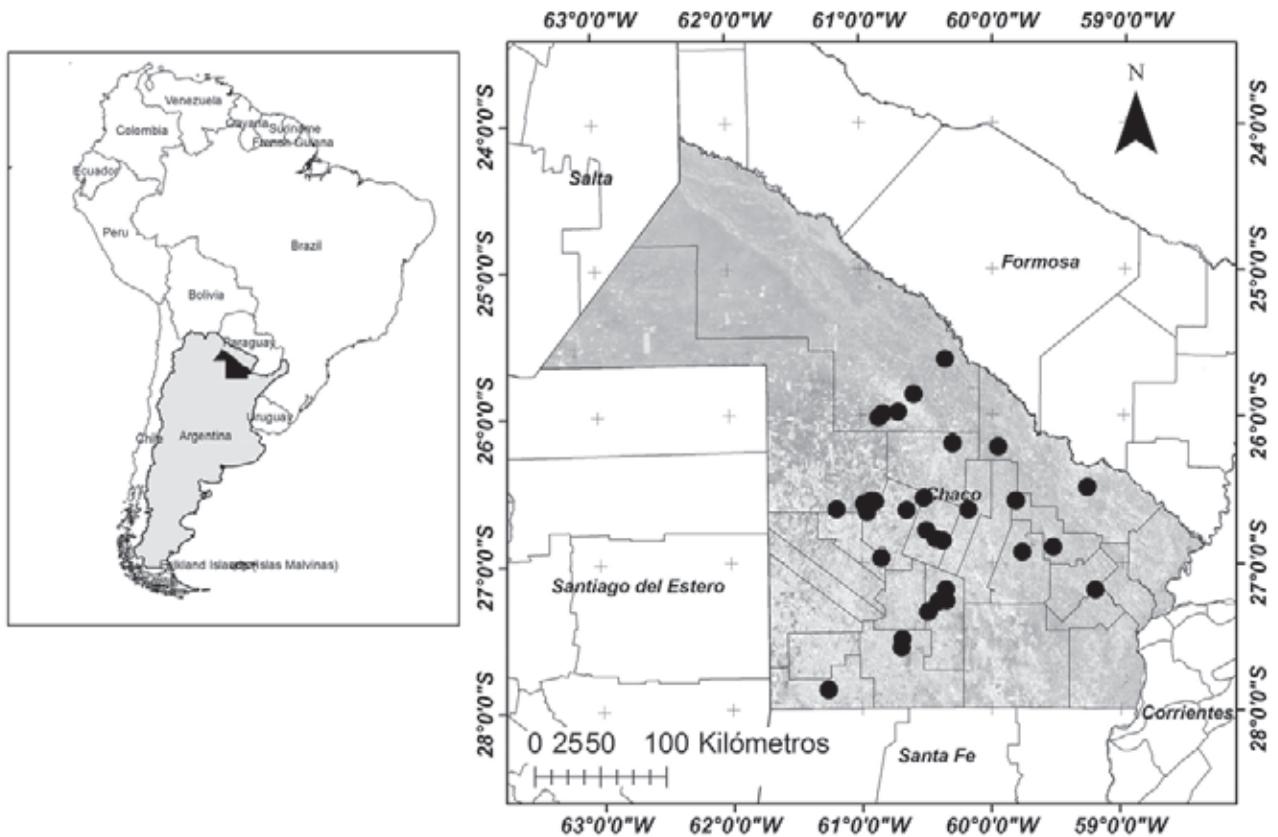


Figura 1. Ubicación de las parcelas en la provincia del Chaco.

1200 mm, que disminuyen hasta 800 mm en dirección al oeste. A su vez, el Chaco occidental es más seco y sus lluvias decrecen desde aquellos 800 mm hasta 500 mm, en igual dirección. Todo esto incide en la disponibilidad de agua que alimenta la red hídrica, en la diversificación de los suelos y en la vegetación que presenta, un bosque cerrado, un paisaje abierto de parques y sabanas y un horizonte de esteros y bañados enmarcados por selvas en galería (Bonfanti *et al.*, 2006).

Relevamiento forestal

Se trabajó en 40 plantaciones, con edades de entre 4 y 23 años, la mayor parte de ellas podadas, con densidades iniciales diferentes (1111 pl.ha⁻¹ a 400 pl.ha⁻¹), ubicadas en 32 predios y diferentes calidades de sitio, en las que se instalaron 126 parcelas de muestreo rectangulares de 1000 m² durante los años 2009 a 2017.

En cada parcela se midió, altura total en metros con clinómetro Suunto y diámetro normal en cm con cinta dendrométrica a todos los árboles presentes. Con estos datos se calculó para cada parcela: área basal: (G m².ha⁻¹), densidad: (N pl.ha⁻¹); volumen total: (V m³.ha⁻¹) utilizando un coeficiente de forma de 0,8 ajustado localmente sobre mediciones a campo en las plantaciones relevadas; diámetro normal

medio: (DN cm); diámetro promedio de los árboles dominantes: (DDOM cm); incremento medio anual del diámetro normal medio (IMADN cm.año⁻¹), incremento medio anual del diámetro medio dominante (IMADDOM cm.año⁻¹). Para la selección de los árboles dominantes de cada parcela se empleó el criterio propuesto por Assmann (1970). La calidad de sitio de cada parcela fue estimada a partir de las curvas de *Índice de sitio* estimadas por Kees *et al.* (2016).

Ajuste de modelos

Para el ajuste se agruparon las parcelas según su calidad de sitio. Se ajustaron cuatro modelos de predicción de diámetro medio dominante mediante regresión no lineal con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017), se consideró DDOM como variable dependiente, la edad (E) como variable independiente para cada calidad de sitio. Los modelos ajustados fueron:

- $DDOM = \frac{B0}{(1+B1 * exp(-B2 * E))}$ (Logístico)
- $DDOM = B0 * exp(-B1 * exp(-B2 * E))$ (Gompertz)
- $DDOM = B0 * (1 + B1 * exp(-B2 * E))^B3$ (Richards)
- $DDOM = B0 * exp(B1 * E)$ (Exponencial)

La selección del modelo con mejor comportamiento se basó en los siguientes criterios: 1) menor valor de Criterio de Información de Akaike (AIC), 2) el menor valor de Criterio de Información Bayesiano de Schwarz (BIC), 3) menor error cuadrático medio de predicción (ECMP) y 4) la simplicidad de cálculo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que el objetivo de las plantaciones es la producción de madera para aserrío, las densidades observadas fueron altas para todas las edades, particularmente en las mejores calidades de sitio (tabla 1) en comparación con lo observado por Delvalle (2006) para plantaciones de 10 años o más. Por ello, es probable que el crecimiento sea mayor si las plantaciones estuvieran sujetas a regímenes de manejo acordes a la calidad de sitio y al objetivo de producción.

Si bien el incremento medio anual tanto en DN como en DDOM en los sitios de mejor calidad es igual o superior a la media general para la muestra (DN:1,3; DDOM:1,7), hay valores que son menores como por ejemplo los que figuran a los 15 y 17 años en los sitios de muy buena calidad (tabla 2). Esto podría explicarse por la menor densidad observada en esos casos puntuales. Además se puede ver que, los valores en general resultan superiores a 1 cm.año⁻¹ lo cual muestra el buen desempeño de la especie frente a variaciones de sitio. Estos resultados son promisorios y concuerdan con los citados por Senilliani y Navall (2006) y Michela *et al.* (2015) para etapas juveniles de plantaciones con esta especie. Si consideramos el crecimiento de la

especie en ambientes de bosque nativo del Chaco árido, Juárez de Galindez *et al.*, (2005) indican valores inferiores a los de nuestro estudio para el periodo inicial, no obstante, dada la elevada densidad de las plantaciones, el crecimiento en diámetro de los árboles dominantes reflejaría con mayor aproximación la potencialidad de cada sitio y edad para estimar producciones maderables con destino a la industria del mueble.

Para el área basal y el volumen total, también se observó una marcada diferencia entre sitios (tabla 3), los mejores sitios prácticamente duplicaron los valores de las demás calidades, pudiendo superar incluso en sitios de muy buena calidad los valores citados por Senilliani y Navall (2006) como límite de densidad para el área de riego de Santiago del Estero. En las parcelas de 17 años, donde se tienen todas las clases de sitio representadas, el volumen en los sitios muy buenos fue el doble al de los sitios buenos y 4 veces superior al de los sitios regulares. A los 23 años el sitio bueno tuvo el doble de volumen que el regular; estos resultados refuerzan la idea de que es altamente recomendable que además de ubicar las plantaciones en las mejores estaciones o sitios también se debe manejar la densidad para lograr buenos resultados.

Modelos no lineales de diámetro – edad

Debido a que no se cuentan con datos en todas las calidades de sitio y edades, se decidió agrupar las clases “regular y mala en “regular” y las clases “bueno y muy bueno” en “bueno”. Los modelos Logístico y de Gompertz para ambas calidades de sitio mostraron los mejores ajustes te-

Edad	Densidad (pl.ha ⁻¹) / calidad de sitio				Promedio	Cantidad parcelas
	Muy buena	Buena	Regular	Mala		
4		323	330		326	5
5	533	379	277		351	9
6	480			280	380	2
7		393	450		421	2
8		368	397		372	8
9		320			320	1
10		478	1079		678	3
11			390		390	1
12		334	320		330	10
13		333	320	167	317	14
14	136	279	178	260	222	19
15	410	274	314	300	307	11
16	183	235	240	305	241	11
17	490	270	390	230	313	7
19		190			190	12
23		120	196		161	11
Promedio sitio	345	287	285	264	288	

Tabla 1. Valores medios de densidad según calidad de sitio y edad.

Edad	Incremento medio anual (cm) / calidad de sitio								DN	DDOM
	Muy buena		Buena		Regular		Mala			
	DN	DDOM	DN	DDOM	DN	DDOM	DN	DDOM		
4			1,8	2,4	1,7	2,3			1,8 ± 0,1	2,4 ± 0,1
5	2,2	2,9	1,9	2,3	1,6	2,0			1,8 ± 0,3	2,2 ± 0,3
6	2,2	2,9					1,1	1,4	1,7 ± 0,8	2,1 ± 1,1
7			1,5	2,3	1,1	1,8			1,3 ± 0,3	2,0 ± 0,3
8			1,4	1,8	1,3	1,8			1,4 ± 0,1	1,8 ± 0,1
9			1,7	2,2					1,7	2,2
10			1,2	1,6	1,3	1,7			1,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1
11					1,3	1,7			1,3	1,7
12			1,5	1,9	1,3	1,6			1,4 ± 0,2	1,8 ± 0,3
13			1,4	1,7	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3 ± 0,2	1,6 ± 0,2
14	1,7	1,9	1,3	1,7	1,4	1,6	1,1	1,3	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,2
15	1,3	1,8	1,4	1,7	1,1	1,4	0,8	1,1	1,2 ± 0,2	1,5 ± 0,3
16	1,6	1,8	1,4	1,6	1,2	1,5	1,1	1,5	1,3 ± 0,2	1,6 ± 0,2
17	1,0	1,6	1,3	1,6	0,9	1,2	0,9	1,1	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,2
19			1,2	1,3					1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1
23			1,2	1,4	1,0	1,1			1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2
Promedio sitio	1,7	2,1	1,4	1,7	1,3	1,6	1,0	1,3	1,3 ± 0,3	1,7 ± 0,4

Tabla 2. Incremento medio anual en diámetro según edad y calidad de sitio.

Edad	Calidad de sitio								x±s	
	Muy buena		Buena		Regular		Mala		Área basal (m ² *ha ⁻¹)	Vol. total (m ³ *ha ⁻¹)
	Área basal (m ² *ha ⁻¹)	Vol. total (m ³ *ha ⁻¹)	Área basal (m ² *ha ⁻¹)	Vol. total (m ³ *ha ⁻¹)	Área basal (m ² *ha ⁻¹)	Vol. total (m ³ *ha ⁻¹)	Área basal (m ² *ha ⁻¹)	Vol. total (m ³ *ha ⁻¹)		
4			1,46	3,6	1,33	3,2			1,41± 0,14	3,4± 0,4
5	8,25	28,8	3,53	10,1	1,38	3,4			3,10± 2,59	9,2± 9,1
6	6,97	27,6					1,02	2,2	4,00± 4,21	14,9± 17,9
7			5,10	17,6	4,10				4,60± 0,71	17,6± 3,4
8			4,07	14,4	4,00	13,3			4,06± 0,89	14,3± 3,3
9			8,03	32,0					8,03	32
10			9,10	41,4	5,62	21,5			7,94± 2,50	34,8± 13,5
11					7,73	28,0			7,73	28
12			8,89	41,8	9,84	37,2			9,17± 3,87	40,4± 18,7
13			8,14	39,3	7,48	32,1	2,73	8,5	7,57± 2,43	35,1± 14,1
14	8,69	52,0	8,02	39,8	5,62	24,3	6,38	21,7	6,83± 1,83	32,2± 11,3
15	32,50	199,7	13,37	64,7	8,11	32,7	7,13	26,2	12,15± 8,59	59,0± 53,2
16	11,58	63,0	13,34	66,9	8,29	37,1	9,28	34,5	9,99± 3,26	40,8± 21,7
17	19,76	124,1	11,00	55,3	7,86	28,8	6,31	20,2	11,13± 4,59	56,3± 34,6
19			6,47	34,6					6,47± 1,79	34,6± 10,6
23			11,15	63,2	5,15	26,7			7,88± 3,99	43,3± 24,9
x ± s	14,19±9,15	82,5±61,5	7,76±3,85	37,6±21,4	6,06±3,35	25,4±14,5	6,02±3,47	21,1±13,7	7,44± 4,45	34,4± 26,1

Referencias: x: media por edad; s: desvío estándar para cada edad

Tabla 3. Valores de área basal y volumen total según calidad de sitio y edad.

Calidad de sitio	Modelo	Coeficientes				AIC	BIC	ECMP
		B0	B1	B2	B3			
Buena	Logístico	32,81	4,14	0,17	-	373,58	382,90	7,48
	Gompertz	35,67	1,93	0,11	-	372,68	382,00	7,39
	Richards	39,64	-0,13	0,09	13,54	375,37	387,02	7,57
	Exponencial	11,57	0,05	-	-	392,32	399,31	9,70
Regular	Logístico	25,70	4,65	0,21	-	241,42	249,07	6,64
	Gompertz	26,54	2,15	0,16	-	241,52	249,17	7,15
	Richards	26,62	-0,13	0,15	15,24	243,54	253,10	6,80
	Exponencial	11,17	0,04	-	-	265,30	271,04	10,9

Tabla 4. Estadísticas y coeficientes de ajuste de los modelos.

