

LA FÓRMULA IDEAL

El secreto para mejorar el suelo y aumentar su rendimiento



SUELOS ANEGABLES

Sostenibilidad productiva y social

REPOSITARIOS DIGITALES

Información sobre suelos y clima

“UN PAÍS, UN EQUIPO”

Juntos en favor del suelo



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

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 41 N.º 2
Agosto 2015, Buenos Aires, Argentina

Propiedad Intelectual
Propiedad Intelectual N.º 5231355 – ON LINE

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

Errege y asociados
erregeyasoc@aol.com
Carolina Muzilli 5422
C.P. 1440 - CABA

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidente:
Ing. Agr. Francisco Anglesio

Vicepresidente:
Ing. Agr. José Alberto Catalano

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

Director Nacional:
Ing. Agr. Eliseo Monti

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.
Ing. Agr. Guillermo Semproní

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

DNA Administración CPN
Lic. Rosendo Tarsetti

DNA de Innovación
Ing. Agr. Enrique Bedascarrasbure

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

CN de Investigación y Desarrollo
Dr. Fernando Fernández

CN de Vinculación Tecnológica
Ing. Adolfo Luis Cerioni

COMITÉ EDITORIAL

Presidente:
Dr. Carlos Di Bella - INTA - CONICET

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

COMITÉ ASESOR

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

STAFF

Dirección:
Dra. Norma Pensel
Lic. Máximo Bontempo

Coordinación editorial:
Lic. Felicitas Terreno

Asistente editorial:
Giselle Miquet

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

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

Fotografía:
Área Audiovisual, Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional

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



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

La importancia del suelo

Este año 2015 ha sido declarado “Año Internacional de los Suelos” por la FAO, dirigiendo así la atención pública mundial hacia el cuidado y la protección de los suelos, que son considerados “cuna de la vida”. Luego de haber perdido importancia en la agenda global durante los últimos años del siglo pasado, los suelos han recuperado nuevamente en este siglo la atención por parte de los tomadores de decisión. A modo de ejemplo, puede señalarse la creación en 2013 en la órbita de FAO de la Alianza Mundial por el Suelo (www.fao.org/globalsoilpartnership/alianza-mundial-por-el-suelo/es/), organismo en el cual participan todos los países nucleados en el organismo, entre ellos la Argentina.

No existe un único motivo por el cual los suelos habían perdido relevancia a nivel global, pero a ello habrían contribuido las consecuencias de la así denominada “revolución verde” comenzada por la década de los 60, que fomentó los aumentos de rendimiento de “*commodities*” como el trigo y el arroz basados en mejoras de tipo genético y la incorporación masiva de insumos externos, como fertilizantes y agroquímicos. Si bien la “revolución verde” fue altamente exitosa en términos de haber podido asistir con alimentos a la población de países del tercer mundo, acarreó consecuencias ambientales negativas, como el agravamiento de la degradación irreversible de suelos (ej. erosión, salinización) y la contaminación de acuíferos.

Estos problemas, sumados a la toma de conciencia sobre el cambio climático y sus consecuencias dramáticas, determinaron el regreso de los suelos a la agenda global en el siglo actual. Es probable que se esté arribando al límite en cuanto a la disponibilidad de nuevas tierras fértiles para poner en cultivo, mientras que la deforestación no es más una opción para incrementar la producción agropecuaria en forma sustentable. Los suelos están siendo objeto de crecientes presiones de uso, determinadas por el incremento de la población mundial y la demanda sostenida de alimentos, fibras y la novedad de los cultivos bioenergéticos. Países como la Argentina, que aún disponen de gran cantidad de suelos de buena calidad y reservas de agua dulce, serán seguramente el foco de atención de la comunidad internacional en los años venideros.

La pregunta es de qué manera haremos frente a esas presiones internacionales, cuando los suelos han sido hasta el presente (y lo seguirán siendo) nuestra principal fuente de ingreso de divisas por ingresos de exportación. Si bien la Argentina parte de una base no desdeñable, como es la masiva adopción de la siembra directa por los agricultores, existen una serie de demandas insatisfechas a las que los próximos gobiernos nacionales y provinciales deberán hacer frente. Entre ellas, puede mencionarse la necesidad de diversificar nuestras producciones y rotar cultivos en los suelos, integrar distintos tipos de producciones y reciclar nutrientes, mejorar la trazabilidad de nuestros productos, y atender las necesidades de todos los tipos de productores agropecuarios. Seguramente no son las únicas demandas, pero quizás la más importante desde el punto de vista de los suelos es la necesidad urgente de una ley nacional de suelos, que surja del acuerdo y el convencimiento entre sectores agrarios y externos.

Para hacer frente a estos cambios y renovada puesta en agenda de la temática de los suelos, el INTA tomó la decisión en 2014 de crear el Programa Nacional Suelos dentro de la cartera programática de la Institución. Este Programa reúne la participación de todos los especialistas de suelos que trabajan en el INTA, asociados con especialistas de otras instituciones, teniendo por objetivo responder a las demandas actuales y futuras de nuestro país.

Mientras tanto, este número de la revista intenta sumar una serie de trabajos realizados por científicos y técnicos del INTA y de otras instituciones, que tienen a los suelos como tema central. Debe destacarse como mérito del INTA el mantenimiento de los ensayos comparativos de labranzas en muchas Estaciones Experimentales, algunos de los cuales cumplen 20 años, como es el caso de la EEA Manfredi, que da lugar a uno de los trabajos de este número. No es un aniversario menor para un país como el nuestro, en el cual a menudo se pierde la perspectiva del largo plazo. Esperamos que muchos de los trabajos que aquí se muestran sirvan no sólo para atender demandas actuales, sino también para abrir nuevas líneas de trabajo con renovadas ideas, lo cual es un punto de partida esencial para mantener despierto el interés por los suelos.

Actualidad en I+D

Editorial

114 La importancia del suelo

En el año internacional del suelo, el INTA da a conocer algunas de las acciones llevadas a cabo para su preservación y mejoramiento.

Notas

118 Un sistema de manejo conservacionista

Un estudio de 20 años asegura que la siembra directa mejora la condición hídrica del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos.



124 Suelos anegables

El manejo sustentable en la producción es clave para la recuperación de estos suelos y la preservación de los servicios ecosistémicos.

130 Una llave para pensar el futuro del agro

El INTA pone a disposición pública 630.000 registros sobre variables agroclimáticas y 10.000 fichas edafológicas.

136 “Un país responsable se construye juntos”

La presidenta de Aapresid propone que actores públicos y privados trabajen en conjunto para cuidar los recursos de la Argentina.



141 Pastillas

Un breve resumen de las noticias más sobresalientes.

Trabajos

Artículos

143 *Eucalyptus globulus* al sudeste de Buenos Aires

Moreno, K.; Igartúa, D.

149 Metabolitos urinarios en bovinos

Salvat, A.E.; Comerio, R.M.; Balbuena, O.; Rosello Brajovich, J.E.; Ricca, A.; Rojas, D.; Cristos, D.; Ronco, S.; Salerno, J.C.



155 El nabo como recurso forrajero

Bertín, O.D.; Camarasa, J.N.; Scheneiter, J.O.; Zuvilivia, J.P.

161 Resistencia de los botones florales del algodón

Tcach, M.A.; Fogar, M.N.; Ríos, R.D.; Acuña, C.A.

168 Nuevo índice de sustentabilidad agropecuaria

Vega, M.L.; Iribarnegaray, M.A.; Hernández, M.E.; Arzeno, J.L.; Osinaga, R.; Zelarayán, A.L.; Fernández, D.R.; Mónico Serrano, F.H.; Volante, J.N.; Seghezze, L.

179 Expansión agrícola por índices de vegetación

Volante, J.; Mosciaro, J.; Morales Poclava, M.; Vale, L.; Castriello, S.; Sawchik, J.; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortéz, L.; Paruelo, J.

192 Fungicidas contra mancha amarilla en trigo

Tonin, R.B.; Reis, E.M.; Gómez, D.E.

201 Estimación de volumen de *Eucalyptus*

Boca, R.T.; Keller, A.E.; Mastrandrea, C.; Crechi, E.H.; Barth S.R.; Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Ferrere, P.

208 Petunia en sistema flotante

Barbaro, L.A.; Delucchi, G.; Karlanian, M.A.

215 Siembra directa a largo plazo

Basanta, M.; Alvarez, C.





Protección con siembra directa

Técnicos del INTA comprobaron que la siembra directa es un sistema de manejo que mejora la condición hídrica del suelo y contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y las reservas de carbono del suelo.

Este dato cobra mayor interés en el año internacional de los Suelos, declarado por la ONU para 2015 y en un país que, de acuerdo con un informe de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), tiene casi 50 millones de hectáreas afectadas por erosión hídrica o eólica que generan pérdidas de hasta 700 millones de dólares por año.

(Actualidad en I+D p. 118)



Suelos anegables

El crecimiento poblacional y el desarrollo económico generan presiones sobre los suelos.

La Pampa Deprimida y la Interior, y los Bajos Submeridionales del norte de Santa Fe y el sur de Chaco, son áreas de planicies extremas e inundables, condiciones que limitan la salida de los excesos hídricos. Esto trae como consecuencia la salinización o sodificación de los suelos, lo que limita su potencial productivo. El INTA lleva adelante investigaciones en suelos anegables para abordar estas problemáticas a través del manejo sustentable de la producción como clave para la preservación de los servicios ecosistémicos.

(Actualidad en I+D p. 124)

Conocimiento para el agro

En una sociedad que demanda cada vez más información, el artículo presenta la iniciativa del Instituto de Suelos del INTA de digitalizar 10.000 fichas con los perfiles de suelo de la provincia de Buenos Aires para construir el Sistema de Información de Suelos. Este proyecto se suma al Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico, un reservorio de acceso libre que el Instituto de Clima y Agua lleva adelante desde hace más de 60 años y reúne alrededor de 630.000 registros sobre diferentes variables agroclimáticas. Además, el artículo muestra el valor de los datos para construir proyecciones climáticas a partir de una investigación real.

(Actualidad en I+D p. 130)

Juntos por los recursos del país

En una entrevista exclusiva con Revista RIA, la presidenta de Aapresid, María Beatriz "Pilu" Giraud, llamó a organismos públicos y a actores privados a trabajar juntos para construir un país mejor mediante la protección de sus recursos naturales.

Así, en el año internacional del Suelo, la propuesta que quieren aplicar junto con el Estado entiende la importancia de ese recurso que considera el "sustrato base desde donde, a partir de su cuidado, podemos plantear un esquema de cuidado responsable y comprometido", considera Giraud. "Los hombres podemos destruir al suelo, pero también lo podemos construir", concluye la presidenta de la organización.

(Actualidad en I+D p. 136)

Eucalyptus globulus al sudeste de Buenos Aires

El sudeste de Buenos Aires es considerada una zona de producción mixta en donde la actividad forestal tuvo un desarrollo menos destacado que el agrícola-ganadero. Los objetivos del trabajo fueron describir el recurso forestal de *Eucalyptus globulus* Labill. (Eucalipto blanco) en términos de edad, procedencias y suelos, y también determinar la densidad básica de la madera y analizar su variabilidad.

Los investigadores estudiaron 110 árboles. El 60 por ciento de ellos se encontró implantado en suelos aptos y muy aptos para el crecimiento de la especie, mientras que el 40 restante lo fue en suelos poco a no aptos.

(Actualidad en I+D p. 143)



Metabolitos urinarios en bovinos

El NOA es, por sus características geográficas y ambientales, una región con fuerte potencial para la actividad ganadera. Los rodeos vacunos de esta zona tienen como base alimenticia pastizales y pasturas mejoradas que suelen suplementarse con granos, fuentes proteicas y reservas en forma de rollos o silaje. Estos alimentos permiten que especies de hongos produzcan micotoxinas como zearalenona (ZEA). Se buscó analizar los metabolitos excretados en la orina de novillos y definir sus perfiles y evolución en el tiempo. El zeranolo no se excreta continuamente en concentraciones elevadas, sino que lo hace solo durante ciertas ventanas temporales.

(Actualidad en I+D p. 149)

El nabo como recurso forrajero

En la región templada húmeda de Argentina, durante el invierno, se produce una disminución de la oferta de forraje que puede ser corregida con diferentes recursos.

Recientemente se empezó a tener en cuenta como opción a las crucíferas (Brassicaceae) como los nabos forrajeros (*Brassica napus*) con uso monofítico o asociados a gramíneas. Según los investigadores, estos recursos son importantes desde el punto de vista de la producción de forraje y de la rotación con cultivos de cosecha por los aspectos benéficos para el suelo. Se dilucidó que la mezcla de nabo forrajero más avena fue una mejor alternativa que el nabo forrajero puro.