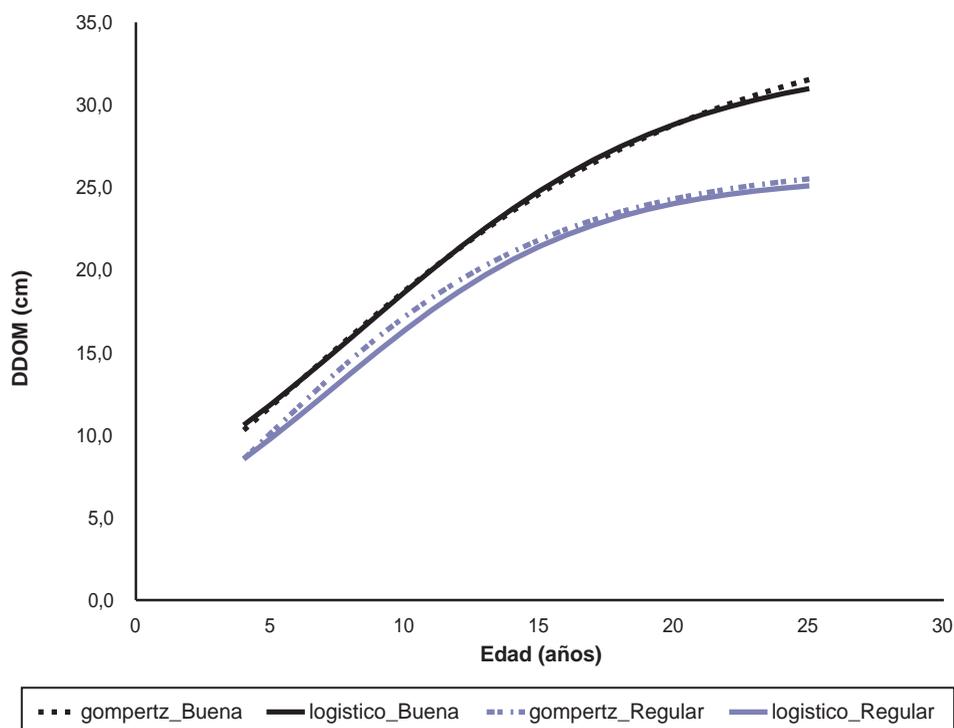


Figura 2. Gráfica de los modelos seleccionados para cada grupo de calidad de sitio.

niendo en cuenta los menores valores de ECMP, AIC, BIC y menor cantidad de variables (tabla 4), de esta forma, ambos pueden emplearse en la zona de estudio para estimar el diámetro de los ejemplares dominantes tomando como base la edad de la plantación y la calidad de sitio.

En la figura 2, se pueden observar las curvas de los modelos ajustados para cada grupo de calidad de sitio. En promedio, la brecha de crecimiento de DDOM a los 5 años es de 2 cm mientras que a los 23 años es de 6 cm aproximadamente.

En la figura 3 se observa que el ajuste fue superior en la calidad de sitio buena para ambos modelos seleccionados

en relación con la calidad de sitio regular; si bien en términos globales en la calidad de sitio regular se obtuvieron menores valores de ECMP, se observó una sobreestimación del DDOM a edades avanzadas.

Las estimaciones para calidades de sitio buenas permiten esperar diámetros superiores a los 30 cm en edades cercanas a los 25 años, similares a los estimados por Senilliani y Navall (2006) para el área de riego de Santiago del Estero y por Kees *et al.* (2014) para el centro oeste de la provincia del Chaco; dichos valores podrían ser superiores si además de la adecuada selección del sitio a plantar y

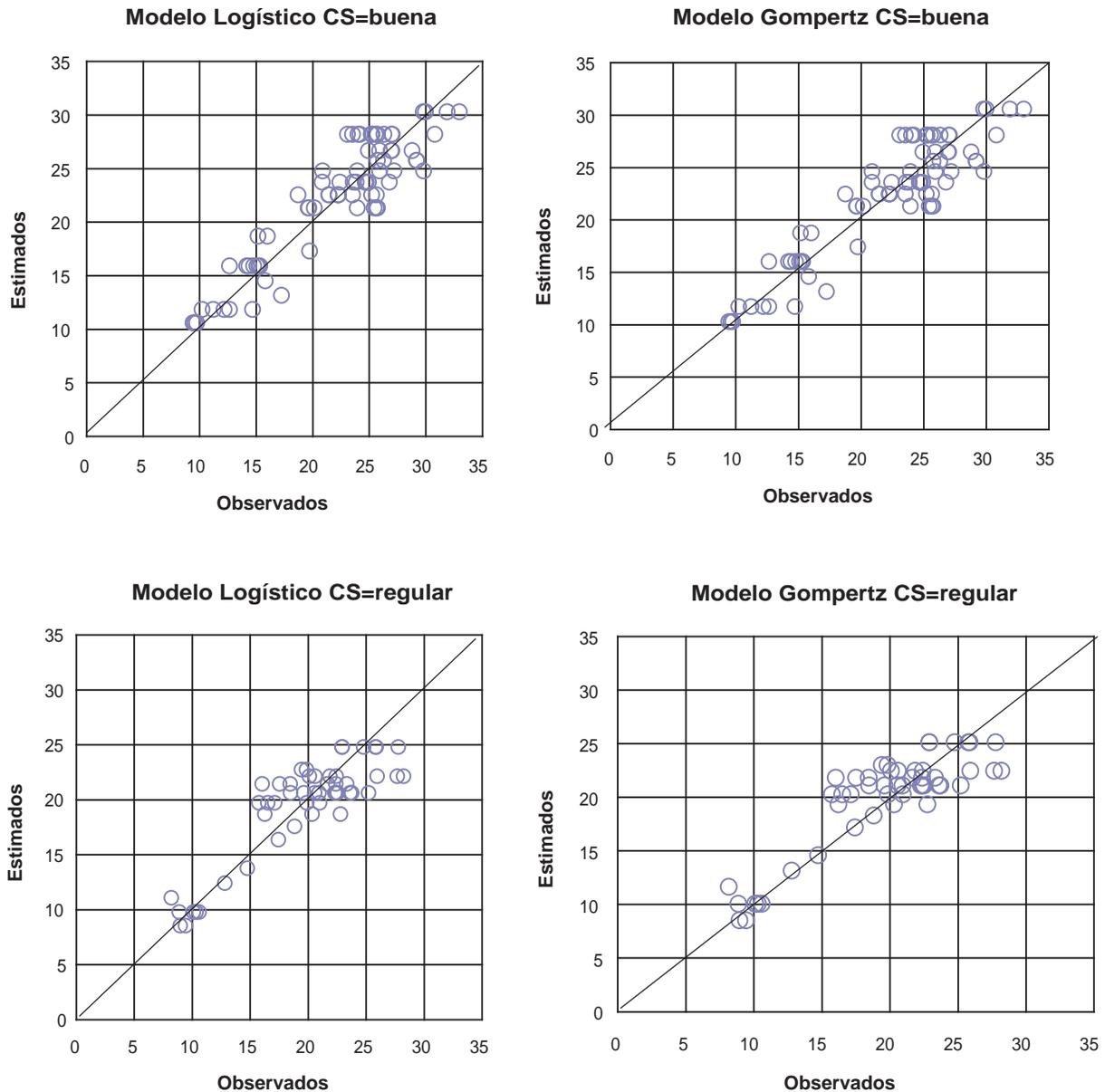


Figura 3. Valores de DDOM observados y estimados de los modelos seleccionados para ambos grupos de calidad de sitio.

manejo silvicultural, se incorpora material genético mejorado, de acuerdo con lo expresado por Felker *et al.* (2001), López *et al.*, (2001), Salto (2011) y Verga (2017).

Existe un alto potencial de mejora empleando calidad genética y un manejo orientado a la producción de madera de calidad que debe ser analizado en futuros trabajos.

CONCLUSIONES

Los valores de las variables medidas representan una expresión orientativa de la capacidad productiva de la especie en la zona de estudio.

Se recomienda seleccionar correctamente los sitios donde plantar y además manejar la densidad correctamente

para lograr buenos resultados en términos de producción maderable.

Los modelos Logístico y de Gompertz permitieron estimar un turno tecnológico, con diámetros superiores a 30 cm a los 25 años de edad para los sitios de mejor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

ASSMANN, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Oxford, UK, Pergamon Press. 506, pp. 24-26.

ATANASIO, M.A. 2014. Influencia de la poda en el crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. Quebracho (Santiago del Estero), 22(2), 66-78.

BONFANTI, F.; MERETZ, L.; MANOILOFF, R.; REY, W. 2006. El medio natural de la provincia del Chaco. Comunicaciones Cientí-

ficas y Tecnológicas 2006 Resumen: S-019, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes.

BURKART, A. 1952. Las Leguminosas Argentinas Silvestres y Cultivadas. 2.ª ed. Acme, Buenos Aires.

BURKART, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae, subfam. Mimosoideae). Journal of the Arnold Arboretum 57:217-525

CORONEL DE RENOLFI, M.; CARDONA, G.; MOGLIA, J.; GÓMEZ, A. 2014. Productividad y costos del raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. Una primera aproximación Agrociencia Uruguay. Agrociencia Uruguay vol.18 n.º 2.

CUADRA, D. 2012. La problemática forestal en la provincia del Chaco, Argentina. Un análisis desde la Geografía. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 9. N.º 18. Resistencia, Chaco.

DELVALLE, P. 2006. Raleos selectivos en forestación joven de algarrobo blanco *Prosopis alba* Griseb. II Jornadas Forestales de Santiago del Estero: "El árbol. Forestación y aprovechamiento integral del algarrobo". Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. (Disponle <http://fcf.unse.edu.ar/eventos/2-jornadas-forestales/pdfs/Raleos%20Selectivos%20en%20Forestacion%20Joven%20de%20Algarrobo%20Blanco.pdf> verificado: 17 de mayo de 2017).

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infostat.com.ar> verificado: 09 de mayo de 2017).

EWENS, M.; NAVALL, M. 2006. Silvicultura del algarrobo blanco. 2.º Jornadas Forestales de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales Santiago del Estero, Argentina. p. 7.

FELKER, P.; LOPEZ, C.; SOULIER, C.; OCHOA, J.; ABDALA, R.; EWENS, M. 2001. Genetic evaluation of *Prosopis alba* (algarrobo) in Argentina for cloning elite trees. Agrofor. Syst. 53:65-76.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS. 2013. Ministerio de la Producción. Gobierno de la Provincia del Chaco.

JUÁREZ DE GALINDEZ, M.; GIMÉNEZ, A.M.; RÍOS, N.; BALZARINI, M. 2005. Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales. (Disponible:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48101203> verificado: 16 de octubre de 2017).

MICHELA, J.F.; KEES, S.M.; SKOKO, J.J. 2015. Evaluación del crecimiento de plantaciones juveniles de algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) en el centro oeste del chaco argentino. Revista temas Agrarios. Volumen 20, pp. 11-20.

KEES, S.M.; MICHELA, J.F.; SKOKO, J.J.; GOMEZ, C.A.; CRECHI, E.H.; LETOURNEAU, F.J. 2016. Índice de Sitio para *Prosopis alba* en la Provincia del Chaco. Actas de los resúmenes de las XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.

KEES, S.; MICHELA, J.; SKOKO, J.J. 2014. Ajuste de funciones de crecimiento para la gestión sostenible de forestaciones con

Prosopis alba Griseb., en el centro oeste de la provincia del Chaco. Poster presentado en las xxviii Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. Entre Ríos.

KEES, S.M.; MICHELA, J.F. 2016. Recomendaciones prácticas de poda y raleo con diferentes horizontes de planificación en la provincia del Chaco. Informe técnico. (Disponible : https://inta.gov.ar/sites/default/files/recomendaciones_practicas_de_poda_y_raleo_0.pdf verificado: 02 de mayo de 2017).

LÓPEZ, C.; MALDONADO, A.; SALIM, V. 2001. "Variación genética de progenies de *Prosopis alba*". Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 10 (1).

MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P.; DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, M.; JUÁREZ-GARCÍA, A.; LÓPEZ-LÓPEZ, L.; DE-LA-CRUZ-ARIAS, V.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. 2015. Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. Revista fitotecnia mexicana, 38(4), 415-425. (Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400010&lng=es&tng=es verificado: 16 de octubre de 2017).

PÉREZ, V. 2012. Raleo en forestación de algarrobos. (Disponible: http://chaco-forestal.blogspot.com.ar/p/informacion-tecnica_20.html verificado: 18 de octubre de 2017).

PEREZ, V.; CAÑETE, M.; VICENTINI, G. 2016. Crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. en rodales con distintas densidades postraleo. xxx Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia.

PERPIÑAL, E.; BALZARINI, M.; CATALÁN, L.; PIETRARELLI, L.; KARLIN, U. 1995. Edad de culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* D.C. en el Chaco Árido Argentino. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 4(1) :45-55.

RAMÍREZ, M.H.; TORRES, R.J. 1985. Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales. Publicación Especial Instituto Nacional Investigaciones Forestales N.º (48). México. pp. 35-43.

SALTO, C.S. 2011. Variación Genética en progenies de polinización abierta de *Prosopis alba* Griseb. en la Región Chaqueña. Tesis de Maestría en Genética Vegetal área de mejoramiento genético UNR-INTA.

SENILLIANI, M.G.; NAVALL, M. 2006. Parámetros dasométricos de plantaciones de *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco) del área de riego de la Provincia de Santiago del Estero. 2.ª Jornadas Forestales de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, p.Santiago del Estero, Argentina. 6.

TALEISNIK, E.; LÓPEZ LAUNESTEIN, D. 2011. Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. Ecología Austral 21: 3-14

VALDORA, E.; JÁIMEZ, C. 2000. Propuesta de forestación con *Prosopis alba* en la región árida de Tucumán, Argentina. Multequina, 9: 155-160.

VERGA, A. 2000. Algarrobos como especies para forestación: una estrategia de mejoramiento SAGPyA Forestal 16: 12-19.

VERGA, A. 2017. Comunicación personal.

Efecto del rolado de baja intensidad (RBI) sobre la distribución radical de pastos y arbustos en un bosque del Chaco occidental

LEDESMA, R.¹; ELÍAS, A.²; KUNST, C.¹; NAVARRETE, V.¹; GODOY, J.¹

RESUMEN

El incremento de leñosas en detrimento de los pastos es un proceso muy común en la región chaqueña. El rolado de baja intensidad (RBI) es usado para incrementar la oferta forrajera de gramíneas, reducir la densidad y volumen de leñosas manteniendo la estructura arbórea. Los objetivos de este trabajo fueron: a) estudiar el efecto del RBI con siembra de *Megathirsus maximus* cv Gatton panic sobre la distribución de raíces de pastos y arbustos en un sitio "alto" con vegetación de bosque nativo, y b) probar la existencia del modelo de separación de nichos por exploración radicular, es decir, mayor densidad de raíces de gramíneas en el horizonte superior versus mayor densidad de raíces de arbustos en el horizonte inferior. Los tratamientos fueron: RBI y testigo (sin disturbar). El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental, INTA Santiago del Estero. En tres calicatas por tratamiento se contaron las raíces hasta profundidad = 1 m, diferenciándolas por tamaño y grupo funcional. Se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon usando el test de Duncan. La mayor cantidad de raíces de gramíneas se localizó hasta los primeros 50 cm aproximadamente, mientras que las raíces de arbustos se encontraron a lo largo de todo el perfil. La evidencia indica que el mecanismo de separación de nichos por exploración radicular no ocurre. El RBI incrementó la densidad de raíces de gramíneas, principalmente de *M. maximus*, en los horizontes superiores, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad. En el RBI hay una mayor densidad de plantas de *M. maximus*, comparada con los pastos del testigo. La densidad de raíces de arbustos fue mayor en el testigo. El RBI incrementó la densidad de raíces de menor tamaño de gramíneas. El RBI produjo una mejora de las condiciones físicas del suelo, lo que permitió el mayor desarrollo radical de *M. maximus* ejerciendo un efecto competitivo sobre las arbustivas.