(Actualidad en I+D p. 155)

Expansión agrícola por índices de vegetación

En Sudamérica ocurrieron grandes transformaciones del paisaje gracias a mejoras tecnológicas, nuevas condiciones en el mercado y precios internacionales. Así, muchos pastizales, bosques y arbustales fueron transformados para la producción de soja. Mediante teledetección y SIG se cartografiaron las áreas de cultivos anuales y se evaluaron los cambios ocurridos para entender esos procesos. De esta forma, los cambios más notorios fueron la disminución del 66 por ciento en la superficie ocupada con cultivos de invierno como práctica única, y los incrementos del 62 y 52 por ciento en la superficie de los cultivos de verano y doble cultivos, respectivamente.

(Actualidad en I+D p. 179)

Petunia en sistema flotante

El sistema flotante es un tipo de producción hidropónica de plantines muy utilizado en el sector tabacalero, pero en el florícola es nuevo y no está muy estudiado y difundido.

Este sistema permite reducir la mano de obra y el uso de agua con respecto a otros sistemas. A su vez, las plantas de petunia (*Petunia hybrida*) son muy cultivadas y requieren plantines de calidad. Por lo tanto, evaluar el sistema flotante con esta especie y lograr un plantín adecuado constituye un aporte valioso para el sector. Se buscaron producir plantines de petunia en sistema flotante como alternativa al sistema convencional.

(Actualidad en I+D p. 208)

Resistencia de los botones florales del algodón

En el género *Gossypium* existen alelos mutantes que confieren tolerancia a determinados insectos. Entre los de mayor eficacia se encuentra el rasgo *high glanding* (presencia de glándulas de gossipol en el tercio superior del cáliz). Se buscó estudiar la relación entre la edad de los botones florales y la resistencia a lepidópteros inducida por las glándulas de gossipol. Se diseñaron bioensayos con larvas de *Spodoptera frugiperda* Smith y caracterizaciones de la densidad de glándulas en botones florales de diferentes edades. Estas evidencias demuestran que el carácter *high glanding* se comporta como un factor antibiótico en larvas de *S. frugiperda*.

(Actualidad en I+D p. 161)

Fungicidas contra mancha amarilla en trigo

La principal mancha foliar del trigo es la mancha amarilla causada por *Drechslera tritici-repentis* (Dtr). En la búsqueda de información a fin de esclarecer la falla en el control, los investigadores organizaron una recolección de aislamientos de Dtr e identificaron una nueva especie del género, *D. siccans* (Ds) asociada a los síntomas de la mancha amarilla. Los acontecimientos pueden ser atribuidos a alteraciones en la sensibilidad de Dtr o a una menor sensibilidad de Ds a los fungicidas usados. El objetivo de este trabajo fue determinar la sensibilidad micelial de Ds, aislada de trigo, a fungicidas en experiencias *in vitro*.

(Actualidad en I+D p. 192)



Nuevo índice de sustentabilidad agropecuaria

El trabajo describe una experiencia de diseño, desarrollo y cálculo de un índice de evaluación de la sustentabilidad agropecuaria denominado ISAP (Índice de Sustentabilidad Agropecuaria) que se estimó en siete establecimientos agropecuarios de Salta y se construyó mediante indicadores previamente seleccionados con los productores agropecuarios. Se pensó como un "sistema socioecológico", lo que permitió incluir en la evaluación indicadores de gobernanza y toma de decisiones de gestión. El cálculo se realizó con la participación de los productores agropecuarios, responsables de la evaluación de sus propios establecimientos.

(Actualidad en I+D p. 168)

Estimación de volumen de *Eucalyptus*

El género *Eucalyptus* es uno de los más utilizados en las plantaciones forestales, es ampliamente comercializado y empleado en la industria para una amplia variedad de productos. Consecuentemente, es necesario contar con ecuaciones de volumen que permitan predecir con la mayor exactitud posible y a través de variables de fácil relevamiento, las existencias maderables de los árboles del rodal. En general ellas se basan en métodos destructivos que tienen un alto costo operativo. En este trabajo se ajustaron modelos de predicción de volumen total sin corteza (vtsc) y volumen total con corteza (vtcc) de árboles individuales en forma simultánea.

(Actualidad en I+D p. 201)

Siembra directa a largo plazo

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en la región central de Córdoba es la disponibilidad hídrica, por lo que toda práctica de manejo que favorezca la captación, el almacenamiento y la conservación del agua en el suelo redundará en beneficios.

En un ensayo de larga duración se evaluaron diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo sobre el rendimiento de soja y maíz, el agua útil inicial, el aporte de residuos y el stock de carbono. Se comprobó que la siembra directa contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y el stock de carbono presente en el suelo.

(Actualidad en I+D p. 215)

SIEMBRA DIRECTA

Un sistema de manejo CONSERVACIONISTA



Un sistema de manejo conservacionista



Esta técnica agronómica mejora la condición hídrica del suelo y, en consecuencia, contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y las reservas de carbono. Así lo confirmó un ensayo de 20 años del INTA Manfredi, en Córdoba.

Por Laura Pérez Casar





**EXISTEN CERCA
DE 50 MILLONES
DE HA CON EROSIÓN
HÍDRICA O EÓLICA
QUE GENERAN PÉRDIDAS
ECONÓMICAS.**



Mientras que el notable tango Volver de Carlos Gardel y Alfredo Le Pera recita “*que veinte años no es nada*”, para los técnicos del INTA Manfredi (Córdoba) fue más que suficiente para comprobar que la siembra directa es un sistema de manejo que mejora la condición hídrica del suelo y, en consecuencia, contribuye a aumentar los **rendimientos de los cultivos** y las **reservas de carbono del suelo**. Un dato que se destaca en el año internacional de los Suelos (AIS), declarado por la ONU para 2015.

En la Argentina, de acuerdo con un informe de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), existen casi **50 millones de hectáreas** afectadas por erosión hídrica o eólica en grado moderado o grave, que generan pérdidas de hasta 700 millones de dólares por año.

Esto fomenta un replanteo productivo tendiente a la conservación de los recursos naturales y, en este contexto, es que las investigadoras del INTA Manfredi y responsables del ensayo de larga duración, María Basanta y Carolina Álvarez, ponderan a la **siembra directa** como un **sistema productivo conservacionista**.

En este sentido, Basanta detalla que “luego de estudiar durante 18 años el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo, concluimos que la siembra directa, junto con una rotación de cultivos con alta frecuencia de gramíneas y una fertilización balanceada, crea las **mejores condiciones para la captura de carbono**, que se traduce en incrementos en rendimiento y en aportes de residuos (rastros) al suelo”.

Por su parte, Álvarez indica que, en las condiciones ambientales de Manfredi, los rendimientos en soja y en maíz pueden ser superiores en siembra directa y superar los 2.800 y 7.000 kg/ha, respectivamente, en cinco de cada 10 años. Mientras que en sistemas de labranza, esa proporción cae a tres de cada 10 años.

Además, explica que los rendimientos de soja en rotación con maíz son mayores que cuando se realiza en monocultivo y superiores aún cuando se utiliza la siembra directa.

“Esto se relaciona directamente con el agua útil del suelo al momento de la siembra por el aporte del rastrojo de maíz que, por su mayor volumen, mejor cobertura y mayor duración, es más eficiente en la captación y conser-

EL APORTE DEL INTA

En 1956, se creó un organismo a fin de vigorizar el desarrollo de la investigación y extensión agropecuaria llamado Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Entre los innumerables aportes e innovaciones (proporcionados al país y fundamentales para el desarrollo nacional) se destaca la adaptación de la siembra directa a nuestro país.

En aquel septiembre de 1977, mientras se realizaba la Primera Reunión Técnica de Cultivos Sin Labranzas en el Club Argentino de Marcos Juárez, nadie avizoraba que ese novedoso método de siembra, que prescindía de labores de remoción de suelo tuviera, casi cuarenta años después, el auge del cual hoy goza como aliada del productor agrícola.

En la actualidad, la siembra directa es una herramienta para el productor argentino que presenta ventajas como el control de la erosión, el facilitamiento en la recuperación física y biológica de los suelos, el uso eficiente de los recursos naturales, de mano de obra y maquinaria y de la gestión empresarial y utilización de tierras marginales.

vacación el agua que el rastrojo de soja”, detalla.

“A su vez (continúa la especialista), los **mayores rendimientos** en maíz se obtuvieron en siembra directa, sistema en el cual se registraron los mayores niveles de agua útil a la siembra del cultivo”.

En referencia al aporte de carbono, las técnicas destacan el incremento percibido cuando se pasa de un sistema con labranzas a uno de siembra directa. Además, la inclusión de maíz y de cultivos de cobertura en la secuencia mejoran los niveles de aportes de carbono, lo que se traduce en **mayores contenidos de carbono en el suelo**.

En consecuencia, la siembra directa en la rotación de soja con maíz y con cultivo de cobertura fue el sistema de cultivo que presentó el mayor stock de carbono del suelo, mientras que los tratamientos con labranzas arrojaron las cifras inferiores.

El suelo, silo del agua

La agricultura tiene un gran desafío de aquí al 2050: alimentar a una población mundial que alcanzará las 9.000 millones de personas. Para ello,

según datos de la FAO, se necesitará más agua para producir ese 60 por ciento adicional de alimentos.

Si bien los seres humanos podemos sobrevivir con unos pocos sorbos de agua al día, los alimentos que consumimos tienen incorporada una gran parte de este recurso escaso. Es que, según estimaciones de este organismo, se necesitan 15 mil litros para producir un kilo de carne. El ejemplo, entre muchos posibles, pasaría desapercibido si no fuera por este dato: **sólo el 0,5 por ciento del agua del planeta es dulce**.

En este contexto, la FAO hace referencia a la toma de conciencia por parte de la agricultura (que consume el 70 por ciento del agua dulce de mundo) para aumentar la eficiencia en su uso y aprovechar al máximo los recursos limitados.





Para el investigador del Instituto de Suelos del INTA Castelar, Rodolfo Gil “**el suelo es el silo del agua**” e indica que es clave la palabra “estrategia” en el uso de este recurso vital para obtener una mayor producción agropecuaria. Y deja su máxima: “no hay recetas, sólo hay estrategias”.

En este marco, la siembra directa escala importancia al posicionarse como un sistema de manejo que, tal

**PARA OBTENER UNA
COSECHA SATISFATORIA
SE REQUIEREN
ALREDEDOR CINCO
MILLONES DE LITROS
DE AGUA POR HECTÁREA.**

como corroboraron los técnicos del INTA Manfredi, mejora la condición hídrica del suelo.

Ventajas que trascienden las fronteras

Se trata de una técnica basada en el cultivo de la tierra sin arado previo. Así, no se remueven los rastrojos de los cultivos anteriores para asegurar una cobertura permanente del suelo y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del recurso.

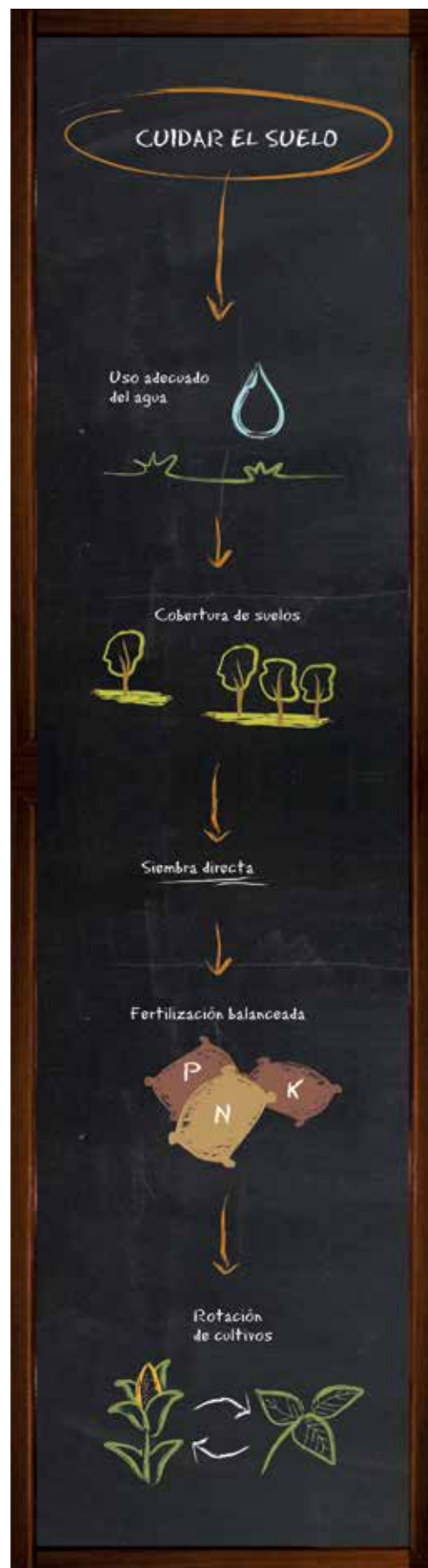
Según datos de Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresid), se practica, actualmente, en aproximadamente **95 millones de hectáreas en el mundo**, de las cuales el 47 por ciento corresponde a América Latina, el 39 a Estados Unidos, 9 a Australia y cerca de 3,9 a Europa, Asia y África.