Palabras clave: arbustos, Chaco semiárido, gramíneas, rolado de baja intensidad, raíces.

ABSTRACT

*Woody plant encroachment and the reduction of grass density is a common process in Chaco region. Low intensity rolling chopping (RBI) is used to increase grass standing crop, reduce the density and volume of woody species, maintaining the tree structure. The objectives of this work were a) to evaluate the effect of RBI plus seeding of *Megathirsus maximus* cv Gatton panic on the root distribution of grasses and shrub species, in a "highland" site with forest and b) to examine the existence of niche separation by root exploration mechanism,*

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero, Jujuy 850, Santiago del Estero, G4200CQR, Argentina. Correos electrónicos: ledesma.roxana@inta.gov.ar, kunst.carlos@inta.gov.ar

²Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Cátedra de Ecología, Av. Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero, Argentina.

it means high grass roots density in the top soil, versus high shrubs roots density in the subsoil. The study was conducted at the Experimental Station INTA Santiago del Estero, Argentina. Root density up to 1 m depth was assessed in three pits by treatment and differentiated by size and functional group, in four categories of soil depth. An analysis of variance was performed and root density means were compared using Duncan test. Most grass roots were located to 50 cm approximately, while the roots of shrubs were found along the entire soil profile. This evidence indicates that niche separation by root exploration mechanism not occurs. RBI increased grass roots density, mainly of *M. maximus*, at the soil upper layer. Its mean root density decreased with increasing depth. In RBI treatment, there are more *M. maximus* plants than in control. RBI increased the grasses fine roots density. Mean density of shrub roots was greater in the control than in the roller chopping. RBI improved the physical conditions of the soil, allowing a greater root density of *M. maximus*, and exerting a competitive effect over shrubs.

Keywords: grasses, rolling chopping, roots, semiarid Chaco, shrubs.

INTRODUCCIÓN

El aumento de densidad y cobertura de leñosas, en general arbustivas, a expensas de los pastos es un problema generalizado en regiones semiáridas del mundo y representa uno de los cambios más notables en su fisonomía y composición botánica (Graz 2008, Archer *et al.*, 2011). El incremento de áreas dominadas por leñosas en detrimento de las áreas dominadas por pastizales produce modificaciones en el paisaje, en la estructura de las comunidades vegetales, en la productividad de los pastos (Van Auken, 2009) y en la diversidad y funciones de los ecosistemas (Archer *et al.*, 2011).

El incremento de las leñosas puede ser ocasionado por diferentes causas: climáticas (Snyder y Tartowski, 2006) cambios en el régimen del fuego (Archer *et al.*, 2011) y pastoreo (De Knegt *et al.*, 2008). El sobrepastoreo modificaría la coexistencia de pastos y arbustos al influir negativamente sobre el desarrollo de los primeros. Al aumentar las áreas de suelo desnudo, las raíces de leñosas penetran de manera más profunda en el suelo capturando más recursos, especialmente el agua (Walter, 1971).

En la región chaqueña argentina, la acción del sobrepastoreo, sobretala y cambios en el régimen de fuego homogeneizó la vegetación convirtiéndola en una formación vegetal lignificada denominada localmente "fachinal" (Adámoli *et al.*, 1972). Actualmente, el tratamiento agronómico más empleado para modificar la estructura del fachinal y aumentar la aptitud ganadera es el "rolado" (Kunst *et al.*, 2008). El rolado consiste en el pasaje de un cilindro de metal con cuchillas y lastrado con agua (rolo), traccionado por tractor o topadora, que aplasta las arbustivas e incrementa la oferta de gramíneas tanto en pastizales semiáridos como húmedos (Watts *et al.*, 2006). En Argentina, existen antecedentes de rolados en el Caldenal-Monte Occidental (Aguilera y Steinaker, 2001; Adema *et al.*, 2004); en Los Llanos de La Rioja (Blanco *et al.*, 2013) y en Mendoza (Mora y Rosales 2014). En el Chaco occidental el rolado es generalmente acompañado con la siembra de pasturas subtropicales, como *Megathyrus maximus* (Jacq) B. K. Simon & S. W. L.

Jacobs var. *Maximus*. Cv Gattón (Kunst *et al.*, 2012). En esta región existe información sobre el impacto del rolado en su enfoque general sobre la dinámica del agua (Kunst *et al.*, 2003), la distribución de la radiación (Ledesma, 2006); la calidad biológica del suelo (Anríquez *et al.*, 2005); y sobre la dinámica de las arbustivas y productividad de las pasturas (Kunst *et al.*, 2012). La EEA INTA Santiago del Estero desarrolló el enfoque de rolado de baja intensidad (RBI) que emplea maquinaria de tamaño medio (rolo de ancho menor a 3 m y tractor de bajo porte vs. rolado tradicional: rolo de ancho 4 a 8 m con topadora). El RBI perturba al mínimo la vegetación presente para mantener los beneficios de las leñosas como sombra, aporte de mantillo y aporte de frutos (Kunst *et al.*, 2008). No existe referencia sobre el efecto del RBI en la distribución de las raíces de pastos y arbustos. Las raíces actúan como reservorio, sostén y son la principal fuente de ingreso del carbono orgánico dentro del suelo actuando sobre el ciclo de carbono y nutrientes (Russell, 1977). El estudio de la dinámica radical es laborioso, intensivo y demanda mucho tiempo, por lo que son escasos los trabajos realizados, especialmente en ambientes con leñosas (Maccinis *et al.*, 2010). Sin embargo, su estudio es uno de los caminos más importantes para entender la relación suelo-planta y planta-planta en un ecosistema (Escamilla, 1999) y su conocimiento constituye la base para las mejoras en los sistemas de manejo.

Este trabajo consistió en un estudio comparativo de la densidad de raíces de gramíneas y arbustivas en un sitio ecológico alto con vegetación de bosque bajo dos tratamientos: testigo y rolado con enfoque RBI.

Las hipótesis planteadas fueron:

1. El tratamiento RBI modifica la densidad de raíces. Se sabe que el RBI disminuye la cobertura de arbustos y permite el desarrollo de gramíneas (Kunst *et al.*, 2008). Este efecto observado en la parte aérea, también se replicaría a nivel subterráneo en la densidad radical por grupo funcional (gramíneas y arbustos).

- Los pastos presentan mayor densidad de raíces en el horizonte superior del suelo, mientras que las arbustivas presentan sus raíces a mayor profundidad, de acuerdo al mecanismo de separación de nichos (Walter, 1971). Una mayor densidad de raíces de pastos en el horizonte superior y de arbustivas en horizontes inferiores sería una evidencia que dichos grupos funcionales capturan recursos de nichos diferentes, implicando una partición de recursos en profundidad y un acceso casi exclusivo al agua y nutrientes de ambos nichos (Ward *et al.*, 2013).

En forma complementaria, se estudió el efecto del RBI sobre la densidad aparente del suelo debido a que influye significativamente sobre la calidad de suelos y la distribución de raíces (De Abade y Lal, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Francisco Cantos perteneciente a la EEA-INTA Santiago del Estero (28° 03' LS; 64° 15' LW; 169 m s.n.m.), en la subregión Chaco occidental. El clima es semiárido, la temperatura media anual es de 21 °C y el promedio anual de lluvias es 574 mm, entre noviembre y mayo. Los suelos se clasificaron como Haplustoles torriorténticos (Anríquez *et al.*, 2005). En la región chaqueña argentina, la vegetación nativa es un mosaico de bosques y sabanas y a una escala de 1:20.000, se distribuye a lo largo de una catena topográfica, desde el sitio ecológico alto hacia el bajo, pasando por el ecotono (Kunst *et al.*, 2012). El sitio alto presenta generalmente una fisonomía vegetal de bosque de dos quebrachos, la media loma o ecotono, un parque, y el bajo, una sabana.

Trabajo de campo

Se trabajó en un ensayo de RBI (rolado de baja intensidad), instalado en 2006, en un sitio ecológico alto con vegetación de bosque. Los tratamientos fueron: (a) RBI, con siembra de *M. maximum* cv Gatton panic y (b) Testigo, sin tratamiento mecánico ni siembra. El RBI modifica al mínimo la estructura arbórea, dejando en pie la mayoría de los individuos de DAP > 5 cm, y aplasta/corta arbustos para mejorar la accesibilidad al tránsito y al forraje, generando un sistema silvopastoril (Kunst *et al.*, 2008).

En forma previa al tratamiento, la distribución espacial de los árboles fue desagregada, con una densidad promedio de 210 árboles.ha⁻¹ y un área basal de 8.41 m².ha⁻¹ (Kunst *et al.*, 2008). Esta distribución y densidad fue respetada por el RBI. La densidad de arbustos se estimó en 3000 pl.ha⁻¹; las especies dominantes son *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm (tala), *Acacia gilliesii* Steud (garabato) y *Capparis atamisquea* Kuntze (atamisqui) (Kunst *et al.*, 2012). Inmediatamente después de aplicado el RBI, la densidad de *M. maximum* se estimó en 14 ± 5 plantas.m⁻², magnitud que había disminuido a 8 ± 4 plantas.m⁻² en el año del estudio (Kunst, datos sin publicar). No se observó germinación ni incremento en la densidad de pastos nativos.

Para el presente estudio se seleccionaron dos parcelas del ensayo principal, una con tratamiento RBI y un testigo, ambas sin pastoreo. En cada una de ellas se ubicaron al azar tres calicatas de 3 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de profundidad, siguiendo a Macinnis *et al.*, (2010). Estas se excavaron alejadas 2-3 m del fuste principal para evitar encontrar una raíz importante del árbol. Sobre una de las caras de cada calicata se colocó una malla de alambre cuadrículada (5 x 5 cm) (Knoop y Walker, 1985). Cada calicata se subdividió en 3 submuestras de 1 m² (1 x 1 m) y cada submuestra se dividió en cuatro clases de profundidad: 0-25 cm; 25,1-50 cm, 50,1-75 cm y 75,1-100 cm.

Identificación y clasificación de raíces

El trabajo de campo se realizó entre diciembre de 2014 y enero de 2015. Se contó el número de raíces expuestas en cada cuadrícula por submuestra y clase de profundidad, clasificándolas según las siguientes categorías (a) grupo funcional: arbustivo o gramíneo; y (b) tamaño: raicillas (diámetro < 0,1 cm), pequeñas (diámetro = 0,11 - 0,5 cm); medianas (diámetro = 0,51 a 1,5 cm) y grandes (diámetro > 1,51 cm). Los datos se expresaron en raíces.m⁻². Los sistemas radicales de los árboles no fueron considerados en este estudio. Hubo ausencia de latifoliadas herbáceas.

Densidad aparente

Para estudiar el efecto del RBI sobre la Dap, la misma fue determinada a tres profundidades: 0 a 0,05 m; 0,5 m y 1 m en las mismas calicatas. Las muestras se tomaron con un cilindro de volumen conocido, y la Dap se determinó por gravimetría (Klute, 1986).

Análisis estadístico e interpretación

La densidad de raíces se empleó como un indicador de su distribución en el perfil. Se realizó un análisis de la varianza empleando raíces.m⁻² como variable dependiente y como variables independientes: tratamiento, calicata, grupo funcional, profundidad, tamaño de raíces y sus respectivas interacciones. Se evaluó la interacción entre factores. Los datos fueron transformados a rangos. Se empleó el paquete estadístico InfoStat versión 2015 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

La Dap fue sometida a un ANOVA, con las variables independientes; tratamiento, profundidad y su interacción. Para interpretar el efecto del RBI sobre esta variable, se comparó la Dap media observada con un umbral crítico para penetración y acceso a nutrientes (Dap ≈ 1,40 g.cm⁻³) sugerido para suelos francos (Wilson *et al.*, 2013). Las medias fueron separadas mediante el test de Duncan, con un α = 0,05 para establecer significancia estadística.

RESULTADOS

Densidad de raíces

El factor de clasificación tamaño explicó el 37% de la variabilidad total de la densidad de raíces y grupo funcional,

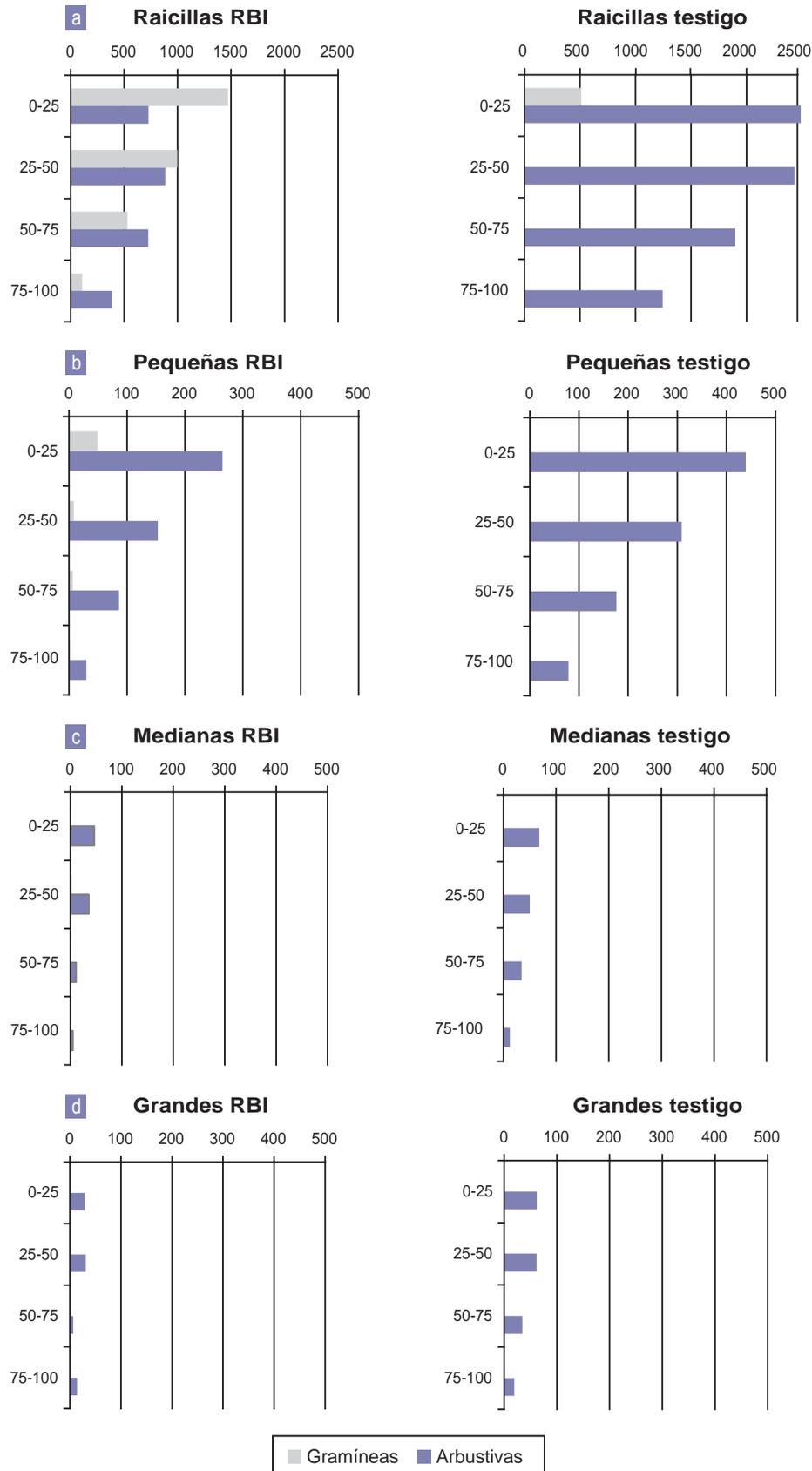


Figura 1. Densidad media de raíces de gramíneas y arbustivas (número.m⁻²) en dos tratamientos: RBI (rolado de baja intensidad) con siembra de *Megathirus maximus* cv. Gatton panic; y Testigo (bosque sin disturbar) para cuatro clases de profundidad de suelo. Campo Experimental Francisco Cantos, INTA EEA Santiago del Estero, sitio ecológico alto con vegetación de bosque de dos quebrachos. Referencias: Tamaño de raíces: (a) raicillas: diámetro < 0,1 cm; (b) pequeñas diámetro = 0,11 - 0,5 cm; (c) medianas, diámetro = 0,51 a 1,5 cm y d) grandes diámetro > 1,51 cm.

el 5% (ambos con $p < 0,001$). Entre los factores restantes se destacaron profundidad ($p < 0,001$; 2,7%) y las interacciones tratamiento*grupo funcional ($p < 0,0001$; 4,9%), tratamiento*tamaño de raíces ($p < 0,0043$; 1,3%) y tamaño de raíces*grupo funcional ($p < 0,0005$; 8,6%). Calicata no fue significativa. A continuación se hará foco en los factores de interés con efecto significativo (fig. 1).

Tratamiento. La densidad de raíces fue significativamente mayor en el testigo que en el RBI ($p = 0,0280$) (media \pm DE: 310 ± 711 vs. 207 ± 477 raíces.m⁻² respectivamente), englobando grupo funcional, tamaño y profundidad.

Grupo funcional. En términos absolutos, la densidad de raíces de arbustivas fue significativamente mayor que la de gramíneas, (media \pm DE: 401 ± 731 versus $115 \pm 402,07$ raíces.m⁻², respectivamente: $p < 0,0001$), englobando tratamiento, tamaño de raíces y profundidad de suelo (fig. 1). La densidad media de raíces de gramíneas fue mayor en el RBI y pertenecieron a *M. máximum*, mientras que en el testigo pertenecieron a los géneros *Trichloris*, *Setaria*, y *Gouinia*.

Tamaño de raíces. La densidad de raicillas (diámetro $< 0,1$ cm) fue significativamente mayor que las otras 3 categorías ($p < 0,0001$) (fig. 1).

Profundidad de suelo. La mayor densidad media de raíces (arbustivas + gramíneas), independiente del tamaño, se observó en los primeros 25 cm, y disminuyó a medida que aumentó la clase de profundidad (fig. 1). La reducción de la densidad media de raíces fue más evidente en las gramíneas. La densidad de raíces de arbustivas fue elevada hasta los 50-75 cm, y luego disminuyó.

Tratamiento*grupo funcional. La densidad de raíces de arbustos en el testigo fue mayor a la de gramíneas en todo

el perfil del suelo: $588,2 \pm 888$ raíces.m⁻² versus $32,47 \pm 135$ raíces.m⁻², respectivamente. En el testigo, la mayor densidad media de raíces de gramíneas nativas se observó en la clase 0-25 cm de profundidad, mientras que las raíces de arbustos se distribuyeron en todo el perfil evaluado. En el RBI, *M. máximum* fue dominante y sus raíces se extendieron hasta los 100 cm de profundidad y con una densidad apreciable.

Tratamiento*tamaño de raíces. La densidad de raicillas fue 775 ± 725 raíces.m⁻² en el rolado y 1064 ± 1100 raíces.m⁻² en el testigo, pero considerando ambos grupos funcionales en todo el perfil. En el testigo solo se cuantificaron raicillas de gramíneas nativas en la primera clase de profundidad, mientras que en el RBI se observaron además los otros tamaños hasta el metro de profundidad.

Grupo funcional*tamaño de raíces. En gramíneas no se observaron raíces con diámetro $> 1,51$ mm. Las raicillas de arbustos alcanzaron un valor medio de 681 ± 610 raíces.m⁻² en el RBI, versus 2016 ± 727 raíces.m⁻² en el testigo. La cantidad de raicillas disminuyó a medida que aumentó la profundidad (fig. 1).

Densidad aparente

Los valores de Dap observados oscilaron entre 1,03 y 1,47 g.cm⁻³. La Dap no fue influenciada por tratamiento ($p = 0,75$), pero sí por profundidad de suelo ($p < 0,0533$). No se observó diferencia significativa entre RBI y testigo ($1,21$ g.cm⁻³ versus $1,23$ g.cm⁻³, respectivamente). La mayor Dap media se observó a mayor profundidad (fig. 2). La Dap media no superó en ningún caso el umbral crítico propuesto para suelos francos.

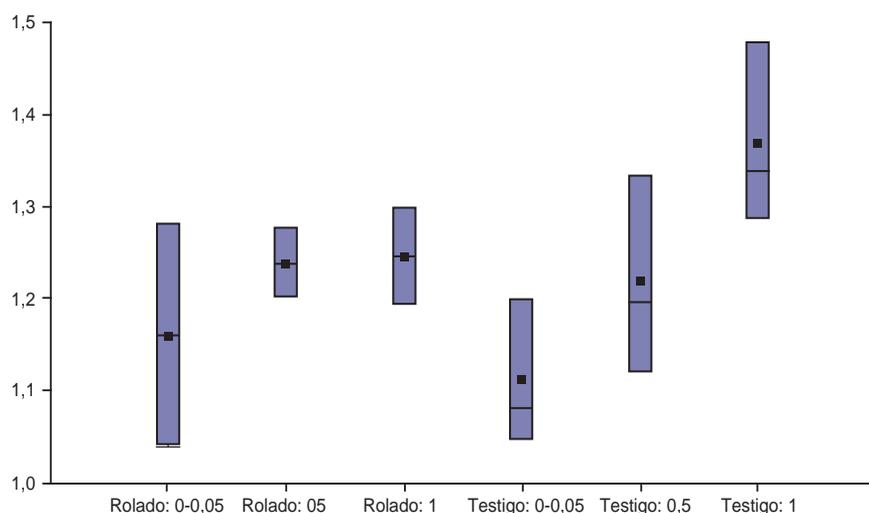


Figura 2. Densidad aparente promedio del suelo (Dap) por tratamientos RBI (rolado de baja intensidad) y Testigo a 3 clases de profundidad de suelo (0-0,05 m; 0,5 m y 1 m, respectivamente). Campo Experimental Francisco Cantos, INTA EEA Santiago del Estero, sitio ecológico alto con vegetación de bosque de dos quebrachos.

DISCUSIÓN

La primera hipótesis plantea que el tratamiento RBI con siembra de *M. maximum* modifica la densidad media de raíces. Esta hipótesis debe ser aceptada solo en el caso de raicillas. Las dos interacciones de interés en relación con esta hipótesis son tratamiento*grupo funcional y tratamiento*tamaño de raíces. El principal efecto del RBI fue la modificación en la proporción del tamaño y del grupo funcional al que pertenecían las raíces. Las raíces de arbustos disminuyeron en el RBI con respecto al testigo, y aumentaron las de pastos, especialmente las raicillas, presentando una mayor profundidad de exploración (fig. 1). Este incremento en la densidad media de raicillas de gramíneas observado en el RBI podría deberse a distintas razones, a saber:

- **Adaptaciones.** Las especies modifican sus estructuras para optimizar la captura de los recursos más limitantes, por ej. mayor cantidad de raíces finas cuando el suministro hídrico se agota (Wang *et al.*, 2016).
- **Competencia.** Al contrario de lo observado en el RBI, la densidad media de raíces de arbustivas en el testigo fue superior y se presentaron en todo el perfil. Este hecho podría ser una característica intrínseca del sitio ecológico alto, o podría deberse a que las arbustivas en este sitio compiten con las herbáceas y gramíneas nativas hasta el punto de reducir su densidad. Se observó una alta variabilidad de la densidad de raíces verticalmente, lo que sugiere una distribución heterogénea de recursos en el suelo (Mordelet *et al.*, 1997).
- **Cambios en la disponibilidad de recursos.** El RBI modifica localmente la dinámica del agua (Kunst *et al.*, 2003 y 2012), y por lo tanto el crecimiento de raicillas de ambos grupos vegetales. El RBI modifica la distribución de la radiación bajo la canopia de los árboles (Ledesma, 2006). *M. maximum* se adapta muy bien a la sombra y genera un sistema radical denso (Schroth, 1999), algunas gramíneas nativas pueden desarrollarse, pero lo hacen con un menor porte y un sistema radical menos abundante.

La segunda hipótesis planteada fue que en el RBI los pastos presentarían mayor densidad media de raíces en el horizonte superior. La evidencia recolectada en este estudio indica que esta hipótesis debe ser rechazada. La mayor densidad de raíces de gramíneas y arbustos se observó en ambos tratamientos en los primeros 25 cm, sugiriendo competencia por recursos, concordando con Mordelet *et al.* (1997), Kulmatiski *et al.* (2010) y February *et al.* (2013). Se debe tener en cuenta, sin embargo que la bibliografía no distingue entre árboles y arbustos.

La coexistencia pastos-leñosas en ecosistemas donde la precipitación es estacional y los pastos tienen un período de dormancia, como en la región chaqueña (Walker, 1981), podría ser explicada mediante el mecanismo de separación de nichos por exploración radical (Walter, 1971). Los pastos absorberían el agua de los horizontes superiores del suelo mientras que los arbustos captarían agua de ho-

rizontes más profundos, (Belsky *et al.*, 1997). Los pastos son competidores superiores frente a los arbustos en las capas superficiales del suelo, mientras que las leñosas lo son en las capas inferiores (Knoop y Walker, 1985). La distribución superficial de raíces observada en este estudio no presenta en primera instancia evidencia para sostener el modelo de separación de nichos. Sin embargo, Scheiter y Higgins (2007) indican que a pesar de que el mecanismo de separación de nichos no se dé en la realidad, aún es posible la coexistencia de pastos y leñosas.

La habilidad competitiva de las especies está correlacionada con la densidad de raíces, especialmente las finas, debido a que estas son un indicador de la ocupación del suelo (Casper y Jackson, 1997). La alta densidad total de raíces (arbustivas y gramíneas) en el horizonte superior del suelo en este estudio, y su disminución en profundidad, independientemente del tratamiento y factores de clasificación, coinciden con la información proporcionada por la bibliografía para los dos grupos funcionales y para distintos ecosistemas (Mordelet *et al.*, 1997, Makita *et al.*, 2011). Este resultado sugiere que los sistemas radiculares en el sitio ecológico alto en ambos grupos funcionales son superficiales, característica que estaría asociada a la ubicación espacial de la mayor disponibilidad de agua y nutrientes en esos ambientes.

La Dap es una propiedad del suelo considerada dinámica, debido a que puede ser afectada por el manejo. Los resultados obtenidos sugieren que el aplastamiento de las arbustivas mediante el RBI no modificó de manera significativa este atributo, aun después de un plazo considerable luego de la perturbación mecánica.

La alta varianza en la densidad de raíces observada en el presente estudio se atribuye a la presencia de sectores en los perfiles de suelo que no presentaban ninguna raíz, una característica intrínseca de este atributo vegetal. Ello sugiere una distribución heterogénea de nutrientes en el suelo (Wang *et al.*, 2016).

Las limitaciones de este experimento consisten en ser una "foto instantánea" de un proceso dinámico (February e Higgins, 2010) y también el escaso número de repeticiones por tratamiento, debido a la laboriosidad del muestreo. Su mérito es ser el primer estudio que se realiza sobre la distribución de raíces en un sitio alto con vegetación de bosque en la región chaqueña, tratado con RBI (perturbación) y sin tratar.

CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO

En este estudio el RBI permitió conservar la estructura arbórea y reducir la cobertura de arbustivas sin eliminar este último estrato. Se modificaron las proporciones de raíces de gramíneas y arbustos y el tamaño de estas, incorporándose al perfil del suelo raíces de la pastura *M. maximum* cv Gatton panic. El rolado sin la siembra de pasturas puede incrementar la oferta de gramíneas nativas, sin embargo esta respuesta generalmente no es importante en sitios ecológicos altos con vegetación de bosque. En este senti-

do, la implantación de *M. maximum* genera una cobertura del suelo e incrementa el espacio radical explorado.

El RBI modificó las proporciones de raíces de gramíneas y arbustos y el tamaño de estas en un sitio ecológico alto con bosque. En este estudio, la coexistencia pastos y arbustos no pudo explicarse mediante el mecanismo de separación de nichos por exploración radical. Las raíces de ambos grupos funcionales comparten el mismo espacio por lo tanto las prácticas culturales para aplicar deben procurar evitar las pérdidas del agua del sistema, conservando la cobertura y las demás funciones ecosistémicas. Además, en un sistema silvopastoril creado con un RBI, el manejo debe evitar el sobrepastoreo y favorecer la implantación correcta de las pasturas implantadas, de manera de poder desarrollar un denso sistema radical que le permita la absorción de agua y nutrientes, la competencia con los arbustos y el mayor aporte al stock de carbono al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la contribución de los Proyectos INTA: PNFOR: Interacciones ecológicas en sistemas silvopastoriles; PNPA-PE 1126074 “Desarrollo, Integración y Transferencia de Tecnologías para Manejo Sustentable de Servicios de la Vegetación Natural para Fines Ganaderos” y los proyectos regionales “Contribuciones al desarrollo integral del oeste de Santiago del Estero” y “Contribuciones al desarrollo integral del centro de Santiago del Estero”.

BIBLIOGRAFÍA

ADÁMOLI, J.; NEUMANN, R.; RATIER DE COLINA, A.; MORELLO, J. 1972. Chaco aluvional salteño. Revista de Investigaciones agropecuarias. INTA, Buenos Aires, Rep. Argentina Serie 3, Clima y Suelo, Vol. ix, N.º 5.