En este contexto, la técnica del grupo Recursos Naturales del INTA Paraná, Carolina Sasal, destaca que la siembra directa presenta beneficios como “la **protección** de la superficie del suelo con rastrojos, así como la ausencia de labores de remoción del suelo constituyen a la siembra directa como una herramienta para minimizar la erosión hídrica”.

Asimismo, agrega que “numerosos estudios coinciden en que bajo siembra directa y con rotación de cultivos **se aumenta la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua. Esto genera** menores pérdidas de este recurso hídrico y sedimentos por escorrentía con respecto a suelos labrados, lo que mejora la eficiencia del agroecosistema y reduce riesgos ambientales”.

En un contexto mundial en el que ciertos sectores estiman que la de-

**EL MUNDO CUENTA
CON 300 MILLONES
DE HECTÁREAS
DE TIERRAS PRODUCTIVAS
DETERIORADAS
EN FORMA IRREVERSIBLE.**



manda de agroalimentos crecerá un **70 por ciento** en los próximos 40 años, la producción sustentable y la conservación de los recursos naturales ocupan un rol clave.

En este sentido, el director del Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA), Roberto Casas, sostiene que “el suelo agrícola configura **el soporte más sólido de la economía** de nuestro país y conservarlo se torna imprescindible para garantizar el bienestar de todos los habitantes de la nación. Para él es fundamental “reflexionar sobre la importancia de proteger nuestros suelos productivos, verdadera fábrica de alimentos”.

Ambos técnicos aseguran que “la siembra directa, desde su implementación en la década del 90, permitió **mejorar la calidad de los suelos** (mediante un control efectivo de la ero-

sión), incrementar la materia orgánica presente en función de la rotación de cultivos y mejorar el aprovechamiento del agua”.

Por su parte, el director de PROSA advierte sobre el avance del **monocultivo** en reemplazo de las rotaciones tradicionales: “esto tiene un impacto desfavorable sobre las funciones del suelo y la sustentabilidad del agroecosistema. Sólo se repone aproximadamente la tercera parte del total de los nutrientes extraídos por los granos”.

Más información:
Mara Basanta - INTA Manfredi
Carolina Alvarez - INTA Manfredi
Rodolfo Gil - Instituto de Suelos del INTA Castelar
Carolina Sasal - INTA Paraná
Roberto Casas - Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA)

SUELOS ANEGABLES

Sostenibilidad productiva y social

Existen 12 millones de hectáreas con características de suelos salinos o alcalinos que suelen permanecer anegadas parte del año. Esta situación limita el potencial productivo de estos ambientes, razón por la que el manejo sostenible es la clave para la recuperación de esos suelos.

Por Clarisa Cámpora





Los suelos son la base de los sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal y proporcionan una **amplia variedad de servicios ecosistémicos**. Algunos de ellos se refieren al almacenamiento de carbono orgánico, el ciclo de nutrientes, la neutralización de desechos tóxicos, la provisión de agua y alimentos, la regulación de ciclos como las inundaciones, la degradación de los suelos y la salinización, y la regulación de la calidad del agua y el aire atmosférico.

Entonces, existe una amplia gama de servicios a los que se suman los valores estéticos, espirituales y culturales, además de las oportunidades de recreación que brinda, las cuales benefician a la gente directa e indirectamente. Por estas múltiples funciones, **los suelos no pueden considerarse aisladamente**, sino como parte esencial del ecosistema.

A raíz del crecimiento poblacional y el desarrollo económico, se generan **presiones** sobre los suelos que conducen a un cambio en su uso. En consecuencia, aproximadamente el 85 por ciento de las tierras agrícolas del planeta están degradadas por erosión, la compactación y la salinización, entre otros procesos negativos.

Por consiguiente, **las personas pueden degradar la capacidad del ecosistema** de seguir ofreciendo servicios, ya sea porque se cambia la

composición y estructura del sistema o su funcionamiento, o porque se extraen materiales del ecosistema a un ritmo superior a su capacidad de recuperación.

En ese sentido, el INTA lleva adelante investigaciones para abordar las problemáticas de estas cuencas anegables asociadas a la expansión de la frontera agrícola, el establecimiento de pastizales para el engorde del ganado, la escasa planificación en el manejo del agua y los cambios de uso de la tierra.

Salinización de suelos inundables

La Pampa Deprimida y la Pampa Interior o Arenosa Bonaerenses y los Bajos Submeridionales del norte de Santa Fe y el sur de Chaco, en la Argentina, se caracterizan por ser áreas de **planicies extremas e inundables** y en donde las condiciones del terreno limitan la evacuación de los excesos hídricos. Esto está asociado con la salinización o sodificación de los suelos, característica que limita fuertemente su aptitud de uso agrícola.

Según el director del Instituto de Suelos del INTA Castelar, Miguel Taboada, existen **dos tipos de anegamiento**, uno por **saturación** de agua del perfil por ascenso del nivel freático y otro por **acumulación** superficial de agua de lluvia sobre un subsuelo poco per-

“SON 12 MILLONES DE HECTÁREAS CON CARACTERÍSTICAS DE SUELOS SALINOS Y/O ALCALINOS” (MIGUEL TABOADA).



LOS ANEGAMIENTO CAUSADOS POR EL AGUA FREÁTICA SON LOS QUE POSEEN MAYOR POTENCIAL DE SALINIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SUELO.

meable (napa colgante), en un área muy plana. Además, deben mencionarse las inundaciones o desbordes de ríos, asociados a lluvias intensas. “Son **12 millones de hectáreas** con características de suelos salinos y/o alcalinos, donde llueve y existen grandes planicies con mala red de drenaje”, afirma Taboada. De los diferentes tipos de anegamiento, los causados por el agua freática son los que poseen mayor potencial de salinización de la superficie del suelo.

Recuperación de suelos y demanda ganadera

Los suelos afectados por sales en la **región pampeana** son en su mayoría arcillosos y poco permeables en su profundidad, por lo que suelen permanecer con agua en superficie o con el perfil saturado en ciertas épocas del año. La presencia de elevados contenidos de sales y/o sodio intercambiable en estos suelos limita directa o indirectamente su potencial productivo. La vegetación natural que predomina en estos ambientes suele tener **menor productividad forrajera**.

Según el especialista de la Agencia de Extensión de Chascomús del INTA, José Otondo, “cuanto más salino o sódico es el suelo, más extremo es su régimen hídrico, menor es su cobertura vegetal y más difícil es su recuperación”.

La **Cuenca del Salado**, considerada como la región de cría vacuna más importante del país, posee una superficie estimada de dos millones de hectáreas con esta problemática. En la última década, esta región sufrió un **incremento en la carga animal** impulsado por el aumento en la superficie dedicada a la agricultura. Esto provocó una **mayor presión del uso de los pastizales naturales**, principalmente sobre los ambientes menos productivos, cuyos suelos suelen estar afectados por sales y sodio, y poseen severas limitantes para la implantación de pasturas.

“Esta pérdida de cobertura, asociada al sobrepastoreo, genera un **incremento en la temperatura del suelo** y una mayor pérdida de agua desde la



**EL SUELO
ES UN RECURSO
NO RENOVABLE
Y SU PRESERVACIÓN
ES ESENCIAL
PARA LA SEGURIDAD
ALIMENTARIA
Y UN FUTURO
SOSTENIBLE.**

superficie por evaporación. Al ascender el agua a través del perfil de suelo por capilaridad arrastra las sales hacia la superficie, donde se concentran”, explica Otondo.

Existen distintas **técnicas de manejo de suelos** para abordar este tipo de problemática, una de ellas es la incorporación de especies, conocida como **fitoestabilización**, que consiste en seleccionar e introducir en el pastizal especies de alta producción de biomasa que poseen la capacidad de tolerar ambientes extremos.

Estudios realizados en el norte de la Cuenca del Salado indican que especies megatérminas, como la grama Rhodes (*Chloris gayana Kuhn*) y el mijo perenne (*Panicum coloratum L.*), debido a su mayor producción de biomasa y el aumento de la cobertura del suelo, contribuyen a la mejora de los suelos sódicos a través de la **disminución de sales**, el aumento de los **stocks de carbono** y una mejor condición física del suelo.

En comparación con la comunidad vegetal nativa, estas especies incrementaron la producción primaria neta aérea y disminuyeron 10 veces la superficie de suelo desnudo. “El establecimiento de megatérminas permitiría a los productores aumentar simultáneamente el suministro de forraje del ganado y mejorar la reserva de carbono y las propiedades físicas de suelos sódicos de clima templado”, concluye Otondo.

La nueva realidad productiva de estos suelos, plantea la necesidad de continuar con la generación de información sobre los recursos forrajeros tolerantes a dichas condiciones y cuantificar su productividad, aspecto básico para satisfacer las demandas ganaderas.

En el **noroeste bonaerense**, el INTA General Villegas llevó adelante en campos de productores distintas experiencias sobre la implantación y la productividad de **especies forrajeras templadas** como el agropiro alargado,



**“CUANTO MÁS SALINO O SÓDICO ES EL SUELO, MÁS EXTREMO ES SU RÉGIMEN HÍDRICO, MENOR ES SU COBERTURA VEGETAL Y MÁS DIFÍCIL ES SU RECUPERACIÓN”
(JOSÉ OTONDO).**

Lotus tenuis, *Melilotus officinalis* y especies megatérmicas, con el objetivo de conformar una cadena forrajera en esos suelos que satisfaga las necesidades de los planteos de ganadería de cría y/o ciclo completo.

Estos suelos ocupan **2,5 millones de hectáreas en la región**, tienen baja cobertura vegetal y diversidad florística, producto de la presencia de un exceso de sales solubles, sodio intercambiable (o ambos) que, sumado a los encharcamientos frecuentes, limitan fuertemente la productividad primaria.

Los resultados afirman, según el investigador del INTA Villegas, Ramiro Bandera, que “la **implantación** de esas especies **permiten duplicar y hasta triplicar la producción de forraje** (con la aplicación de fertilizantes), en comparación con la productividad primaria actual de esos suelos y, por otro lado, mejorar la distribución estacional de forraje”.

Asimismo, la implantación de esas especies no solo permite satisfacer las demandas de forraje de los planteos de ganadería, sino que además permite una **recuperación** lenta de las propiedades físicas y químicas de estos suelos.

Manejo sustentable del suelo arrocero

La provincia argentina de **Entre Ríos**, según la Bolsa de Cereales local, experimentó un crecimiento del ocho por ciento en la **producción de arroz** con un área sembrada de 74.200 ha durante el ciclo agrícola 2014/15.

El arroz, dadas sus características de **especie semiacuática**, necesita de condiciones de suelo inundado durante gran parte de su desarrollo. En esa provincia, se utiliza agua de diferente origen para el riego: agua superficial proveniente de ríos, arroyos y embalses, y agua subterránea obtenida a partir de pozos.

Según el investigador del INTA Paraná, Marcelo Wilson, en Entre Ríos el sistema de producción de arroz regado con agua de origen subterráneo se realiza especialmente sobre suelos que contienen alta proporción de **arcillas expandibles**, y requieren de **grandes volúmenes de agua**.

El manejo tradicional del cultivo, que utiliza el riego por inundación, incorpora entre 1.000 a 1.300 mm anuales de agua en época estival. El agua subterránea utilizada para el riego posee bicarbonato de sodio, una sal que provoca la desestabilización de la estructura

del suelo (la organización de las partículas del suelo en forma de agregados o terrones) por sodificación. Particularmente, “estos problemas se observan en lotes con alta participación de arroz en la rotación”, asegura Wilson.

Al mismo tiempo, el **exceso de tránsito** en operaciones de **siembra, cosecha y laboreo** que requiere el cultivo, las cuales se realizan bajo condiciones de saturación del perfil y utilizan maquinarias muy pesadas, afecta aún más de manera negativa la estructura del suelo y dificulta la implantación de cultivos subsiguientes al arroz en la rotación.

Estos resultados son confirmados por el referente del INTA Concepción

del Uruguay, Juan José De Battista, al medir el cuarto año de un ensayo de investigación de diferentes rotaciones agrícolas con arroz y con una pastura. A los ocho años de ese ensayo, en las rotaciones agrícolas el contenido de carbono fue un 20 por ciento inferior que en la rotación arroz–pastura.