ADEMA, E.; BUSCHIAZZO, D.; BABINEC, F.; RUCCI, T.; GOMEZ HERMIDA, V. 2004. Mechanical control of shrubs in a semi-arid region of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. *Agricultural Water Management* 68 (2004) 185-194.

AGUILERA, M.; STEINAKER, D. 2001. Rolado y siembra en arbustales semiáridos de San Luis. En: PANIGATTI, J.; BUSCHIAZZO, D.; MARELLI, H. (Eds.). *Siembra Directa II*. INTA. pp. 289-302.

ANRIQUEZ, A.; ALBANESI, A.; KUNST, C.; LEDESMA, R.; LOPEZ, C.; RODRIGUEZ, A.; GODOY, J. 2005. Rolado de fachinales y calidad de suelos en el chaco occidental, Argentina. *Ciencia del suelo (Argentina)* 23 (2): 145-157.

ARCHER, S.; DAVIES, K.; FULBRIGHT, T.E.; MCDANIEL, K.; WILCOX, B.; PREDICK, K. 2011. Brush Management as a Rangeland Conservation Strategy: A Critical Evaluation. En: BRISKE, D.D. (Ed.). *Conservation Benefits of Rangeland Practices: assessment, recommendations, and knowledge gaps*. Unites States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, p. 429.

BLANCO, L.; NAMUR, P.; FERRANDO, C.; RETTORE, A.; NAMUR, P.; AVILA, R.; MOLINA, J.; ORIONTE, E. 2013. Evolución de la vegetación después del rolado y siembra de pastos nativos en La Rioja. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam* Vol. 22.

BELSKY, A. 1997. Tree grass ratios in East African savannas: a comparison of existing models. *Journal of biogeography*. 1990. 17,483-489.

CASPER, B.; JACKSON, R. 1997. Plant competition underground. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 545-570.

DE ABADÉ, V.; LAL, R. 2016. Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma* 265: 96-102.

DE KNEGT, H.; GROEN, T.A.; VAN DE VIJVER, C.; PRINS, H.H.; LANGEVELDE, F. 2008. Herbivores as architects of savannas: inducing and modifying spatial vegetation patterning. *Oikos* 117: 543554. doi: 10.1111/j.2008.0030-1299.16403.x

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDI, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

ESCAMILLA, B.J.A. 1999. Estudios de suelos y de ecosistemas vegetales. En: ORELLANA, R.; ESCAMILLA, B.J.A.; LARQUE SA-AVEDRA, A. (Eds.). *Ecofisiología Vegetal y Conservación de los Recursos Genéticos*. Centro de Investigación Científica Yucatán. Mérida. pp.121-123.

FEBRUARY, E.; HIGGINS, S. 2010. The distribution of tree and grass roots in savannas in relation to soil nitrogen and water. *South African Journal of Botany* 76: 517-523.

FEBRUARY, E.; COOK, G.; RICHARDS, A. 2013. Root dynamics influence tree-grass coexistence in an Australian savanna. *Austral Ecology* 38: 66-75.

GRAZ, F.P. 2008. The woody weed encroachment puzzle: gathering pieces- *Ecohydrology* 1: 340-348.

KLUTE, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. *Agronomy* 9, ASA, ASSA, inc, Publisher Madison, Wilconsin. EUA. p.1188.

KNOOP, W.T.; WALKER, B.H. 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern African savanna. *Journal of Ecology*, Vol. 73, N.º 1. pp. 235-253.

KULMATISKI, A.; BEARD, K.; VERWEIJ, R.; FEBRUARY, E. 2010. A depth-controlled tracer technique measures vertical, horizontal and temporal patterns of water use by trees and grasses in a subtropical savanna. *New Phytologist* 188: 199-209.

KUNST, C.; LEDESMA, R.; BASAN, M.; ANGELLA, G.; PRIETO, D.; GODOY, J. 2003. Rolado de fachinales e infiltración de agua en el suelo en el Chaco occidental argentino. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32: 105-122.

KUNST, C.; LEDESMA, R.; NAVALL, M. 2008. RBI: Rolado Selectivo de Baja Intensidad. Ediciones INTA, pp. 139.

KUNST, C.; LEDESMA, R.; ALBANESI, A.; ANRIQUEZ, A.; BRAVO, S.; GODOY, J. 2012. Disrupting woody steady states in the Chaco region (Argentina): Responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering*. 42: 42-53.

LEDESMA, R. 2006. Desarrollo de sistemas ganaderos: una alternativa de manejo en ecosistemas degradados del Chaco semiárido. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. Tesis de maestría. p.134.

MACINNIS, C.M.O.; FUENTES, S.; O'GRADY, A.P.; PALMER, A.R.; TAYLOR, D.; WHITLEY, R.J.; EAMUS, D. 2010. Root biomass distribution and soil properties of an open woodland on a duplex soil. *Plant and Soil*, 327(1-2), 377-388.

MAKITA, N.; HIRANO, Y.; MIZOGUCHI, T.; KOMINAMI, Y.; DANNOURA, M.; ISHII, H.; FINÉR, L.; KANAZAWA, Y. 2011. Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest. *Ecological Research* 26: 95-104.

- MORA, S.; ROSALES MERCADO, I. 2014. El rolado en Mendoza. Ediciones INTA. p. 42.
- MORDELET, P.; MENAUT, J.C.; MARIOTTI, A. 1997. Tree and grass rooting patterns in an African humid savanna. *Journal of Vegetation Science* 8: 65 Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest 70.
- RUSSELL, R. 1977. Plant roots systems; their function and interaction with the soil. McGraw – Hill Book Company, Londres, p. 298.
- SCHEITER, S.; HIGGINS, S. 2007. Partitioning of root and shoot competition and the stability of savannas. *The American Naturalist* 170: 587-601.
- SCHROTH, G. 1999. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems* 43: 5-34.
- SNYDER, K.; TARTOWSKY, S.L. 2006. Multi-scale temporal variation in water availability: Implications for vegetation dynamics in arid and semi-arid ecosystems. *Journal of Arid Environments* 65 (2006) 219-234.
- VAN AUKEN, O.W. 2009. Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management* 90, 2931-2942.
- WALKER, B.H.; LUDWIG, D.; HOLLING, C.S.; PETERMAN, R.M. 1981. Stability of semiarid savanna grazing systems. *Journal of Ecology* N.º 2, pp. 473-498.
- WALTER, H. 1971. Ecology of tropical and subtropical vegetation. En: WALKER, B.H.; LUDWIG, D.; HOLLING, C.S.; PETERMAN, R.M. (Ed.). Stability of semiarid savanna grazing systems. *Journal of Ecology*, Vol. 69. N.º 2, pp. 473-498.
- WANG, W.; WU, X.; HU, K.; LIU, J.; TAO, J. 2016. Understorey fine root mass and morphology in the litter and upper soil layers of three Chinese subtropical forests. *Plant and Soil* 406: 219-230.
- WARD, D.; WIEGAND, K.; GETZIN, S. 2013. Walter's two layer hypothesis revisited: back to the roots! *Oecologia* 172: 617-630.
- WILSON, M.; SASAL, M.; CAVIGLIA, O. 2013. Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat growth. *Geoderma* 192: 354-361.

Modelación productiva, económica y emisión de metano en sistemas de cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales

FERNÁNDEZ ROSSO, C.^{1,2}; LAURIC, A.³; DE LEO, G.A.³; BILOTTO, F.^{1,2}; TORRES CARBONELL, C.³; MACHADO, C.F.^{2,4}

RESUMEN

El objetivo de este estudio de simulación fue evaluar la respuesta productiva, económica, emisión de metano y el valor marginal del agregado de alimento extra (VMA) en diferentes sistemas la cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales. Se utilizó información regional y un modelo de simulación dinámico bioeconómico y ambiental (SIMUGAN) para evaluar cuatro planteos ganaderos basados en la incorporación tecnológica de pasturas perennes y prácticas de manejo como el tipo de destete: Tradicional (Trad), Transicional 1 (Trans1), Transicional 2 (Trans2) y Tecnificado (Tecn). El aumento en productividad se asoció positivamente con el margen bruto [$MB(\$/ha) = -1488,6 + 30,2 \times \text{producción de carne kg/ha/año}$, $R^2 0,99$] y con menor intensidad de emisión de metano [$IMC(\text{kgCH}_4\text{CO}_2\text{-e/kg peso vivo producido}) = 20,4 - 0,1 \times \text{producción de carne}$, $R^2 0,98$]. El VMA ($\$/\text{KgMS/ha}$), en calidad de indicador sistémico de oportunidades de suplementación estratégica, fueron mayores en los planteos Trad y Trans1 que en Trans2 y Tecn. En líneas generales, los distintos planteos simulados presentaron un mayor VMA durante las estaciones de invierno y primavera por sobre la distribución anual de alimento extra. El presente análisis integral permitió identificar y cuantificar oportunidades de mejora en la productividad de estos sistemas incorporando pasturas permanentes.

Palabras clave: bovino carne, pastura, tecnología.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the productive, economic, methane emissions performance and the marginal value of additional feed (MVF) for the different cow-calf systems from Bahía Blanca and Coronel Rosales. A dynamic "whole-farm" model (SIMUGAN) and regional data was used to evaluate four cow-calf system scenarios based on changes in pasture area and management policies as the weaning date: Traditional (Trad), Transitional 1 (Trans1), Transitional 2 (Trans2) and High Technology (HTech). The increase in productivity was positively associated with gross margin [$GM(\$/ha) = -1488.6 + 30.2 \times \text{beef production}$, $R^2 0.99$] and negatively associated with methane emission intensity [$IMC(\text{kgCH}_4\text{CO}_2\text{-e/kg live weight produced}) = 20.4 - 0.1 \times \text{production}$, $R^2 0.98$]. The MVF ($\$/\text{KgMS/ha}$) is a systemic indicator for strategic supplementation opportunities, and Trad and Trans1 achieved higher values than Trans2 and Tecn. Overall, the scenarios showed higher VMA when during winter and spring seasons, followed by the annual feeding. This global assessment showed positive opportunities for improving system productivity based on perennial pastures.

Keywords: beef cattle, pasture, technology.

¹Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA), CONICET, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CICBA). Correo electrónico: cfernandezrosso@gmail.com

²Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, (UNCPBA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Tandil, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Bordenave, Agencia de Extensión Rural (AER), Bahía Blanca, Coronel Rosales.

⁴Red Interinstitucional de Modelación Agropecuaria Buenos Aires Sur (MODASUR).

INTRODUCCIÓN

Los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales están ubicados en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Poseen una superficie total de 360 mil hectáreas y concentran 128 mil cabezas de bovino (MinAgro, 2015). El clima de la zona es semiárido, con una importante variación estacional e interanual de las precipitaciones. Ambos partidos cuentan con 402 explotaciones agropecuarias, donde la mayor proporción se encuentra en el rango de 200 a 800 ha (INDEC, 2000). Las explotaciones son predominantemente ganaderas con bajos niveles de adopción tecnológica (Torres Carbonell, 2014), donde se han estudiado modelos productivo-económico para identificar oportunidades de mejora (Gargano y Adúriz, 2000). Recientemente, Lauric *et al.* (2016) mencionaron que es importante el desarrollo permanente de tecnologías que permitan la estabilidad productiva, económica, ambiental y social de los sistemas a largo plazo, y en ese sentido es relevante poder cuantificar senderos tecnológicos de progreso sustentable desde las condiciones imperantes.

En el contexto del cambio climático, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es un tema de importancia a nivel internacional (Faverin *et al.*, 2014). El relevamiento nacional muestra que la agricultura y ganadería son los responsables del 27,8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. De estas últimas, el 41% de las emisiones corresponde a la ganadería, donde el metano entérico es la fuente de mayor peso en las emisiones vacunas con un valor mayor al 70% (SAyDS, 2015). La aplicación de tecnologías y prácticas de manejo que aumenten la productividad del sistema permiten mitigar emisiones de GEI por unidad de producto (Herrero *et al.*, 2016).

Los modelos de simulación a nivel productor (“*whole-farm*”) constituyen una herramienta de investigación de uso creciente que permite explorar preliminarmente impactos potenciales de diferentes tecnologías (Machado y Berger, 2012; Berger *et al.*, 2017). En línea con esta metodología, Moore *et al.* (2014), los destacan como herramientas indispensables para comprender y evaluar holísticamente los efectos específicos de distintas políticas y acciones de mitigación de GEI, a los que debe incorporarse factores de emisión locales cuando están disponibles (Bábaro *et al.*, 2008). En este trabajo se plantea la utilización de esta herramienta para el análisis de senderos tecnológicos centrados en aspectos productivos y económicos y la evaluación de oportunidades de mitigación de metano como el principal GEI (Crosson *et al.*, 2011).

El valor marginal del agregado de alimento extra (VMA) es un indicador económico que cuantifica el impacto del valor de un kg MS o MJ de energía metabolizable extra en la rentabilidad de un sistema de producción (Bell *et al.*, 2008). Esta metodología permite estudiar la capacidad de respuesta bioeconómica del sistema, y como tal se ha utilizado recientemente en sistemas de cría de la Cuenca del Salado (Berger *et al.*, 2017). El objetivo de este estudio de simulación fue evaluar la respuesta productiva, económica, emisión de metano entérico y fecal y el valor marginal del

agregado de alimento extra (VMA) en diferentes sistemas la cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en la parte sur de la provincia fitogeográfica del “Espinal”, y se la conoce como el “Caldén” o “Pampeano” y abarca los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales. El clima es semiárido con una temperatura media anual de 15,3 °C. La precipitación anual, que ocurre principalmente en otoño y primavera, varía de 350 a 550 mm (Gaur y Squires, 2017). Los suelos predominantes a nivel de orden son los Molisoles y los Entisoles (INTA, 2000; Mengistu, 2006).

En los sistemas productivos de cría vacuna de la zona se describen tres perfiles productivos (Lauric *et al.*, 2017), y por mayor representatividad se consideró en este estudio el sistema modal “Tradicional” (Trad) como modelo base y el “Tecnificado” (Tecn) acorde a lo reportado por (Lauric *et al.*, 2016). A estos sistemas reales extremos Trad y Tecn, se adicionaron dos sistemas artificiales denominados “Transicional 1” (Trans1) y “Transicional 2” (Trans2) a los fines de construir y evaluar un posible sendero de adopción tecnológica (Wilson, 2008). Los cuatro planteos definidos difieren entre sí principalmente en la oferta forrajera (tipo de recurso y ocupación del suelo), y manejo de los animales que incluyen la fecha de destete y el manejo diferencial de recursos para las categorías y la carga animal, bajo la forma de 4 sistemas diferentes (tabla 1).

Se utilizó el modelo de simulación “*whole-farm*” SIMUGAN (Machado *et al.*, 2010). Es un modelo biofísico, web, dinámico diario, basado en criterios/reglas de manejo, y basado en computación distribuida para un mayor poder de cálculo (Arroqui *et al.*, 2015). Está orientado a establecimientos ganaderos de cría, recría y ciclo completo vacuno y provee resultados reproductivos, productivos, económicos, y de producción de metano entérico y fecal. Los indicadores de eficiencia utilizados fueron: porcentaje de preñez (% preñez), porcentaje de destete (% destete) tal como los utilizados por Berger *et al.* (2017). Adicionalmente se calculó la producción de carne total anual (kg peso vivo/ha/año), producción de kg de ternero/as (kg ternero/as/ha/año) y la eficiencia de stock (%). La eficiencia económica se calculó con el margen bruto (MB,\$/ha/año) definido por la diferencia entre ingresos netos y los costos directos (AACREA, 1990) utilizando la información de precios de la revista Márgenes Agropecuarios (Arbolave, 2017). La emisión de metano entérico y fecal (CH₄) se estimó con las ecuaciones Tier 2 (IPCC, 2006) expresándose como intensidad de emisiones de metano (IMC, kgCH₄CO₂e/kg peso vivo producido) acorde con reportes internacionales (Gerber *et al.*, 2013) a la que se adicionó la emisión de metano total (EM, kgCH₄CO₂e/ha). Las emisiones de CH₄ por kg vivo se convirtieron a kg de res con un rendimiento de 57% (Garriz, 2012). Finalmente, se estimaron las regresiones lineales entre la producción de carne con el MB, y la producción de carne con IMC.

Para la construcción de los planteos a simular se trabajó con la superficie modal de 504 hectáreas efectivas ganaderas sobre la que se plantearon alternativas acordes con los objetivos del presente trabajo. El rodeo de base era de 180 vacas (entre 3 y 10 años), 7 toros (4%) y las vaquillonas de reposición. El servicio estacionado se realizó entre el 1 de noviembre y el 31 de enero. El tacto fue en abril, momento en el cual se venden las vacas vacías como vaca descarte. Al destete (fecha variable para cada planteo, ver tabla 1) se venden todos los terneros, excepto el % de retención de hembras que ingresarán a servicio a los 27 meses de

edad para todos los escenarios. Los terneros destetados precozmente en el planteo Tecn, se mantienen en el campo y se suplementan al 2% del peso vivo hasta alcanzar los 210 kg peso vivo para venta. La carga global de los diferentes planteos fueron 0,6; 0,56; 0,51 y 0,5 EV/ha para Trad, Trans1, Trans2 y Tecn, respectivamente. Se asumió un rodeo sin problemas sanitarios y una persona con dedicación completa para todos los escenarios.

La producción de forraje promedio anual y por estación (promedio ± error estándar), y las digestibilidades para cada recurso forrajero se muestran en tabla 2 (Torres Carbonell, 2014).

	Tradicional	Transicional 1	Transicional 2	Tecnificado
Vacas entoradas (n.º)	225	225	211	211
Reposición de Vaquillonas (%)	20	20	15	15
Destete (meses)	Tradicional (6-8)	Anticipado (4-6)	Anticipado (4-6)	Precoz (2-4)
Uso de la tierra (%/superficie)				
Campo natural <i>Stipa sp.</i>	59	43	26	10
Pasto llorón <i>E. cúrvara</i>	0	10,5	21,5	32
Agropiro <i>T. ponticum</i>	0	10,5	21,5	32
Sorgo <i>Sorghum spp</i>	13	11	10	8
Avena <i>Avena sp</i>	23	20	16	13
Rastrojo de trigo	5	5	5	5
Cadena forrajera estacional				
DEF	CN/S/R	CN/S/R	Vacas: CN/Ag/L/R Vaquillonas: Ag/L	Vacas: CN/Ag/L/R Vaquillonas: Ag/L
MAM	CN/S*	CN/S*	Vacas: CN/S*/L Vaquillonas: Ag	Vacas: CN/S*/L Vaquillonas: Ag
JJA	S*/CN/A	S*/CN/A	Vacas: S*/CN Vaquillonas: A/Ag	Vacas: S*/CN Vaquillonas: A/Ag
SON	A/CN	A/CN	Vacas: CN/L/A vaquillonas: Ag/A	Vacas: CN/L/A Vaquillonas: Ag/A

Tabla 1. Caracterización de los 4 planteos productivos. Tabla elaborada para la presente edición. CN: Campo natural, Pasto llorón: L, Agropiro: Ag, Sorgo: S, Avena: A, Rastrojo de trigo: R, * uso diferido a partir de mayo, DEF: diciembre-enero-febrero (verano), MAM: marzo-abril-mayo (otoño), JJA: junio-julio-agosto (invierno), SON: septiembre-octubre-noviembre (primavera).

	Stipa	Sorgo Forrajero	Avena	Pasto Llorón	Agropiro
DEF	139±17	3562±558	0	1392±159	728±103
MAM	256±38	1778±214	915±159	905±97	858±120
JJA	60±16	0	362±80	0	443±78
SON	967±88	0	1772±169	1980±130	1587±111
Producción anual (kg/ha/año)	1422±149	5340±628	3049±286	4277±277	3616±242
Digestibilidad MS (%)	57	64	73	58	66

Tabla 2. Oferta forrajera anual y por estación (promedio ± error estándar) y digestibilidad para cada recurso (Torres Carbonell, 2014). Tabla elaborada para la presente edición. DEF: diciembre-enero-febrero (verano), MAM: marzo-abril-mayo (otoño), JJA: junio-julio-agosto (invierno), SON: septiembre-octubre-noviembre (primavera).

El VMA (\$/KgMS) se determinó a través de la diferencia entre el MB de los planteos productivos descriptos previamente y el MB cuando se adicionó el 10% (materia seca) de alimento extra, dividiéndolo por la cantidad total suministrada de [Eq. 1, (McEvoy *et al.*, 2011)].

$$\text{VMA (\$/KgMS)} = \Delta \text{MB (\$/ha)} / \text{forraje extra (KgMS/ha)}$$

El 10% del alimento extra se distribuyó en 5 alternativas diferentes, de forma homogénea a lo largo del año (Anual, 0,83% para cada mes del año), agregando la totalidad del alimento solamente en una de las cuatro estaciones, otoño (MAM), invierno (JJA), primavera (SON), o verano (DEF), lo cual implicó que para cada mes de estas estaciones se asignó 3,33% de la masa forrajera anual. En resumen, se modelaron 20 alternativas a partir de 4 planteos productivos (Trad, Trans1, Trans2 y Tecn) y 5 alternativas de agregado del alimento (anual, DEF, MAM, JJA, SON). El análisis de VMA se realizó comparando valores dentro de cada planteo productivo acorde a McEvoy *et al.* (2011).

RESULTADOS

Eficiencia productiva

Los índices reproductivos y productivos se resumen en la tabla 3. La preñez aumentó desde Trad hasta Tecn. Acorde con el manejo del destete definido inicialmente, el peso del

destete disminuyó de acuerdo a los días promedio al pie de la madre. Los kg de ternero vendidos por vaca entorada aumentaron a medida que se evolucionó en intensificación tecnológica, donde Tecn incrementó los kg de ternero vendido en un 80% con respecto al Trad.

La producción de carne, la producción de kg de terneros/as y la eficiencia de stock (tabla 1) aumentaron gradualmente desde Trad hasta Tecn. El Tecn mostró un incremento del 63% en la producción de carne total, y un incremento del 69% en la producción de terneros/as, ambas variables comparadas con el planteo Trad. En cuanto a la eficiencia de stock del Tecn aumenta en un 50% con respecto al Trad.

Eficiencia económica

El MB aumentó a medida que evolucionó desde Trad hasta Tecn (tabla 3). El sistema Tecn incrementó el MB 3,4 veces con respecto al Trad. El aumento en productividad se asoció positivamente con el margen bruto (MB=-1488,6+30,2 x producción de carne kg/ha/año, R² 0.99). Los planteos Trad y Trans1 lograron mayores valores de VMA al compararlos con el Trans2 y el Tecn (tabla 4). En el planteo Trad el mayor valor se logró en los meses de JJA y SON, levemente superiores al suministro Anual. En el caso de Trans1 y Trans2, el mayor valor marginal se produjo en SON y Anual. En el Tecn el mayor valor marginal fue en JJA y SON.

	Tradicional	Transicional 1	Transicional 2	Tecnificado
Preñez (%)	63	73	84	91
Mes de destete	abril	febrero	febrero	enero
Peso de destete (kg PV)	199	164	170	152
Destete (%)	56	66	74	81
CC vaca al servicio	4,5	4,4	5,3	5,6
CC vaca al parto	3,2	3,9	5,1	5,5
CC vaca al destete	3,1	4,0	4,9	5,2
Peso promedio de venta (Kg PV)	213	172	174	210
Días promedio del ternero/ra al pie de la madre	222	157	158	130
GPV del ternero al pie de la madre (kg/día)	0,9	1,0	1,0	1,1
Kg ternero vendido/vaca entorada	71	76	104	128
Eficiencia de stock (%)	32	36	45	48
Producción de ternero (kg/ha/año)	32	34	44	53
Producción de carne total (kg/ha/año)	60	71	88	98
Margen bruto (\$/ha)	334	649	1175	1469

Tabla 3. Resultados reproductivos, productivos y económicos para los diferentes planteos de intensificación. Tabla elaborada para la presente edición. CC: condición corporal, GPV: ganancia de peso vivo.

Valor marginal	Anual	DEF	MAM	JJA	SON
Tradicional	0,7	0,1	0,5	0,8	0,8
Transicional 1	0,5	0,0	0,3	0,3	0,6
Transicional 2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2
Tecnificado	0,2	0,0	0,2	0,3	0,3

Tabla 4. VMA extra (\$/kgMS) para cada planteo productivo y para los diferentes momentos de agregado del alimento. Tabla elaborada para la presente edición.

Emisión de metano entérico y fecal

La EM (kgCH₄CO₂-e/ha) aumentó un 18% desde Trad hasta Tecn, mientras que la IMC (kgCH₄CO₂-e/producción total) disminuyó 28% desde Trad hasta Tecn (figura 1). El aumento en productividad se asoció con menor intensidad de emisión de metano (IMC=20,4-0,1 x producción de carne, R² 0,98).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la literatura sobre sistemas agropecuarios se destaca la importancia del uso de modelación para identificar senderos tecnológicos alternativos basados en la adopción de tecnologías o nuevas prácticas para mejorar la productividad, rentabilidad y gestión ambiental de sistemas pastoriles (Bell *et al.*, 2014; Beukes *et al.*, 2011). Este trabajo

cuantifica con un modelo bioeconómico la potencialidad de incrementar la superficie de pasturas perennes y cambios en el manejo del destete y la alimentación, a partir de dos sistemas reales que pueden considerarse como extremos tecnológicos para la cría de la región, el Trad y el Tecn descritos por Lauric *et al.* (2016), a los que se les adicionaron dos planteos intermedios (Trans1 y Trans2). En nuestros resultados, el aumento en productividad se asoció positivamente con el MB (tabla 3, MB=-1488,6+30,2 x producción de carne kg/ha/año, R² 0,99). El aumento en la productividad desde Trad hasta Tecn (tabla 3) fue debido al aumento del % de preñez (por manejo diferencial de la alimentación y del destete, además de la mejora en la oferta forrajera), asociable a una mejor CC de la vaca al servicio, parto y destete y también por una mejora de la GPV de los ter-

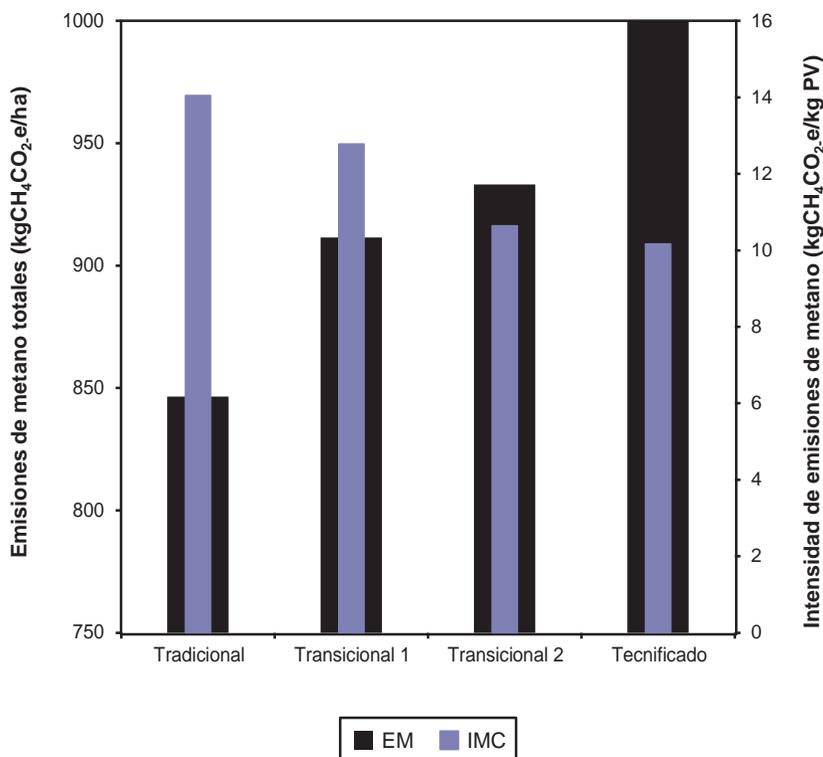


Figura 1. Emisión de metano total (EM) e intensidad de emisiones de metano (IMC) por producción total. Figura elaborada para la presente edición.

neros al pie de la madre (tabla 3, Spitzer *et al.*, 1995). En rodeos de buena sanidad como se asume en este estudio, la mejor CC relaciona positivamente al rápido reinicio de la actividad reproductiva posparto y a mayor GPV de los terneros al pie de la madre (Kunkle *et al.*, 1994).

El MB del sistema Tecn fue 3,4 veces mayor que Trad, similar al incremento de 3,5 veces estimado por Torres Carbonell *et al.* (2013) en los mismos partidos y sistemas. En ambos casos, el incremental significativo del MB (tabla 3) se debió a un incremento importante en los ingresos netos por mayor productividad (tabla 3) y una reducción leve de los costos directos (mayormente por menor participación de verdeos en la base forrajera) en comparación con el sistema Trad (resultados no mostrados).

El análisis del VMA (tabla 4) permitió explorar la capacidad bioeconómica de repago estacional de cada planteo. En Trad, el mayor VMA fue durante JJA y SON posiblemente asociados con mejora de CC preservicio y por ende la preñez (Kunkle *et al.*, 1994), además del aumento de peso de las vacas vacías incrementando la diferencia de inventario (resultados no mostrados). En el caso de Trans1 y Trans2, el mayor valor marginal se produjo con el suministro homogéneo anual y SON, asociados con una mejora en la CC de la vaca y por ende la preñez en el suministro anual, y SON asociados a un aumento en el peso de las vacas vacías incrementando la diferencia de inventario (resultados no mostrados) y destete. En el Tecn, el mayor valor fue en JJA y SON. En general, Trad y Trans1 lograron mayores valores de VMA con respecto a Trans2 y el Tecn, que podría asociarse a la oferta forrajera más diversificada (tabla 1) que equilibra la oferta forrajera estacional, menor carga animal y mejor productividad (ej. % de preñez, tabla 3).