Las investigaciones del INTA muestran que para lograr el **manejo sustentable del sistema arrocero** en suelo arcilloso, con riego a partir de agua de origen subterráneo, se deben **incrementar los tenores de materia orgánica y reducir los ingresos de sodio** al complejo de cambio. Para ello, los referentes aconsejan una rotación que incluya un 50 a 60

por ciento de pasturas y un 40 a 50 por ciento de agricultura, con una participación del arroz inferior al 20 a 25 por ciento.

Además, incorporar el **manejo de la calidad del agua**, como la utilización de la proveniente de ríos, arroyos o embalses, o una mezcla de ésta con agua de origen subterráneo colabora en la mejora física del suelo. Además, “en lotes degradados, la utilización de enmiendas químicas, como el uso del yeso agrícola en dosis medias a altas (más de 3.000 kg ha⁻¹) ha dado muy buenos resultados”, concluye Wilson.

Un futuro inmediato

El suelo es un **recurso no renovable** y su preservación es esencial para la seguridad alimentaria y un futuro sostenible.

Según Taboada, “el desafío del INTA es continuar con la generación de tecnologías aptas para que todos los productores del país puedan conservar y manejar sus suelos y, de esta manera, garantizar que la población disponga de los bienes y servicios que estos proveen a la **economía local, regional y nacional**”.

Ello debe lograrse a través de un **modelo de desarrollo equitativo y de inclusión**, que promueva el uso no degradante de los ecosistemas. Para ello, el camino lógico es la búsqueda de un balance entre la oferta de los recursos naturales y la demanda de la población, donde el fin último es asegurar la canasta básica de alimentos para toda la población del país.

Más Información:

Miguel Taboada
 taboada.miguel@inta.gob.ar
 José Otondo
 otondo.jose@inta.gob.ar
 Ramiro Bandera
 bandera.ramiro@inta.gob.ar
 Marcelo Wilson
 wilson.marcelo@inta.gob.ar
 Juan José De Battista
 debattista.juan@inta.gob.ar





**“LA PRECIPITACIÓN
ES LA VARIABLE PRINCIPAL
EN LA DEFINICIÓN DE LOS
NIVELES PRODUCTIVOS
DENTRO DE LOS SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN
AGROPECUARIOS DE SECAÑO”
(CARLOS TORRES CARBONELL).**

REPOSITORIOS DIGITALES

Conocimiento libre, una llave para pensar el futuro del agro

En una sociedad que demanda información, el INTA pone a disposición pública conocimiento científico-técnico generado en el organismo. 630.000 registros sobre diferentes variables agroclimáticas y 10.000 fichas edafológicas, disponibles en repositorios de acceso libre.

Por Daniela Novelli

Crear que las nuevas tecnologías invadan el mundo y determinan el comportamiento de los sujetos hasta convertirlos en **ciegos devotos** es exagerado, tanto como la liviandad de no reconocer que **condicionan y transforman las lógicas de los vínculos y la producción** de información. En este contexto, individuos, organizaciones, entidades científicas y hasta el mismo Estado se acomodan a los nuevos mandatos y exploran las potencialidades que ofre-

cen los soportes propulsados por Internet y el lenguaje digital.

En este sentido y con el objetivo de responder a los **procesos emergentes** de una sociedad atravesada por el conocimiento, a fines de 2013 el Congreso argentino sancionó la ley de acceso libre a la información científica que busca consolidar un **Sistema Nacional de Repositorios Digitales**, del que participen los organismos de Ciencia y Técnica del país y entre los

que se destaca el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Así surge la reciente decisión del Instituto de Suelos del INTA de emprender la **digitalización de 10.000 fichas edafológicas** que describen los perfiles de suelo de la provincia de Buenos Aires y servirán para constituir el Sistema de Información de Suelos. Por su parte, las circunstancias y la propia razón de ser del Instituto de Clima y Agua hicieron que comenzara a





**“SI SE CONOCE EL
COMPORTAMIENTO
DE LAS VARIABLES
METEOROLÓGICAS Y CÓMO
FUERON EN EL PASADO,
PUEDEN CONSTRUIRSE
PROYECCIONES Y ANTICIPAR
SU COMPORTAMIENTO A
FUTURO”
(ROBERTO DE RUYVER).**

construir su reservorio a partir de mediados del siglo XX, gracias a los datos que las Estaciones Meteorológicas del INTA producían y retransmitían al Servicio Meteorológico Nacional. Hoy día, esos datos conforman el **Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico**, un espacio que alberga alrededor de **630.000 registros** sobre diferentes variables agroclimáticas y continúa en crecimiento.

Estos repositorios no sustituyen el olor preciado de los libros ni el saber acumulado en los compendios de investigación, así como tampoco lo hace la información digital en sí misma. No obstante, podría pensarse que el acceso público al conocimiento a través de los repositorios significa un **guiño a la democratización** del saber que, en el terreno del agro, supone la posible satisfacción de una premisa extendida entre los productores: “disponer de información de calidad ayuda a tomar decisiones más acertadas que, a su vez, mejoran la competitividad”.

En esa línea, el investigador del Instituto de Clima y Agua del INTA, Roberto De Ruyver, asegura que “en la medida que se conoce el comportamiento de las variables meteorológicas que afectan la producción y cómo fueron en el pasado, pueden construirse **pro-**

yecciones más sólidas y anticipar su comportamiento a futuro”. Esto implica entender el potencial de la **genealogía** como una dimensión de la investigación, en tanto “los datos históricos tienen un valor predictivo”, afirma.

De igual manera, el especialista en Cartografía de Suelos, Darío Rodríguez, resalta la importancia de la información que aportan las fichas edafológicas y las define como “un insumo más a la hora de entender la complejidad de la producción”. “Conocer algunas características de los perfiles de suelo como profundidad efectiva, textura o susceptibilidad a la erosión puede ayudar a tomar decisiones de manejo para este recurso”, continúa.

Según explica Rodríguez, las fichas edafológicas se completan cuando se describe un perfil de suelo, para lo cual se realiza un pozo o calicata y un especialista en reconocimiento de suelos evalúa la secuencia de horizontes, espesor y color de cada estrato, pH, textura, estructura, entre otros parámetros. Esos datos recolectados *in situ* son registrados en las fichas, las cuales también contienen los resultados obtenidos del análisis de laboratorio de las muestras.

En este caso, las fichas se construyeron a partir de **relevamientos sistemáticos** llevados a cabo por el instituto desde la década del 60. “Este tipo de relevamientos tiene como principal finalidad la **construcción de Mapas de Suelos**, actividad en la que el Instituto de Suelos del INTA es pionero en el país”, sostiene Rodríguez, mientras destaca la reciente participación del



instituto en la construcción del primer Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe.

Sin embargo, es interesante no dejar de ponderar que estas fichas edafológicas se reunirán en el **Sistema de Información de Suelos (SiSINTA)**, un **repositorio de acceso libre** que estará disponible entre fin de este año y principios de 2016. Al respecto, el especialista argumenta que la digitalización implica una **alternativa** valiosa para conservar los datos y compartirlos.

“Es conveniente digitalizar los datos, por un lado, para evitar el deterioro, rotura o pérdida de las fichas, si se tiene en cuenta que están hechas de cartón, y, por otro lado, para transformar la información que ahora está en papel en un formato digital y de libre acceso”, expresa Rodríguez, quien además se desempeña como coordinador del módulo SiSINTA.

De acuerdo con el investigador, este repositorio está dirigido a asociaciones de productores, ámbitos municipales o provinciales, organismos estatales o privados, estudiantes de universidades, expertos y profesionales del sector. “El hecho de que la información esté disponible de manera pública significa también una **oportunidad para la investigación científica**”, acentúa.

Un repositorio con historia

Per en materia de repositorios, el Instituto de Clima y Agua del INTA es un predecesor, ya que **hace más de 60 años comenzó a recolectar los datos** que hoy constituyen el Sistema

de Información y Gestión Agrometeorológico. En la actualidad, este espacio reúne alrededor de 630.000 registros (sumados a los que se agregan día a día) que hacen un promedio de 18.000 reportes enviados desde cada uno de los 35 observatorios que funcionan en las Estaciones Experimentales del INTA ubicadas en todas las regiones del país.

“Cada observatorio proporciona un registro diario y cada registro es una línea consecutiva de números que permiten cuantificar una multiplicidad

“CONOCER ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES DE SUELO PUEDE AYUDAR A TOMAR DECISIONES DE MANEJO PARA ESTE RECURSO” (DARÍO RODRÍGUEZ).



LEY DE ACCESO A LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA

A fines de 2013, el Congreso argentino sancionó la ley 26.899 que establece que las instituciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología deben crear repositorios digitales de acceso abierto y gratuito. En estos espacios, se reunirán aquellas producciones científico-tecnológicas (tesis académicas, artículos de revistas y publicaciones en general) que hayan surgido de investigaciones apoyadas con recursos públicos.

La aplicación de la ley está a cargo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación que, además de brindar facilidades para que las instituciones del Sistema Científico construyan sus reservorios, debe definir los estándares de interoperabilidad que se adopten en el Sistema Nacional de Repositorios Digitales.

Estos estándares permiten que el sistema de repositorios funcione como un portal unificado, en que el usuario, a través de una búsqueda, accede al cúmulo de información depositado por todas las entidades del Sistema Científico sobre una temática. Asimismo, el hecho de constituirse como un sistema de repositorios habilitó su adscripción a “La Referencia”, la Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas que integran Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Venezuela, El Salvador y Argentina.

La normativa estipula que las investigaciones deberán ser colocadas en los repositorios digitales de sus instituciones, en un plazo no mayor a los seis meses desde la fecha de su publicación o aprobación. Además, subraya la obligatoriedad de publicar los datos de investigación primarios a partir de los cinco años posteriores a su recolección.

**“CADA OBSERVATORIO PROPORCIONA UN REGISTRO DIARIO Y CADA REGISTRO ES UNA LÍNEA CONSECUTIVA DE NÚMEROS QUE PERMITEN CUANTIFICAR UNA MULTIPLICIDAD DE VARIABLES”
(ROBERTO DE RUYVER).**

de variables”, afirma De Ruyver, quien aclara que la cantidad de registros logrados depende del año en que la unidad comenzó a funcionar. A excepción del observatorio de Castelar que inició sus actividades en 1951, la mayoría de las unidades emitieron los primeros reportes entre 1961 y 1968.

Cada registro contiene datos sobre cantidad de precipitaciones, temperatura máxima y mínima, humedad, radiación global, velocidad media del viento, dirección prevalente del viento a diferentes alturas, duración del follaje mojado y evapotranspiración potencial. Además, se destacan otras variables como heliofanía, presión atmosférica, horas de frío y temperatura del suelo.

Según indica De Ruyver, en el reservorio los valores correspondientes a cada variable están organizados por fecha y observatorio de procedencia.

El sitio, donde se encuentra el reservorio, se denomina “SIGA 2 INTA” y permite la exportación de los datos en un archivo que se descarga en la computadora del usuario, así como la elaboración automática de gráficos de barras que expresa la información en virtud de un rango de tiempo definido por el usuario.

“Cada productor puede bajar esos datos a través de la Web y utilizarlos en análisis estadísticos, por ejemplo”, agrega el especialista, al tiempo que señala el descubrimiento de una cantidad de copias originales de las libretas que se enviaban al Servicio Meteorológico Nacional para informar los datos relevados en cada variable.

“Esta información permite cotejar la que ya está cargada y completar aquellos períodos históricos, cuyos datos no estén disponibles por alguna razón”, especifica.

Una ventana para la investigación

Más allá del impacto en la planificación de las actividades productivas, la puesta en común del saber científico representa una **oportunidad** para motorizar la producción de nuevos conocimientos, en tanto propicia el desarrollo de proyectos de investigación y el vínculo entre las entidades que integran el Sistema Científico a escala nacional y mundial.

Esta premisa fue comprendida muy bien por el especialista del INTA Bahía Blanca, Carlos Torres Carbonell, quien en junio de 2014 recibió el título de Doctor en Agronomía en la Universidad Nacional del Sur tras la defensa de una tesis que combinó la perspectiva histórica con la posibilidad de trazar una proyección climática para esa zona del sur bonaerense hasta 2050.

Con datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, el estudio examinó el comportamiento de las **precipitaciones** entre los períodos 1860-1960 y 1961-2011, es decir, durante unos **151 años**. A partir de estas observaciones y de la construcción de un modelo de predicción climática a largo plazo basado en la mirada de los principales institutos de clima del mundo, Carbonell estimó que para el período 2012-2050 se espera un aumento del promedio de las precipitaciones anuales del 20,9 y 55,9 por ciento, respecto de los períodos históricos considerados.