En la zona de estudio, se suele suplementar con heno y grano de avena o cebada (Torres Carbonell, 2014), y el costo de estas alternativas expresados por kg MS (corregido según su contenido de energía metabolizable) son en promedio 1,3 \$/kgMS de rollo y 1,6 \$/kg de grano. De acuerdo a nuestros resultados (tabla 4), ninguno de los planteos representados puede incorporarlos con viabilidad económica (tabla 2). Sin embargo, es esperable que el VMA aumente en años más extremos (Berger *et al.*, 2017) y de esta manera también su capacidad de repago de suplementos bajo esas condiciones. A partir de este estudio exploratorio inicial, surgen nuevas interrogantes de investigación relacionadas a la evaluación a nivel sistema de respuestas a una mayor oferta y utilización estacional de alimentos como por ejemplo mediante fertilización estratégica (Gargano *et al.*, 2006) o cuantificación del riesgo asociado con la variabilidad interanual (Berger *et al.*, 2017; Torres Carbonell, 2014).

Aunque la modelación “whole-farm” es muy utilizada a nivel internacional para la estimación de emisiones GEI (Crosson *et al.*, 2011; Moore *et al.*, 2014), a nivel nacional hay pocos antecedentes (Nieto *et al.*, 2014). Estos autores, en un sistema de producción de carne típico de la región centro del país, concluyeron que la cría fue el subsistema de mayores emisiones y dentro de este, el periodo en lactancia. Más recientemente se utilizó un modelo simplificado

para representar diferentes regiones de Argentina (FAO y NZAGRC, 2017). En nuestro caso, igualmente que otros estudios bioeconómicos de modelación de sistemas que incluyen también emisiones y oportunidades de mitigación de GEI de sistemas pastoriles (Crosson *et al.*, 2011) y la mejora tecnológica aplicada mostraron una tendencia de menor IMC (figura 1) a mayor producción de carne (IMC= 20,4-0,1 x producción de carne, R2 0,98). Los valores observados de IMC fueron menores a las estimaciones para nuestro país de 21 a 23 (Rearte y Pordomingo, 2014) y a los valores globales de 30 kgCH₄CO₂-e/Kg peso vivo para sistemas de cría de zona templada (FAO y NZAGRC, 2017), y también menores a las estimaciones realizadas para Uruguay donde reportaron valores entre 15 y 20 kgCH₄CO₂-e/ Kg peso vivo para sistemas de performance mediana (Picasso *et al.*, 2014). Como los autores mencionados utilizan modelos con un nivel menor de detalle que en el presente trabajo (consumo energético, GPV, reproducción, etc. (Machado *et al.*, 2010)) para representar manejos de la alimentación, los resultados no son estrictamente comparables. Por ejemplo, los mayores valores de Picasso *et al.* (2014) se asocian al mayor consumo diario de materia seca que nuestros resultados (valores no mostrados), pero en el caso de SIMUGAN la estimación de consumo de materia seca ha sido calibrada experimentalmente (Machado *et al.*, 2008). Lo anterior expone la importancia de mayor disponibilidad de datos locales de GEI, que permitirán la calibración y evaluación continua como se recomienda en este tipo de estudios basados en modelación (Moore *et al.*, 2014). Aunque el metano considerado en nuestro estudio representa un valor mayor al 70% de los GEI de este tipo de sistemas (SAyDS, 2015), la mayor disponibilidad de información permitirá progresar en estudios locales adicionales que contemplen la totalidad de los GEI y cambios de uso del suelo.

Finalmente se puede concluir que los resultados productivos, económicos y de metano de este trabajo inicial sugieren a través de los múltiples indicadores utilizados y en línea con datos de campo (Lauric *et al.*, 2016), una buena oportunidad de mejorar la productividad de estos sistemas de cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales, contemplando la incorporación de pasturas y de un manejo diferencial de los recursos y del destete. Es importante destacar que el proceso de adopción tecnológica en los sistemas suele ser complejo (Wilson *et al.*, 2008), pero esta información sumada a la información empírica de la zona incluyendo futuros estudios que contemplen la variabilidad interanual, podría aportar a una discusión más integral de barreras y oportunidades con los diferentes actores zonales.

BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 1990. Normas para Medir los Resultados Económicos en las Empresas Agropecuarias. Convenio AACREA - BANCO RÍO. Buenos Aires. Argentina, p. 80.
- ARBOLAVE, M.R. 2017. Márgenes agropecuarios, Año 32-382(382), p. 80.
- ARROQUI, M.; ALVAREZ, J.R.; VAZQUEZ, H.; MACHADO, C.; MATEOS, C.; ZUNINO, A. 2015. JASAG: a gridification tool for

agricultural simulation applications. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(17), 4716–4740.

BÁRBARO, N.; GERE, J.; GRATTON, R.; RUBIO, R.; WILLIAMS, K. 2008. First measurements of methane emitted by grazing cattle of the Argentinean beef system. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51(2), 209–219.

BELL, L.W.; ROBERTSON, M.J.; REVELL, D.K.; LILLEY, J.M.; MOORE, A.D. 2008. Approaches for assessing some attributes of feed-base systems in mixed farming enterprises. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 789–798.

BERGER, H.; BILOTTO, F.; BELL, L.W.; MACHADO, C.F. 2017. Feedbase intervention in a cow-calf system in the flooding pampas of Argentina: 2. Estimation of the marginal value of additional feed. *Agricultural Systems*, 158(Supplement C), 68–77.

BEUKES, P.C.; GREGORINI, P.; ROMERA, A.J. 2011. Estimating greenhouse gas emissions from New Zealand dairy systems using a mechanistic whole farm model and inventory methodology. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 708–720.

CROSSON, P.; SHALLOO, L.; O'BRIEN, D.; LANIGAN, G.J.; FOLEY, P.A.; BOLAND, T.M.; KENNY, D.A. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 29–45.

FAO; NEW ZEALAND AGRICULTURAL GREENHOUSE GAS RESEARCH CENTRE. 2017. Low-emissions development of the beef cattle sector in Argentina - Reducing enteric methane for food security and livelihoods. Roma. p. 39.

FAVERIN, C.; GRATTON, R.; MACHADO, C.F. 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril. Revisión bibliográfica. *Revista Argentina de Producción Animal*, 34(1), 1–22.

GARGANO, A.O.; ADÚRIZ, M.A. 2000. Modelos agropecuarios integrales para Bahía Blanca y Coronel Rosales, Argentina. *Arquivo Latinoamericano de Producción Animal*, 8(1), 24–33.

GARRIZ, C.A. 2012. Rendimientos, peso, composición de res y cortes vacunos en la argentina. Efectos del genotipo, edad y peso vivo de faena. ¿Producir carne con la raza criolla Argentina? *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–39.

GAUR, M.K.; SQUIRES, V.R. 2017. *Climate Variability Impacts on Land Use and Livelihoods in Drylands*. Springer. p. 348.

GERBER, P.J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. 2013. Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma.

HERRERO, M.; HENDERSON, B.; HAVLÍK, P.; THORNTON, P.K.; CONANT, R.T.; SMITH, P.; WIRSENIUS, S.; HRISTOV, A. N.; GERBER, P.; GILL, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; VALIN, H.; GARNETT, T.; STEHFETS, E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461.

INDEC. 2000. Censo Nacional Agropecuario 2002. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Buenos Aires, Argentina.

INTA. 2000. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:50.000).

IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Inter-governmental. Panel on Climate Change, IGES, Japón.

KUNKLE, W.E.; SAND, R.S.; RAE, D.O. 1994. Effect of body condition on productivity in beef cattle. En: FIELDS, M.J.; SAND, R.S. (Eds.). *Factors affecting calf crop*. CRC Press, Boca Raton, EUA, pp. 167–176.

LAURIC, A.; DE LEO, G.; TORRES CARBONELL, C. 2016. Sistemas productivos reales, incorporación de tecnologías estratégicas

dentro de un marco de extensión y su impacto sobre los indicadores dentro de los Pdos. de Bahía Blanca y Cnel. Rosales. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/sistemas-productivos-reales-incorporacion-de-tecnologias-estrategicas-dentro-de-un-marco-de-extension-y-su-impacto-sobre-los-indicadores-dentro-de-los-pdos-de-bahia-blanca-y-cnel-rosales> verificado 02 de junio de 2017).

LAURIC, A.; DE LEO, G.; TORRES CARBONELL, C.; FERNANDEZ ROSSO, C.; BILOTTO, F.; MACHADO, C. 2017. Perfiles productivos en los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/perfiles-productivos-en-los-partidos-de-bahia-blanca-y-coronel-rosales> verificado 22 de julio de 2017).

MACHADO, C.F.; BERGER, H. 2012. Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne. *Revista Argentina de Producción Animal*, 32, 87–105.

MACHADO, C.F.; BERGER, H.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J. 2008. Evaluation of a beef cattle finishing simulation model for intake and live weight gain prediction under different herbage and maize grain allowances. *Proceedings of the International Grasslands Conference, China*, 324.

MACHADO, C.F.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J.; ARROQUI, M.A.; MANGUDO, P.A. 2010. A web-based model for simulating whole-farm beef cattle systems. *Computer and Electronics in Agriculture*, 74(1), 129–136.

MCEVOY, M.; O'DONOVAN, M.; SHALLOO, L. 2011. Development and application of an economic ranking index for perennial ryegrass cultivars. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1627–1639.

MENGISTU, A. 2006. *Country Pasture/Forage Resource Profiles*. FAO. Roma, Italia.

MINAGRO. 2015. Caracterización de la producción bovina. Buenos Aires – Corrientes – Chaco – Formosa – La Pampa– Misiones. Sistema de Monitoreo del Sector de la Carne Bovina. Serie 1. Presidencia de la Nación, Subsecretaría de Ganadería, p. 193.

MOORE, A.D.; ECKARD, R.J.; THORBURN, P.J.; GRACE, P.R.; WANG, E.; CHEN, D. 2014. Mathematical modeling for improved greenhouse gas balances, agro-ecosystems, and policy development: lessons from the Australian experience. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(6), 735–752.

PICASSO, V.D.; MODERNE, P.D.; BECOÑA, G.; SALVO, L.; GUTIÉRREZ, L.; ASTIGARRAGA, L. 2014. Sustainability of meat production beyond carbon footprint: a synthesis of case studies from grazing systems in Uruguay. *Meat Science*, 98(3), 346–354.

REARTE, D.H.; PORDOMINGO, A.J. 2014. The relevance of methane emissions from beef production and the challenges of the Argentinean beef production platform. *Meat Science*, 98(3), 355–360.

SAYDS. 2015. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, p. 282.

SPITZER, J.C.; MORRISON, D.G.; WETTEMAN, R.P.; FAULKNER, L.C. 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal Animal Science*, 73, 1251–1257.

TORRES CARBONELL, C. 2014. Impacto del cambio climático global sobre las precipitaciones del Sudoeste bonaerense semiárido y su efecto sobre el riesgo de sistemas ganaderos con distinto grado de adopción de tecnología. Tesis Doctorado en Agronomía, p. 225.

TORRES CARBONELL, C.; MARINISSEN, A.; LAURIC, A. 2013. Desarrollo de sistemas de producción para la Ecoregión Semiárida Pampeana Sur. INTA, p. 17.

WILSON, G.A. 2008. From “weak” to “strong” multifunctionality: Conceptualising farm-level multifunctional transitional pathways. *Journal of Rural Studies*, 24(3), 367–383.

Nuevos cultivares de *Glandularia* obtenidos en Argentina

BOLOGNA, P.¹

RESUMEN

Teniendo en cuenta la demanda continua de cultivares ornamentales en el sector florícola nacional, se obtuvieron tres nuevos cultivares en el género nativo *Glandularia* en el marco del Programa de Mejoramiento Genético del Instituto de Floricultura del INTA-Castelar. Los cultivares son de propagación agámica con floración primavera-estival. Extrema violeta INTA es un cultivar de porte semierecto con 22,6 cm de altura y 22,7 cm de diámetro y flores color violeta intenso. Dulce coral INTA, también de porte semierecto, altura promedio de 17 cm y 20 cm de diámetro; es un cultivar con floración color rojo-coral. Hana magenta INTA es un cultivar de arquitectura compacta de 12 cm de altura y 15 cm de diámetro, con flores de color fucsia-magenta. Los tres cultivares son perennes y pretenden enriquecer la oferta de plantas ornamentales que presenta nuestro país.

Palabras clave: variedades ornamentales, cultivares nacionales, germoplasma nativo.

INTRODUCCIÓN

Argentina es uno de los países de mayor diversidad florística, ubicándose en el puesto número 17 de mayor diversidad (Convenio de Diversidad Biológica, 1998). Se estima que existen 248 familias con 1.927 géneros y 9.690 especies, de las cuales 1.906 son especies endémicas de la Argentina (Zuloaga *et al.*, 1999). A pesar de la riqueza florística que tiene la Argentina, los recursos genéticos nativos son escasamente explotados y la actividad florícola depende enteramente de cultivares desarrollados en el exterior. Mediante el Proyecto INTA "Obtención de variedades ornamentales a partir de germoplasma nativo", en el 2009 se dio comienzo a Programas de Mejoramiento en los géneros nativos *Calibrachoa*, *Mecardonia*, *Nierembergia*, *Tecoma*, *Seemannia*, *Handroanthus* (lapacho) y *Glandularia*, entre otros. Particularmente, en este último género existe en la Argentina gran diversidad de color de flor y multiplicidad de hábitos de crecimientos (Troncoso, 1979). *Glandularia* J. F. Gmel, perteneciente a la familia de las Verbenáceas, comprende 36 especies y una variedad botánica (Múlgura y O'Leary, 2012). Es exclusivamente americana con amplia distribución geográfica (Atkins, 2004). Los indi-

viduos de este género habitan en laderas de cerros, márgenes de selvas, bosques, bordes de caminos y rutas (Peralta y Múlgura, 2011). Históricamente, se consideraba al género *Glandularia* como una sección del género *Verbena*, pero estudios basados en el número cromosómico, anatomía del tallo y apéndices florales colocaron a *Glandularia* como un género independiente (Schnack y Covas, 1944; Schnack, 1964).

Con el objetivo de desarrollar cultivares para aumentar la oferta de plantas ornamentales en el mercado florícola nacional, se obtuvieron tres nuevos cultivares del género *Glandularia* mediante mejoramiento genético. Estos fueron descriptos basándose en caracteres morfológicos y agronómicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del material

En el marco del plan de mejora se han realizado desde el año 2009 viajes de colecta a la zona del NOA y NEA de nuestro país. Diversos materiales se han colectado y caracterizado según potencialidad ornamental. Por una parte, basados

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA), Instituto de Floricultura, De los Reseros y las Cabañas s/n. (1686) Hurlingham, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Correio electrónico: bologna.paula@inta.gob.ar

en el plantel de accesiones existente en el Instituto de Floricultura se detectó un individuo de *Glandularia tweediana* de flores color roja de aspecto vigoroso. Este material fue seleccionado como parental y fue cruzado con un material comercial naturalizado. De dicho cruzamiento se obtuvo el cultivar Hana magenta INTA. Por otra parte, los cultivares Dulce coral INTA y Extrema violeta INTA también son materiales híbridos derivados de ciclos de cruzamientos y selección entre clones selectos y materiales comerciales.