“La tendencia indica que, más allá de la ocurrencia de ciclos secos y húmedos, se conservaría la **tendencia al incremento de la precipitación media anual**, iniciado en la década de 1960 y vinculado con el calentamiento global”, explica el especialista, quien además señala que “la mayoría de los trabajos científicos referidos a predicciones climáticas de largo plazo para el sur de Sudamérica expone que estas tendencias de lluvia se extenderían a toda la zona centro de la Argentina”.

Sujeta al rigor teórico-metodológico, esta experiencia pone en juego el valor del análisis histórico de los datos, la importancia de que existan organizaciones que los recopilen y los conserven, así como el carácter necesario de este tipo de información para formular proyecciones que, en última instancia, determinan el planteo sustentable y eficiente de los sistemas productivos.

“La **precipitación es la variable principal** en la definición de los niveles productivos dentro de los sistemas de producción agropecuarios de secano”, apunta Carbonell, finalmente.

Más información:

Roberto De Ruyver – Instituto de Clima y Agua. INTA Castelar.

Darío Rodríguez – Instituto de Suelos. INTA Castelar. Coordinador del módulo Sistema de Información de Suelos del INTA (SiSINTA).

Carlos Torres Carbonell – INTA Bahía Blanca.

“LA DISCUSIÓN ESTÁ EN LA MANERA PARA ACELERAR EL ACCESO A ESTA ENERGÍA, YA QUE ALREDEDOR DEL 40 POR CIENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL DEPENDE DE LA MADERA, EL CARBÓN O LOS DESECHOS ANIMALES PARA COCINAR SUS ALIMENTOS” (JORGE MEZA).





**“TENEMOS UNA
RESPONSABILIDAD MUY
GRANDE CON TODA
LA HUMANIDAD, NO SOLO
CON LA NACIÓN”.**

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN SUELOS

“Un país responsable se construye juntos”

En una entrevista exclusiva con Revista RIA, María Beatriz “Pilu” Giraudo habla sobre las ventajas de que sectores públicos y privados puedan trabajar en equipo para mejorar la calidad de los suelos y su productividad.

Por Felicitas Terreno

“Nosotros producimos alimentos, fibras, bioenergía, y tenemos una responsabilidad muy grande con toda la humanidad, no solo con la Nación Argentina”.

La Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresid) aboga por una reglamentación estatal para aplicar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el campo que aseguren una **mayor productividad** a partir del **cuidado del ambiente y la biodiversidad**.

“Pensamos que es una enorme **responsabilidad para todos** porque en la medida que no nos pongamos de acuerdo en políticas adecuadas que favorezcan las BPA, perdemos la posibilidad de producir cuidando los recursos”, explica la presidenta de la organización, María Beatriz “Pilu” Giraudo.

En el año internacional del Suelo, Giraudo entiende que éste es el “eje

que nunca tenemos que abandonar” porque es “el **sustrato base** desde donde, a partir de su cuidado, podemos plantear un **esquema de cuidado responsable y comprometido**”.

En la propuesta se consideran incentivos para agricultores de pequeña escala y un régimen de “**premios y castigos**” que logre incentivar a los productores para aplicar buenas prácticas, aunque sin dejar de lado la **cientificación** que debe realizarse en conjunto entre instituciones públicas y actores privados.

En entrevistas anteriores se refirió a la necesidad de aplicar una reglamentación estatal para aplicar las Buenas Prácticas en el campo... ¿Cómo cree que se deberían aplicar y qué beneficios presentarían?

Cuando involucramos al Estado en esta reglamentación, partimos de la base de trabajar juntos (públicos y pri-

vados) en el diseño de políticas que todos necesitamos. Pensamos que hay un desarrollo y una innovación muy apropiada de lo que son las BPA para dar **garantía de calidad y cantidad** cuidando no sólo el suelo, sino también siendo eficientes en el uso del agua, sin contaminar el aire y promoviendo la biodiversidad. Todo esto es **clave** para el secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático.

Pensamos que **es una enorme responsabilidad para todos** porque en la medida que no nos pongamos de acuerdo en políticas adecuadas que favorezcan las BPA, perdemos la posibilidad de producir cuidando los recursos.

Si hablamos de BPA, en lo que respecta al suelo... ¿Cuáles considera que son las que lo cuidan y mantienen sus nutrientes?

El problema que inspiró la preocupación de los pioneros de Aapresid

**“NO HAY QUE DESCUIDAR
LA PREOCUPACIÓN
MÁXIMA QUE ES EL
CUIDADO DEL SUELO”.**

hace más de 30 años fue el deterioro que había en ese momento causado por un paradigma milenario de una agricultura con **labranzas** donde la erosión eólica e hídrica limitaba la producción. Perdíamos agua y suelo.

Para nosotros, el suelo es el eje que nunca tenemos que abandonar y, sin lugar a duda, las primeras buenas prácticas que no son negociables son la no remoción, la siembra directa y la cobertura de los suelos. Claro que por sí solas no alcanzan. La práctica inmediata que es fundamental es la alternancia de cultivos y una fertilización balanceada.

¿Se piensa en aplicar BPA en momentos económicos difíciles?

Cuando apuntamos a la sustentabilidad tenemos en cuenta los ejes productivo-ambiental y social con un fuerte compromiso con las comunidades en las que vivimos... pero obviamente si no tenemos un resultado económico positivo es **inviabile** el planteo. Por eso trabajamos intensamente con el gobierno y los candidatos en la **concientización**. Desde la producción hacemos un mea culpa: no nos involucrábamos y pedíamos políticas. Ahora, involucrándonos

podimos llevar reclamos, pero acompañados de propuestas para buscar soluciones y acordar políticas que permitan implementar todo este paquete.

¿Habrá subsidios?

La propuesta de BPA es **para todas las escalas** y pensamos que las pequeñas escalas son las que más colaboración necesitan. No sólo de transferencia de tecnología, sino de las empresas de insumos y otras. Creemos que desde el Estado habría que subsidiar, a través financiamiento, esa adopción de buenas prácticas y la **inserción de esa agricultura de subsistencia a una cadena** que le permita desarrollo e inclusión plena.

Lo que además pensamos es que debería haber un **régimen de “premios y castigos”** para incentivar al que hace las cosas bien. Nosotros producimos alimentos, fibras, bioenergía, y tenemos una responsabilidad muy grande con toda la humanidad, no solo con la Nación Argentina.

¿Cómo es su relación con el gobierno y los candidatos de cara a las próximas elecciones?



Con el gobierno actual la relación a través de los Ministerios de Agricultura, Ganadería y Pesca, y de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva es permanente. Tenemos muchas líneas de trabajo. Nos apoyamos en los puntos que coincidíamos y pudimos avanzar. En ambos casos tratamos de hacerlo con otras instituciones también. Si nos sentamos todos y buscamos soluciones **juntos**, acortamos camino y **somos más eficientes**. Es algo que nosotros aprendimos desde la 125: un país responsable no se construye actuando cada uno por su lado. Acercamos propuestas a los candidatos también y lo hicimos en conjunto con otras instituciones para fortalecer un mensaje común.

Teniendo en cuenta el aumento de la población para el 2050 y que se necesitará hasta un 60 por ciento más de actividades agrícolas, lo que producirá una intensificación en el uso de la tierra... ¿Cómo considera que los suelos pueden salvarse, trabajarlos y, al mismo tiempo, aumentar su rendimiento?

Es difícil pero muy posible. Tuve la suerte de conocer a Carlos Crovetto

(uno de los pioneros de la siembra directa en el mundo) y de vivir un tiempo en su campo en Chile. Ahí, en un campo con pendientes del 40 por ciento, aprendí que así como los hombres podemos destruir al suelo, también lo podemos construir. Los pioneros de Aapresid lo logaron: después de todos estos años **vimos que esos suelos deteriorados se van recomponiendo** mediante la aplicación de todo este paquete de BPA y además vimos que **la producción se incrementaba**. En lugar de deteriorar los suelos, cuanto más se incrementa la producción de la mano de estas prácticas, el suelo mejora y es cada vez más fértil y capta mejor el agua de lluvia, la reserva, la almacena y la cede: **un círculo virtuoso perfecto**. Por eso, más que nunca, defendemos este trabajo conjunto para implementar este paquete tecnológico sostenido en el tiempo.

¿El productor argentino es más consciente de cuidar el suelo y el ambiente que otros?

Para nosotros hay una consciencia muy grande del productor pero lo que pasa es que cuando el resultado eco-



“EL SUELO ES EL EJE QUE NUNCA TENEMOS QUE ABANDONAR”.

VENTAJAS DE LAS BUENAS PRÁCTICAS EN SUELOS

- Disminución de la erosión en un 90 por ciento.
- Disminución de la evaporación directa en un 70 por ciento.
- Mejora de las condiciones físicas, químicas y biológicas.
- Mejora de la fertilidad y reciclaje de nutrientes.
- Aumento de productividad y estabilidad de rendimientos.
- Mayor resistencia frente a adversidades climáticas.
- Favorece el secuestro de carbono por un menor uso de combustibles fósiles (60 por ciento).



**“LOS HOMBRES PODEMOS
DESTRUIR AL SUELO,
PERO TAMBIÉN
LO PODEMOS CONSTRUIR”.**

nómico no te acompaña, lamentablemente está en riesgo tu empresa. Ese es el **momento en el que se toman malas decisiones** que responden exclusivamente a un resultado económico de supervivencia y en ese momento nos perdemos las oportunidades de aplicar todo el paquete que nos dé garantías de mantener esos suelos cada vez más productivos. Perdemos todos, no solo los productores.

Teniendo en cuenta el año internacional del Suelo... ¿Tiene alguna reflexión o consejo?

Los avances tecnológicos, la revolución verde y el sistema tecnológico de comunicación e informática es algo que sorprende día a día, pero a nosotros nos preocupa que todos estos avances nos hagan descuidar la preocupación máxima que es el cuidado del **suelo**, porque es el **sustrato base** desde donde, a partir de

su cuidado, podemos plantear un **esquema de uso responsable y comprometido** para dar respuesta a la demanda no solo del país, sino de la región y gran parte de la humanidad que depende de nuestra producción y productividad.

¿Qué es el suelo para usted?

Es la **madre** de todas las posibilidades. El todo que te da la posibilidad infinita y también la falta de posibilidad; la caída total. Es la **llave** que da respuesta a las demandas que tenemos: cuidándolo es la oportunidad absoluta, y descuidándolo, el caos absoluto. Es así de dramático. Sabemos que dando vida al suelo, le damos más y mejor vida a nuestro país y al mundo.

Más información:

*María Beatriz “Pilu” Giraudo
Presidenta de Aapresid.*

Pastillas

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

Polvo contra diarreas neonatales

El INTA y la empresa Vetanco SA pondrán a la venta el **único producto del mercado** que protege contra el síndrome de la Diarrea Neonatal de los Terneros (DNT) basado en anticuerpos específicos y potenciado por una fuerte **regulación del sistema inmunológico** de la mucosa intestinal. A partir de la **inmunización de gallinas contra cuatro agentes infecciosos** que generan diarrea en terneros (Rotavirus, Coronavirus, Salmonella y *Escherichia coli*), los investigadores del INTA Castelar **produjeron huevos enriquecidos con anticuerpos** específicos que fueron secados para generar un producto en polvo que se incorpora a la dieta láctea de los terneros.



Energía solar para el suelo

Investigadores del INTA recomiendan a los productores aplicar la biosolarización para disminuir la población de patógenos y de malezas sin utilizar químicos y, así poder mejorar la salud de los suelos. Se trata de una técnica que disminuye el **uso de plaguicidas** en la producción de hortalizas y flores ya que no requiere compuestos tóxicos para la salud de los trabajadores y el medio ambiente. En los últimos años, distintos investigadores concentraron esfuerzos en desarrollar técnicas no contaminantes de desinfección del suelo. La solarización, en combinación con la biofumigación, ha demostrado un alto potencial para controlar malezas y patógenos.



Norovirus

Nanoanticuerpos de llama podrían ser utilizados como tratamiento contra uno de los **principales agentes** causales de gastroenteritis aguda en infantes que ocasiona la muerte de al menos **200 mil niños** por año en países en desarrollo. Los VHH presentan numerosos beneficios para ser utilizados como **terapias** en ciertas enfermedades que afectan a humanos y animales: por ejemplo, sus costos de producción son relativamente económicos ya que constituyen **moléculas pequeñas** formadas por una sola cadena de proteína que se pliega fácilmente. Además, pueden producirse en muchas plataformas biotecnológicas ya que son moléculas altamente versátiles.

Plantas solidarias

Investigadores del INTA y del Conicet descubrieron que las plantas identifican a aquellas con características genéticas similares y cooperan entre sí. Este estudio reveló que cuando las plantas tenían características genéticas similares cada una de ellas direccionaba el crecimiento de sus hojas hacia fuera de la hilera, minimizando la interferencia con sus vecinas. En cambio, si los perfiles genéticos eran diferentes, en lugar de cooperar entre ellas, competían por la luz. Esta información determina que, en vez de competir por el espacio y por el acceso a la luz, cooperan entre sí para aprovecharlo, no de manera individual, sino colectivamente.

Más eficiencia con diseño natural

Investigadores del INTA desarrollaron una herramienta de laboreo del suelo basada en la naturaleza que permitiría reducir la demanda de energía y, en el caso de los pequeños productores, trabajar más eficientemente durante más tiempo. Las primeras pruebas se hicieron sobre una púa escarificadora cuyo diseño permitió lograr una disminución de entre un cinco y un siete por ciento en la fuerza de tracción, lo que significa que posee una mejor eficiencia energética que repercute en el ahorro de combustible y de tiempo de trabajo. El INTA se basó en un diseño de la naturaleza para modificar la superficie de una herramienta agrícola.



<http://ria.inta.gov.ar>

Políticas de Publicación

Acceso abierto

RIA es una publicación de acceso abierto, lo que significa que todo el contenido está disponible gratuitamente. Los usuarios pueden leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o vincular los textos completos de los artículos en esta revista sin pedir permiso previo del editor o el autor, aunque se agradecerá informarlo a revista.ria@inta.gov.ar. Esto está de acuerdo con la definición BOAI de acceso abierto.

Autores

Los investigadores deberán tener en cuenta las normativas de redacción de la Revista a la hora de enviar su artículo y deberán aceptar los "términos y condiciones".

Autoría del trabajo

Según la OMPI, "la propiedad intelectual tiene que ver con las creaciones de la mente" y se divide en dos categorías: industrial y derecho de autor. RIA cuenta con la segunda, concesión que se encuentra contemplada dentro de los "términos y condiciones" de la publicación. En el caso de que el trabajo contenga más de un autor, quien suba el trabajo será el contacto con la revista y se hará responsable de mantener informados a sus coautores. La revista tomará las opiniones esgrimidas por ese autor como representativas de su equipo.

Responsabilidades

El autor-contacto deberá asegurar que la información del artículo sea válida y esté disponible para un análisis más profundo (en caso de ser necesario); aprobar y modificar en representación de su grupo el artículo de acuerdo a las observaciones de los evaluadores; y facilitar la disponibilidad de datos, materiales y productos descriptos en el trabajo.

Sugerencias

Los autores de los trabajos pueden sugerir evaluadores para sus artículos, aunque la decisión sobre los réferis será realizada por el Comité Editorial de la publicación. Además, podrán también recomendar la exclusión de determinados evaluadores o instituciones.

Naturaleza de materiales presentados

Todo el material suministrado a la revista debe ser original y no haber sido enviado a otras publicaciones. Esta publicación acepta el envío de material que haya formado parte de una tesis académica publicada de acuerdo a los estándares solicitados por la entidad educativa. Si el autor decidiera utilizar figuras usadas anteriormente o en otra publicación, deberá presentar un documento en el que se asegure que la entidad que tiene el derecho sobre esas imágenes dio su permiso para utilizarlas en esta revista. Los editores de RIA consideran de buena fe que todo el material enviado para publicación cuenta con los permisos necesarios para ser difundidos.

Conflictos de interés

La transparencia en las actividades que tiene a su cargo la Revista es fundamental para la consolidación de su buen nombre en los ámbitos científico-tecnológicos internacionales, por lo cual, RIA requiere a los autores de los artículos una declaración de conflicto de intereses (incluida en los "términos y condiciones"). En el caso de que los hubiese, el artículo será acompañado de una llamada de atención. Por otra parte, la revista también exige a sus evaluadores informar posibles casos de conflicto de intereses a la hora de revisar un determinado artículo.

Tipos de conflicto

De acuerdo a la temática tratada en la Revista RIA, se ha decidido considerar el conflicto de interés en relación al aspecto monetario para la realización del artículo científico (esto incluye gastos de capacitación, empleo, maquinarias, etc.). Así, se considera que este tipo de conflicto puede perjudicar el juicio de un autor o evaluador sobre los documentos que escriba o revise (de acuerdo al caso que corresponda). Antes de enviar el artículo, por favor tenga en cuenta los cinco años previos.

- Financiación: se trata del soporte económico de la investigación (salarios, equipamiento, cobertura de capacitaciones, etc.) a través de organizaciones que puedan ganar o perder económicamente por la difusión del artículo.

- Empleo: pasado, presente o futuro empleo ofrecido por una organización que pueda ganar o perder económicamente a partir de la difusión del artículo.

- Intereses personales: acciones en compañías que puedan ganar o perder económicamente a partir de la difusión del artículo; o patentes cuyo valor pueda ser afectado por la publicación.

Confidencialidad

RIA asegura mantener la confidencialidad de los datos correspondientes a los artículos hasta el momento de su publicación. Si el material es rechazado, la confidencialidad se resguarda por tiempo indeterminado. En este sentido, también se les solicita a los autores que guarden reserva de los artículos enviados (siempre y cuando hayan sido aceptados para publicación) hasta el momento que la información se difunda vía digital o impresa.

Materiales y exámenes

Los materiales y los datos susceptibles de experimentación deben ser explicados claramente para que otras personas puedan replicar las mismas experiencias. Cualquier restricción a este punto, deberá ser informada a la revista. Se agradecerá explicar al lector el acceso a los datos o materiales del texto.

Ética en el uso de animales

Todo trabajo que involucre el uso de animales para experimentación debe cumplir las pautas nacionales e internacionales de Bienestar Animal.

Eucalyptus globulus en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: edades, procedencias y densidad de la madera

MORENO, K.¹; IGARTÚA, D.¹

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron describir el recurso forestal de *Eucalyptus globulus* Labill. (Eucalipto blanco) implantado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en términos de edad, procedencias y suelos; determinar la densidad básica de la madera y analizar su variabilidad. Se estudiaron 110 árboles sobre los que se determinó la densidad básica. Esta se midió sobre rodajas tomadas a la altura del pecho (1,3 m sobre nivel del suelo), según norma TAPPI T 254-om-94. La densidad básica promedio fue de 517,74 kg/m³ (desvío estándar: 42,80 kg/m³), con un mínimo de 419,28 kg/m³ y un máximo de 637,87 kg/m³, y estuvo dentro del rango informado en otros países para la especie. La composición de las masas según edad estuvo en el rango 10-16 años. Las procedencias fueron: dos chilenas, una local y una portuguesa. La densidad básica no registró diferencias importantes desde el punto de vista tecnológico entre edades y no manifestó diferencias significativas entre las distintas procedencias. El 60% de los árboles estudiados se encontró implantado en suelos aptos y muy aptos para el crecimiento de la especie, mientras que el 40% restante lo fue en suelos poco a no aptos. Se observaron diferencias significativas entre los valores de densidad básica según la aptitud de los suelos, encontrándose los mayores valores en suelos poco a no aptos.

Palabras clave: calidad de madera, densidad básica.

ABSTRACT

The aims of the work were: to describe the forest resources of Eucalyptus globulus Labill. of the southeast of the province of Buenos Aires - Argentina, in terms of age, provenances and soils; to determine the basic wood density and to analyze their variability. The basic density was determined on 110 studied trees. Samples were taken at breast height (1,3 m on level of the soil), according to TAPPI T 254-om-94. The average of the basic density was 517.74 kg/m³ (sd: 42.80 kg/m³), with a minimum of 419.28 kg/m³ and a maximum of 637.87 kg/m³. Wood density was inside the range of E. globulus densities reported in other countries. The composition of the resource according to age was in the range 10-16 years. The provenances were: two Chilean, a Local and a Portuguese. The basic density did not register important differences between ages from the technological point of view and did not demonstrate significant differences between provenances. The 60% of the sampled trees were implanted in suitable and very suitable soils for the growth of the species, whereas 40% remaining

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. CC 276 (7620) Balcarce, Provincia de Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: karenmoreno_2@hotmail.com

it was in little to not suitable soils. The average values of basic density showed significant differences according to the aptitude of the soils for the growth of the species. The highest wood density was registered in not suitable soils.

Keywords: wood quality, basic density.

INTRODUCCIÓN

El sudeste de la provincia de Buenos Aires es considerada una zona de producción mixta en donde la actividad forestal ha tenido un desarrollo menos destacado que el agrícola-ganadero (Igartúa y Monteoliva, 2006). Sin embargo, esta zona representa una condición de sitio óptima para el desarrollo de *Eucalyptus globulus* Labill. (eucalipto blanco) (FAO, 1981; Moschini *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2002).

Las plantaciones de reparo implantadas en la región desde la década del 50 dieron lugar, desde mediados de los 80, al aprovechamiento de madera en pie y a su exportación desde el puerto de Quequén, teniendo como destinos la industria celulósica -papelera europea y japonesa-. Se introdujo semilla mejorada desde Chile y Portugal y se creó el Plan de Incentivos a la Forestación, lográndose así alcanzar tasas máximas (2000 a 2500 ha anuales) de forestación hacia fines de los años 90 (MAA-BA, 2011). La crisis institucional de la Argentina en el año 2001 sumada al retiro de la empresa exportadora más consolidada en la región hizo que las tasas de forestación antes mencionadas no continuaran con el ritmo de la década anterior (Igartúa y Monteoliva, 2006; MAA-BA, 2011). En la actualidad la región cuenta con un recurso maderero en crecimiento cuya superficie y existencias en volumen no fueron evaluadas a escala regional sino hasta el año 2011 en que se llevó a cabo el Primer Inventario de Macizos Forestales de *E. globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (MAA-BA, 2011). El estudio de la aptitud del recurso como materia prima fibrosa se ha iniciado a partir del año 1999 (Igartúa *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2002; Monteoliva *et al.*, 2012).

La densidad de la madera expresa la cantidad de "sustancia madera" o la cantidad de "pared celular" que ella contiene. Es un parámetro de relevancia ya que se asocia al rendimiento y a la calidad del producto final y porque es una propiedad fuertemente heredable (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988). Particularmente, la densidad básica (masa anhidra/volumen saturado) es un buen estimador de la calidad de la madera. Esta propiedad está relacionada con otras propiedades físicas y mecánicas, así como con la durabilidad natural y su impregnabilidad. Asimismo permite la estimación de la biomasa forestal, ya sea con fi-

nes relacionados a su uso energético, como para cuantificar su capacidad de almacenaje de carbono.

Estudios que relacionan la densidad básica y la edad han encontrado en *Salix nigra*, especie de porosidad difusa, que la densidad aumenta rápidamente en los primeros años, hasta una estabilización de sus valores alrededor de los 10 años (Panshin y de Zeeuw, 1980). En Galicia, España, se compararon dos masas de *E. globulus* de 23 y 35 años de edad respectivamente, y se concluyó que las plantaciones más jóvenes presentaban los valores más reducidos y dispersos en casi todas las propiedades estudiadas, incluyendo la densidad básica (Bermúdez Alvite *et al.*, 2002). En España, *E. globulus* comienza a considerarse como madera madura y con propiedades uniformes en torno a los 30 a 35 años, dependiendo del tratamiento silvícola aplicado. A partir de esta edad las propiedades mecánicas de la madera de *E. globulus* se revelan excepcionalmente y muy superiores a las otras frondosas europeas, lo que sumado al valor de densidad y dureza de la madera, le abren importantes posibilidades en numerosas aplicaciones relacionadas con la carpintería, el mobiliario y la construcción (Bermúdez Alvite *et al.*, 2002).

Otras investigaciones informan sobre valores de densidad básica en relación con la edad para *E. globulus*. Miranda *et al.* (2001a, 2001 b), en plantaciones de siete años, indicaron valores desde 442 kg/m³ hasta 450 kg/m³ en tres sitios de Portugal, y de 492 kg/m³ a 600 kg/m³ para las mismas plantaciones a los nueve años de edad; también en Portugal Valente *et al.* (1992) indicaron una densidad básica de 550kg/m³ para plantaciones de 12 años. Muneri y Raymond (2001) en plantaciones de siete años en Australia informaron valores entre 460 kg/m³ y 570 kg/m³; mientras que Tomazello Filho (1987) informó valores de 480 kg/m³ en plantaciones de 10 años en Brasil. Estudios locales han reportado valores promedios de densidad básica de 549 kg/m³ en plantaciones de 7 años; y valores de 590 kg/m³ en masas maduras de 40 años de edad (Igartúa y Monteoliva, 2006).