Caracterización morfológica: ensayos de Distingui- bilidad, Homogeneidad y Estabilidad (DHE)

Los tres cultivares fueron evaluados según las directrices de Distinguiabilidad, Homogeneidad y Estabilidad (DHE) establecidas por la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV, 2002). Mediante técnicas habituales de propagación vegetativa se obtuvieron plantas que fueron cultivadas en maceta de 14 cm de diámetro. Se evaluaron diez plantas de cada cultivar. Se evaluó la Distingui- bilidad entre los cultivares utilizando el descriptor de VERBENA actualizado por el Instituto Nacional de Semillas (INASE). Se registraron parámetros cualitativos y cuantitativos como porte, altura y ancho de planta, longitud y ancho de hoja, diá- metro de inflorescencia, disposición de lóbulos en la corola y color de flor, entre otros. Las mediciones se realizaron a los 60 días de cultivo en invernáculo, momento en el cual los cultivares presentaban un 50% de floración. Se utilizó la carta de color Royal Horticultural Society Colour Chart para la descripción del color (Royal Horticulture Society, 1995). Para evaluar la Estabilidad se realizaron 3 ciclos de propagación

vegetativa separados por 6 meses cada uno. Durante este proceso se evaluó la estabilidad de las características morfo- lógicas y la Homogeneidad en cada cultivar.

Caracterización agronómica: evaluación del compor- tamiento agronómico de los cultivares en el paisaje

Teniendo en cuenta la utilidad final de las plantas ornamen- tales en el paisaje, se cultivaron en el campo experimental

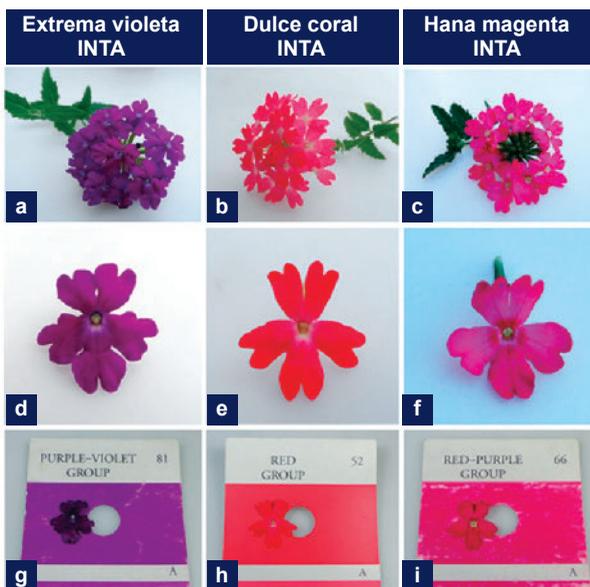


Figura 1. Descripción de los cultivares de *Glandularia*: Extrema violeta INTA, Dulce coral INTA y Hana magenta INTA. a) b) y c) Detalle de la rama y de la inflorescencia. d), e) y f) Detalle de la flor con la mácula blanca en la zona de la garganta de la flor. g), h) y i) Descripción del color de la flor mediante el uso de la carta de color Royal Horticultural Society colour chart.



Figura 2. Plantas cultivadas en el campo experimental del Instituto de Floricultura INTA-Castelar. a) Extrema violeta INTA. b) Dulce coral INTA. c) Hana magenta INTA.

del Instituto de Floricultura, INTA-Castelar (34° 36.64 Latitud Sur, 58° 40 Longitud Oeste, 18 m s.n.m.) y se registró el período de floración, la arquitectura de la planta y la cobertura en cantero de los cultivares durante una estación primavera-estival. Estos caracteres fueron registrados cualitativamente.

RESULTADOS

Distingibilidad (D): descripción morfológica de los cultivares basados en el descriptor de VERBENA

Extrema violeta INTA, Dulce coral INTA y Hana magenta INTA son plantas herbáceas de porte semierecto (ver tabla).

Extrema violeta INTA registró la mayor altura de los tres cultivares (22,6 cm) y Hana magenta INTA la menor (12 cm). Los cultivares presentaron semejanzas en cuanto a la forma oval-ancha de las hojas enteras y el margen dentado de la hoja, así como también la escasa o nula pigmentación antocianica en tallos, hojas y cáliz (figura 1 a, b, c). Con respecto a los caracteres florales, los tres cultivares presentaron una mácula blanca-verdosa en la zona de la garganta a modo de aureola blanca en el centro de la flor (figura 1 d, e, f). Los cultivares difirieron en el color verde del follaje. Hana magenta INTA presentó hojas de color verde oscuro, mientras que Dulce coral INTA y Extrema violeta INTA presentaron hojas de color verde claro (GREEN GROUP 139A, 137C y

Caracteres morfológicos de los cultivares Extrema violeta INTA, Dulce coral INTA y Hana magenta INTA evaluados en maceta N.º 14. (n=10)

Característica de la planta	EXTREMA VIOLETA	DULCE CORAL	HANA MAGENTA
Planta: Porte	Semierecto	Semierecto	Semierecto
Planta: Altura (cm)	22,6 ± 1,3	17 ± 2,1	12 ± 1,1
Planta: Ancho (cm)	22,7 ± 2,2	20,2 ± 3,3	15 ± 1,1
Hoja: Longitud (mm)	40,9 ± 3,1	42,1 ± 4,1	35,2 ± 1,1
Hoja: Ancho (mm)	22,4 ± 2,2	22,7 ± 1,2	20,2 ± 1,8
Hoja: Forma	Oval-ancho	Oval-ancho	Oval-ancho
Hoja: División	Ausente	Ausente	Ausente
Hoja: Incisiones del borde	Dentada	Dentada	Dentada
Hoja: Color del haz (RHS)*	Green 143A	Green 137C	Green 139A
Hoja: Pigmentación antocianica del haz	Ausente	Ausente	Ausente
Tallo: Pigmentación antocianica	Ausente	Ausente	Ausente
Pecíolo: Longitud (mm)	5,7 ± 0,8	10,2 ± 1,7	4,8 ± 0,4
Inflorescencia: N.º de flores	29-35	26-33	16-25
Inflorescencia: Diámetro (mm)	57,1 ± 1,7	54,80 ± 1,8	53,35 ± 2,2
Inflorescencia: Forma de perfil	Oval-ancha	Oboval-ancha	Oboval-ancha
Flor: Disposición de los lóbulos de la corola	Libre	Libre	Libre
Flor: Diámetro de la corola (mm)	19,3 ± 0,5	21,9 ± 0,8	20,2 ± 1,1
Flor: Pigmentación del cáliz	Ausente	Ausente	Ausente
Flor: Largo del tubo de la corola (mm)	20,2 ± 0,4	17,9 ± 0,7	17,1 ± 0,8
Flor: Color de los pelos visibles en la corola	Blanco	Blanco	Blanco
Flor: Ondulación del borde del lóbulo de la corola	Ausente	Ausente	Ausente
Flor: Curvatura del eje longitudinal del lóbulo	Hacia arriba	Recto	Hacia arriba
Flor: N.º de colores en la corola	Uno	Uno	Uno
Flor: Distribución del color	Uniforme	Uniforme	Sombreado
Flor: Color principal (RHS)	Purple-Violet 81A	Red 52A	Red-Purple 66A
Flor: Color secundario (RHS)†	-	-	Red-Purple 64C
Flor: Presencia de ojo en garganta	Presente	Presente	Presente
Flor: Diámetro del ojo (mm)	2,9 ± 0,3	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,2
Flor: Color del ojo	Blanco verdoso	Blanco verdoso	Blanco verdoso

Valores ± corresponden al promedio y el desvío estándar de n=10.

*: Carta de color Royal Horticultural Society Colour Chart.

†: Solo para cultivares con distribución sombreado del color.

143A -RHS colour chart-, respectivamente). En floración, los cultivares presentaron inflorescencias terminales con forma oval a oboval-ancho. El cultivar Extrema violeta INTA registró el mayor diámetro de inflorescencia con un registro de 29 a 35 flores por inflorescencia; mientras que Dulce coral INTA registró 26 a 33 flores y Hana magenta INTA entre 16 a 25 flores. Los cultivares se diferenciaron en el color de la flor. Extrema violeta INTA presentó flores violetas del grupo PURPLE-VIOLET, mientras que los cultivares Dulce coral INTA y Hana magenta INTA pertenecieron al grupo RED y RED-PURPLE (figura 1 g, h, i). En este último cultivar se expresó en la flor un leve efecto sombreado del color.

Homogeneidad y Estabilidad (HE)

Los cultivares mantuvieron las características morfológicas evaluadas y mencionadas anteriormente en los tres ciclos de propagación vegetativa, verificando la Homogeneidad y la Estabilidad en cada ciclo de propagación en cada cultivar.

Evaluación del comportamiento agronómico de los cultivares en el paisaje

Los cultivares presentaron floración primavera-estival, con un inicio de floración en el mes de septiembre y plena floración en diciembre. Extrema violeta INTA presentó una floración de gran cantidad de flores en el mes de diciembre. Dulce coral INTA presentó picos de floración abundante y Hana magenta INTA mantuvo una floración pareja durante los meses evaluados. En cuanto a cobertura y arquitectura de planta, los cultivares Extrema violeta INTA y Dulce coral INTA presentaron una cobertura total del cantero (figura 2 a, b). Extrema violeta INTA presentó una arquitectura globosa de trama compacta a los 90 días de cultivo y Dulce coral INTA una arquitectura tipo montículo. Hana magenta INTA presentó una cobertura del 80% del cantero debido a su arquitectura compacta de entrenudos cortos y ramificación desde la base (figura 2 c). Esta característica señala su aptitud para uso en canteros y borduras como así también para planta en maceta, a diferencia de los cultivares Extrema violeta INTA y Dulce coral INTA que demuestran su potencial para uso en cantero.

CONCLUSIÓN

A través del programa de mejoramiento genético enmarcado en el proyecto INTA, se logró obtener tres cultivares novedosos en el género *Glandularia*. Estos pretenden enriquecer la oferta de plantas ornamentales existente en el mercado florícola y satisfacer la creciente demanda del sector de nuevos productos. Es de destacar que este trabajo coloca en valor a la flora nativa de la Argentina tan diversa y rica en recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- ATKINS, S. 2004. Verbenaceae. En: KUBITZKI, K. (Eds.) The Families and Genera of Vascular Plants 2004. Springer-Verlag, Berlín, pp. 449-468.
- CONVENIO SOBRE DIVERSIDAD BIOLÓGICA. 1998. Informe de Argentina. Presidencia de la Nación, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, pp. 1-68.
- MÚLGURA, M.E.; O'LEARY, N. 2012. Flora Argentina. Flora Vascular de la República Argentina. Vol. 14, pp. 38-80.
- PERALTA, P.F.; MÚLGURA, M.E. 2011. El Género *Glandularia* (Verbenaceae) en Argentina. Ann. Missouri Bot. Gard. 98: 358-412.
- ROYAL HORTICULTURAE SOCIETY. 1995. RHS colour chart. Royal Horticulture Society, Londres.
- SCHNACK, B.J.C. 1964. Bases naturales de la separación genérica de *Verbena* y *Glandularia* (Verbenaceae). En: PERALTA, P.F.; MÚLGURA, M.E. 2011. El Género *Glandularia* (Verbenaceae) en Argentina. Ann. Missouri Bot. Gard. 98: 358-412.
- SCHNACK, B.J.C.; COVAS, G. 1944. Nota sobre la validez del género *Glandularia* (Verbenaceae). Darwiniana 6: 469-476.
- TRONCOSO, N.S. 1979. VERBENACEAE, Verbenaceae. En: Flora Ilustrada de Entre Ríos, TOMO v. Argentina. pp. 229-231.
- UPOV. 2002. Introducción General al Examen de la Distinción, La Homogeneidad y la Estabilidad y la Elaboración de Descripciones Armonizadas de las Obtenciones Vegetales. Ginebra.
- ZULOAGA, F.O.; MORRONE, O.; RODRIGUEZ, D. 1999. Análisis de la biodiversidad en plantas vasculares de la Argentina. Kurtziana. Tomo 27 (1): 17-167.

Biotécnicas reproductivas en la especie porcina: pasado, presente y futuro
Marinone, A.I.; Kaiser, G.; Hozbor, F.; Mucci, N.

Variación temporal de indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos
Martínez, L.E.; Vallone, R.C.; Pino, M.M.

Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes
Romaniuk, R.; Navarro, R.; Beltrán, M.; Eiza, M.; Castiglioni, M.; Mousegne, F.

Caracterización de aislamientos de mohos verdes (*Penicillium digitatum*) resistentes al fungicida pirimetanil en la región citrícola del río Uruguay
Panozzo, M.; Almirón, N.; Bello, F.; Vázquez, D.

Estimación del contenido de sorbato de potasio residual en ciruela tiernizada
Worlock, J.; Urfalino, D. P.

Eficiencia en el uso de agua para la producción de carne en sistemas irrigados con diferentes niveles de intensificación
Miñon, D.P.; Zapata, R.R.; Gallego, J.J.

Relevamiento de la actividad avícola en el territorio norte del Área Metropolitana de Buenos Aires
Sepulcri, M.G.; Palacios, D.; Magri, L.I.; Barbano, P.M.

Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y β -glucanos en el grano de la avena (*Avena sativa* L.)
Hernández-Campuzano, A.V.; Martínez-Rueda, C.G.; Estrada-Campuzano, G.; Dominguez-Lopez, A.

Desarrollo morfológico de *Digitaria eriantha* Steud. ssp. *eriantha* y *Panicum coloratum* L. var. *Coloratum*
González, F.A.; Ventimiglia, P.; Jouve, V.V.; Ferri, C.M.

Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo
Voisin, A.; Novillo, B.; Chamorro, A.; Bezus, R.; Pellegrini, A.; Golik, S.

Producción y crecimiento de las plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. en la provincia Chaco
Kees, S.M.; Ferrere, P.; Lupi, A.M.; Michela, J.F.; Skoko, J.J.

Efecto del rolado de baja intensidad (RBI) sobre la distribución radical de pastos y arbustos en un bosque del Chaco occidental
Ledesma, R.; Elías, A.; Kunst, C.; Navarrete, V.; Godoy, J.

Modelación productiva, económica y emisión de metano en sistemas de cría vacuna de Bahía Blanca y Coronel Rosales
Fernández Rosso, C.; Lauric, A.; De Leo, G.A.; Bilotto, F.; Torres Carbonell, C.; Machado, C.F.