La mayoría de las propiedades de la madera varían de moderadamente a muy heredables (Zobel y Talbert, 1988). Dado este fuerte determinismo genético se espera encontrar diferencias entre procedencias y entre árboles, aun en casos donde estos se desarrollen sobre el mismo sitio y sean contemporáneos (Wilkes, 1988). Los trabajos locales

con la especie han mostrado diferencias entre procedencias y alta variabilidad individual, sobre todo en las masas más jóvenes (Igartúa y Monteoliva, 2006; 2010).

Además de la edad y de la constitución genética de los árboles, se acepta que cualquier factor que afecte el patrón de crecimiento de un árbol (ej. calidad de sitio) puede afectar también las propiedades de la madera. Downes *et al.* (1997) expresan que la mayor fuente de variación de la densidad, en especies de porosidad difusa, se debe a causas genéticas y medioambientales.

La relación crecimiento/propiedades de la madera se ha estudiado con detalle, es confusa y compleja debido al número de factores que afectan tanto a las propiedades de la madera como al crecimiento, lo que impide hacer afirmaciones definitivas (Panshin y de Zeeuw, 1980). En especies de porosidad difusa, como *E. globulus*, la relación entre densidad básica y la velocidad de crecimiento se ha presentado con resultados contradictorios (Zobel y Talbert, 1988; Zobel y Jett, 1995; Mirada *et al.*, 2001a; Igartúa y Monteoliva, 2010).

En oportunidad de la realización del primer Inventario de Macizos Forestales de *E. globulus* antes mencionado, se desarrolló simultáneamente una investigación sobre calidad de la madera en la especie. El presente trabajo comunica resultados parciales de esta investigación xilotecnológica y tuvo como objetivos describir el recurso forestal en términos de edad, procedencias y suelos, así como determinar la densidad básica de la madera y analizar su variabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de material siguió el diseño de muestreo geográfico impuesto por el primer Inventario de Macizos Forestales de *E. globulus* (MAA-BA 2011). Así, fue evaluado el recurso forestal constituido por los macizos en pie (excluyendo cortinas forestales), en una región aproximada de 1587 km² de superficie, comprendida en un radio de 100 km desde el Puerto de la ciudad de Quequén. Los partidos incluidos fueron: San Cayetano, Necochea, Lobería y General Alvarado, porque concentran la mayor superficie forestada con esta especie (MAA-BA 2011). Se utilizó una zonificación edáfica regional sobre la aptitud potencial de los suelos para el cultivo de *E. globulus* (Culot y Dillon, 1998), la cual categoriza a los suelos como muy apto, apto, poco apto y no apto. Los detalles completos acerca de la delimitación del área de estudio, selección de los rodales y establecimiento de parcelas temporarias de muestreo pueden ser consultados en MAA-BA (2011).

El material experimental del presente trabajo correspondió a 32 parcelas temporarias de muestreo compuestas por 30 árboles cada una. Dentro de ellas se seleccionaron al azar entre 2 y 5 árboles para desarrollar los estudios de densidad básica. Se evaluaron 110 árboles en total, los cuales fueron apeados. Se midieron altura total y diámetro a la altura de pecho (1,30 m de altura sobre nivel del suelo) y se practicó un muestreo que permitió tomar dos rodajas

de 5 cm de espesor, a la altura del pecho en cada ejemplar. Las rodajas fueron rotuladas y colocadas en bolsas de polietileno para evitar su desecación brusca hasta el envío al laboratorio. Una vez allí fueron descortezadas. La determinación de la densidad básica (peso seco/volumen saturado) se realizó según norma TAPPI T 254-om-94.

En cada parcela temporaria de muestreo se registró información acerca de fecha de plantación, procedencia geográfica del material de implantación y la aptitud de suelo (MAA-BA 2011). En el análisis de los resultados se emplearon recursos gráficos, medidas de posición y de dispersión. Los análisis de varianza se realizaron bajo modelos a efectos fijos. Se empleó el software estadístico de libre uso R (R Development Core Team, 2011). Por una parte, una vez conocida la dispersión en la variable edad y para el desarrollo de los análisis, esta se agrupó en dos niveles: 10-11 años y 13-16 años. Por otra parte se denominó "V" o "A" a una procedencia indicada como chilena, pero indeterminada debido a la falta de información en cuanto a si procedía de Valdivia o de Angol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio general de densidad básica que presentó la especie en la región es de 517,74 kg/m³, con un desvío estándar de 42,80 kg/m³, un mínimo de 419,28 kg/m³ y un máximo de 637,87 kg/m³. El valor promedio de densidad básica hallado se encuentra dentro del rango de valores informados en plantaciones de Australia, Brasil y Portugal (Tomazzello Filho 1987; Valente *et al.*, 1992; Miranda *et al.*, 2001a, 2001 b; Muneri y Raymond 2001).

La amplitud de valores encontrada para la densidad básica fue de 218,59 kg/m³. El 66% de los árboles estuvieron comprendidos entre 560,54 kg/m³ y 474,94 kg/m³. Esta variabilidad puede resultar importante en términos industriales. La variabilidad en la densidad de este recurso forestal podría deberse a la composición de este en términos de edad y de procedencia, tanto como a la calidad de los suelos de implantación.

La composición de las masas según edad al año 2011, se distribuyó de la siguiente manera: el 36% correspondieron al grupo de edad 10-11 años, mientras que el 64% al grupo de edad 13-16 años. No se registraron plantaciones de 12 años.

Las masas implantadas en la región correspondieron a cuatro procedencias, una local, una portuguesa y dos procedencias chilenas: Valdivia y Angol. El 63,17% de las plantaciones fueron implantadas con material de procedencia chilena (Valdivia 16,36%, Angol 22,27% y "V" o "A" 24,54%), el 28,18% con procedencia portuguesa y el 8% con material de procedencia local.

Al discriminar las procedencias por niveles de edad se observó que las masas implantadas en los años 2001 y 2002, correspondiente al grupo de edad 10-11 años, lo fueron con materiales de procedencia chilena en su totalidad (figura 1). Las implantadas anteriormente, correspondien-

tes al grupo de edad 13-16 años, lo fueron con materiales de procedencia portuguesa en mayor medida, seguida por las procedencias chilenas y en menor medida por materiales de procedencia local.

En relación con los suelos, se observó que un 30% de las plantaciones se desarrollaban en suelos muy aptos, 30% en suelos aptos, 12% en suelos poco aptos, y un 28% en suelos no aptos.

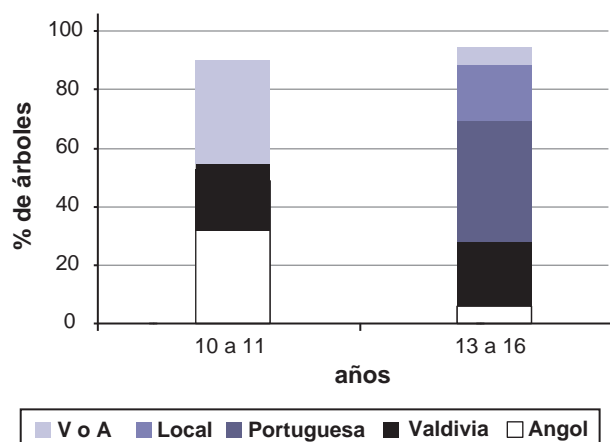


Figura 1. Composición de las masas según edad y procedencia.

V o A: Procedencia indicada como chilena, pero indeterminada, debido a la falta de información, en cuanto a si procedía de Valdivia o de Angol.

Fuente de información: elaborado para la presente edición.

Los valores promedio de densidad básica, según los niveles de edad fueron: 508,18 kg/m³ (desvío estándar: 41,07 kg/m³) en el grupo de 10-11 años y 532, 21 kg/m³ (desvío estándar: 43,09 kg/m³) en el grupo de 13-16 años.

El análisis de varianza indicó que las diferencias en densidad entre los grupos de edad, resultaron no significativas ($p: 0,076$). Sin embargo se observó un valor medio mayor, de densidad básica en las masas de 13-16 años respecto a las de 10-11 años. Esto coincide con lo observado anteriormente en investigaciones locales, donde masas maduras de 35 y de 40 años tuvieron valores promedio de densidad básica de 590 kg/m³ y de 659 kg/m³ respectivamente (Igartúa *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2002). En tanto que en masas comerciales de 7 a 10 años, estudiadas también en la región, se registraron valores promedio de densidad básica en el rango de 488 kg/m³ a 549 kg/m³ (Igartúa y Monteoliva, 2006). Por lo que a partir de estas y otras evidencias sería esperable que a medida que las plantaciones aumenten su edad, la densidad básica también lo haga (Bermúdez Alvite *et al.*, 2002). Con esto no cabría esperar una estabilización de la densidad en el rango de edad que caracterizó al recurso local (10-16 años) tal como sí la encontraron Panshin y de Zeeuw (1980) en *Salix nigra* a los 10 años.

El análisis de varianza para analizar la relación densidad básica/procedencia fue desarrollado dentro del grupo etario 13-16 años por contener todas las procedencias (tabla

1). El mismo indicó una falta de significancia estadística ($p: 0,2538$) si bien la procedencia portuguesa presentó los valores medios más altos de densidad. Esto difiere de lo encontrado por Igartúa y Monteoliva (2010) quienes, sobre plantaciones de 7 años, encontraron diferencias significativas entre la procedencia local y de Valdivia en sus valores promedios de densidad (546,9 kg/m³ vs. 490,8 kg/m³, respectivamente). Las diferencias encontradas entre los resultados del presente trabajo y el de Igartúa y Monteoliva (2010), podrían deberse, por un lado a que en este último no se evaluó la procedencia portuguesa, y por otro, a que los valores medios de densidad básica surgieron de mediciones a distintas alturas a lo largo del fuste. Mientras, en el presente, los valores de densidad surgieron de una sola medición en el fuste (altura del pecho), lo que podría estar otorgando menor precisión en la estimación de la densidad. Son reconocidos en la literatura sobre el género, diferentes patrones de variación axial de la densidad tales como su incremento hacia el ápice, su constancia a lo largo del fuste, o su descenso inicial con aumento posterior hacia el ápice (Downes *et al.*, 1997). Así, un muestreo que capte dicha variación axial puede considerarse más preciso en la estimación de la densidad del fuste.

Edad (años)	Procedencias			
	Angol	Valdivia	Portuguesa	Local
10-11	512,17 (40,45)	524,03 (34,21)	Sin información	Sin información
13-16	516,98 (37,42)	511,85 (35,81)	536,31 (42,42)	515,21 (55,16)

Tabla 1. Densidad básica según edad y procedencias. Entre paréntesis la desviación estándar.

La densidad básica, según la aptitud de suelo, fue analizada en dos categorías: "suelos aptos" (muy apto y apto) y "suelos no aptos" (poco aptos y no aptos). La densidad básica en los árboles implantados en suelos de menor aptitud para el crecimiento de la especie mostró valores más altos (530 kg/m³; desvío estándar 48,38 kg/m³) que la de los implantados en suelos de mayor aptitud (508,6 kg/m³; desvío estándar 35,85 kg/m³). El análisis de varianza indicó que dichas diferencias resultaron significativas al 5% ($p: 0,008$). Esta asociación densidad/sitio de naturaleza negativa se contrapone con los resultados hallados en otros trabajos locales sobre la especie, donde se observó que en sitios de mayor aptitud se manifestaron similares o mayores valores de densidad básica de la madera (Igartúa y Monteoliva, 2006). Así, la relación entre densidad y sitio en el recurso regional parece manifestar resultados contradictorios, tal como se indica para especies de porosidad difusa, como *E. globulus* (Zobel y Talbert, 1988; Zobel y Jett, 1995; Downes *et al.*, 1997; Miranda *et al.*, 2001a, 2001b).

Edad (años)	Aptitud de suelos							
	Muy apto		Apto		Poco apto		No apto	
	Altura Total (m)	IMA alt (m/año)	Altura Total	IMA alt	Altura Total	IMA alt	Altura Total	IMA alt
10-11	19,31 (3,52)	1,93 (0,35)	22,65 (5,63)	2,05 (0,51)	16,12 (4,75)	1,46 (0,43)	23,65 (2,23)	2,15 (0,20)
	N: 18		N: 13		N: 6		N: 3	
13-16	18,60 (4,60)	1,38 b (0,30)	22,74 (6,40)	1,56 ab (0,42)	21,81 (2,91)	1,47 b (0,19)	26,39 (4,95)	1,81 a (0,31)
	N: 12		N: 20		N: 10		N: 28	

Tabla 2. Test de comparación de medias del IMA alt, dentro de rango 13-16 años: letras distintas indican diferencias significativas, con un nivel de confianza 95%.

N: número de árboles () : desvío estándar

Las categorías de aptitud fueron analizadas en relación a los crecimientos en altura total que ellas entregaron. La tabla 2 indica la altura total y el incremento medio anual en altura total (IMA alt) para cada aptitud de suelo, entendiendo a la altura como variable indicativa de calidad de sitio (Pita Carpenter, 1971). Los mayores valores en altura total y en su incremento medio anual se observaron en suelos calificados como no aptos (tabla 2).

El análisis de la varianza desarrollado en el nivel de edad 13-16 años por considerarlo más balanceado en cuanto al número de árboles estudiados (tabla 2) indicó que el incremento medio en altura resultó significativamente mayor en el suelo no apto ($p: 0,0012$). En este sentido el Inventario Forestal (MAA-BA, 2011) indicó un mayor incremento medio anual en volumen total de madera en los suelos de menor aptitud.

De los análisis precedentes no surge una clara asociación entre densidad y crecimiento, esto coincide, con lo observado en trabajos anteriores, donde no se encontró correlación entre estas variables (Mirada *et al.*, 2001a; Igartúa y Monteoliva, 2010). Tal como lo reconoce la literatura en especies de porosidad difusa, mayores tasas de crecimiento pueden o no estar asociadas positivamente con la densidad básica (Zobel y Talbert, 1988; Zobel y Jett, 1995; Mirada *et al.*, 2001a; Igartúa y Monteoliva, 2010).

El presente trabajo indica una posible relación de naturaleza negativa entre aptitud de suelos/densidad, que deberá seguir siendo analizada, tanto como la relación crecimiento/aptitud, haciendo énfasis en un replanteo en terreno de la zonificación edáfica empleada para caracterizar los suelos regionales.

Con relación al uso de este recurso forestal como madera sólida, cabe esperar un aumento de la densidad a medida que las plantaciones ganen en años y se acerquen a los turnos más propios del manejo destinado a ofrecer madera para la industria del aserrado. En este sentido, la investigación sobre el recurso local (40 años de edad), que analizó

la variación radial de la densidad, indicó que a partir de un radio promedio, a la altura del pecho, de 12,5 cm en sentido médula-corteza, la densidad básica se estabilizó mostrando desde allí los valores máximos de densidad (Igartúa *et al.*, 2000). Asimismo, en España *E. globulus* comienza a considerarse como madera madura y con propiedades uniformes en torno a los 30 a 35 años, dependiendo del tratamiento silvícola aplicado (Bermúdez Alvite *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

La densidad básica no registró diferencias importantes desde el punto de vista tecnológico debidas a la edad. Las densidades aquí determinadas están en el rango que resulta apropiado, en general, para la industria celulósica -papelera-, y en lo informado para la especie en otras zonas de implantación en el mundo, a las mismas edades.

Las procedencias con que se implantó el recurso regional no manifestaron diferencias significativas en lo que respecta a los valores medios de densidad básica de sus maderas.

Se manifestó una relación de naturaleza negativa entre aptitud de suelos y densidad básica.

La relación crecimiento/aptitud de suelos mostró gran variabilidad.

Estos resultados permiten conocer la magnitud y las causas de la variación de una importante propiedad de la madera frente al uso de este recurso forestal en la industria celulósica —papelera— tanto como en las de usos sólidos de la madera.

BIBLIOGRAFÍA

BERMÚDEZ ALVITE, J. D.; TOUZA VÁZQUEZ, M.; SANZ INFANTE, F. 2002. *Manual de la madera de eucalipto blanco*. Fundación para o Fomento da Calidade Industrial eo Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia. Parque Tecnolóxico. Galicia, España.

- CULOT, J.; DILLON, G. 1998. Mapa de aptitud de suelos para *Eucalyptus globulus*. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- DOWNES, G. M.; HUDSON, I.; RAYMOND, C.; DEAN, A.; MICHELI, A.; SCHIMLEK, L.; EVANS, R.; MUNERI, A. 1997. Sampling *Eucalyptus* for wood and fibre properties. CSIRO Publishing, Australia.
- FAO. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO: Montes N.º 20. FAO, Roma, Italia.
- IGARTÚA, D. V.; RIVERA, S. M.; MONTERUBBIANESI, M. G.; MONTEOLIVA, S. M.; VILLEGAS, M. S., CARRANZA, S.; FARINA, S. 2000. Calidad del leño en *E. globulus*. Variación de la densidad básica y la longitud de fibras en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. Octubre de 2000, Misiones, Argentina. Trabajo en actas. CD.
- IGARTÚA, D. V.; MONTEOLIVA, S. E.; MONTERUBBIANESI, M. G.; VILLEGAS, M. S. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* spp *globulus*: II. Variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 105(1): 29-39.
- IGARTÚA, D. V.; MONTEOLIVA, S. 2006. El *Eucalyptus globulus* en Argentina: potencialidad del sudeste de la provincia de Buenos Aires para la producción de materia prima fibrosa. En IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. 23 al 27 de octubre de 2006. Santiago y Valdivia, Chile. Trabajo en actas CD
- IGARTÚA, D. V.; MONTEOLIVA, S. 2010. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento de dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. Revista Bosque 31 (2): 150-156 MAA-BA.
2011. Ministerio de Asuntos Agrarios. Buenos Aires. Inventario de macizos forestales de *Eucalyptus Globulus* Labill. en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Mimeografiado. Pp. 30. Disponible en: <http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/LibroPDF2.pdf>. (Verificado: abril 2013).
- MIRANDA, I.; ALMEIDA, M.H.; PEREIRA, H. 2001A. Influence of provenance, subspecies and site on wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. Wood and Fiber Science 33 (1): 9-15.
- MIRANDA, I.; ALMEIDA, M. H.; PEREIRA, H. 2001B. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. Forest Ecology and Management 149: 235-240.
- MONTEOLIVA, S.; CIGANDA, V.; IGARTÚA, D. 2012. Contenido de duramen y de albura en *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* implantadas en Argentina. Revista Maderas. Ciencia y Tecnología 14 (1): 53-63.
- MOSCHINI R. C.; CONTI, H. A.; ALONSO, M.; RODRÍGUEZ TRAVERSO, J.; NAKAMA, V.; ALFIERI, A. 2000. Delimitación de áreas de aptitud climática para el cultivo de los eucaliptos en la región pampeana. SAGPyA Forestal 15: 2-11.
- MUNERI A.; RAYMOND, C. A. 2001. Non-destructive sampling of *E. globulus* and *E. nitens* for wood properties II. Fibre length and coarseness. Wood Science and technology 35 :41-56.
- PANSHIN, A.; DE ZEEUW, C. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company. Nueva York, EE.UU.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- TOMAZELLO FILHO M. 1987. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatomica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. Revista IPEF Scientia Forestalis 36: 35-42.
- VALENTE, C. A.; MENDES DE SOUSA, A.; FURTADO, F. P.; DE CARVALHO, A. P. 1992. Improvement program for *Eucalyptus globulus* at PORTUGEL: Technological component. APPITA 45(6): 403-407.
- WILKES, J. 1988. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bulletin n.s. 9 (1), 13-23.
- ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. 1988. La madera y el mejoramiento genético de árboles forestales. En: Zobel, B. J.; Talbert, J. (Eds.) Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa, México, pp. 407-446.
- ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. 1995. Genetics of Wood Production. Springer Series in Wood Science, Springer, Verlag, Nueva York. pp. 337.

Zeranol y metabolitos urinarios de zearalenona en bovinos para carne

SALVAT, A.E.¹; COMERIO, R.M.⁴; BALBUENA, O.²; ROSELLO BRAJOVICH, J.E.²; RICCA, A.³; ROJAS, D.³; CRISTOS, D.³; RONCO, S.⁶; SALERNO, J.C.⁵

RESUMEN

El noreste argentino es, por sus características geográficas y ambientales, una región con fuerte potencial para la actividad ganadera. Los rodeos vacunos de esta zona tienen como base alimenticia pastizales y pasturas mejoradas, las que suelen suplementarse con granos, fuentes proteicas y reservas en forma de rollos o silaje. Estos alimentos son sustratos ricos para que especies de hongos produzcan micotoxinas como zearalenona (ZEA). El consumo de ZEA por los animales hace que se excreten diferentes metabolitos en orina entre los que se encuentra el zeranol. Por su parte, la presencia de zeranol en orina es utilizada como indicador del uso indebido de promotores de crecimiento que se hallan prohibidos en el país. El objetivo de este trabajo fue analizar los metabolitos relacionados con la ZEA excretados en la orina de novillos según los siguientes tratamientos: alimentación con un concentrado de ZEA, exposición a la aplicación de zeranol inyectable y acción simultánea de alimentación con un concentrado de ZEA más exposición a la aplicación de zeranol inyectable. Se presentan los perfiles de metabolitos excretados en orina y su evolución en el tiempo.

Palabras clave: *Fusarium*, micotoxinas, estrógenos, zeranol, zearalenona.

ABSTRACT

The northern east Argentinean region is, on the basis of its geographic and environmental features, an area with a strong growing cattle potential. Supplementation of natural feeding with protein sources and silage constitutes a usual practice. The feeding supplements supports fungal growth and subsequent micotoxins evolution as well. Production of zearalenone (ZEA) is particularly relevant because, among its related metabolites excreted in urine there is the zeranol. The zeranol presence in urine is strongly regulated by Argentinean law because it is considered an indicator of forbidden growing promoters using. The objective of the present work was to analyze the ZEA related metabolites excreted in urine of cows exposed to ZEA and/or zeranol in three ways: ZEA concentrated feeding, zeranol injection, and a combined exposure to ZEA concentrate feeding plus zeranol injection. The urine ZEA metabolites profiles and their time evolution are given.

Keywords: *Fusarium*, mycotoxins, oestrogens, zeranol, zearalenone.

¹Instituto de Patobiología. CICVyA-INTA. C.C. 25 1712 Castelar. Correo electrónico: salvat.adriana@inta.gov.ar

²EEA Colonia Benítez. CR Chaco-Formosa. Marcos Briolini s/n (3505) Colonia Benítez. Chaco.

³Instituto de Tecnología de Alimentos. CIA-INTA. C.C. 25 (1712) Castelar.

⁴Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. CICVyA-INTA. C.C. 25 1712 Castelar.

⁵Instituto de Genética. CICVyA-INTA. C.C. 25 (1712) Castelar.

⁶SENASA Centro Regional Chaco-Formosa. Av. Gobernador Gutnisky 4250. (3600) Formosa

INTRODUCCIÓN

El nordeste argentino (NEA) es la segunda zona ganadera de la Argentina representada con el 19% del stock de bovinos del país. Los sistemas productivos predominantes son la cría y el ciclo completo. La producción de ganado para carne se realiza mayoritariamente sobre campo natural y, en menor medida, sobre pasturas cultivadas. La alimentación es complementada con suplementos y más recientemente con forrajes conservados. En campos de esta zona, también se producen novillos pesados para exportación cuyo destino es la Unión Europea, por lo cual estos establecimientos se encuentran inscriptos en un registro.

La contaminación con hongos pertenecientes al género *Fusarium* con capacidad para producir diferentes micotoxinas como la zearalenona (ZEA) fue hallada en diferentes recursos forrajeros de la región (Ramírez, 2013; Salvat *et al.*, 2013a). Esta micotoxina y sus metabolitos son responsables de varios desórdenes reproductivos en mamíferos que incluyen infertilidad, interferencias en la ovulación, implantación y desarrollo fetal, hiperestrogenismo, etc. (Smith y Moss, 1985; EFSA, 2004; Zinedine *et al.*, 2007). El efecto tóxico y la degradación de la ZEA varían según sea la especie animal. Los bovinos degradan la ZEA mayoritariamente a β -zearalenol y en menor grado a α -zearalenol junto a otros metabolitos como zeranól, taleranol y zearalanona, en cambio en los cerdos la degradación mayor es a α -zearalenol (Malekinejad *et al.*, 2006; Fink-Gremmels *et al.*, 2007; Zinedine *et al.*, 2007).

Numerosos países utilizan libremente, dentro de una práctica productiva, formulaciones sintéticas denominadas anabólicos cuyo principio activo es el zeranól. En nuestro país, el uso de este promotor de crecimiento se encuentra prohibido al igual que en la Unión Europea. Debido a esta prohibición, como indicador de su administración ilegal en los animales, se investiga la presencia de zeranól en orina. En relación con el tema, en ocasiones, se han generado controversias de tipo legal (Erasmuson *et al.*, 1994, Kleinova *et al.*, 2002; Reed *et al.*, 2004). Distintas publicaciones dan cuenta de la presencia de zeranól en orina cuando los animales son alimentados con pasturas conteniendo zearalenona (Erasmuson *et al.*, 1994; Kennedy *et al.*, 1995, Towers *et al.*, 1995a; Towers *et al.*, 1995b; Miles *et al.*, 1996; Launay *et al.*, 2004; Thevis *et al.*, 2011). Por otra parte, Kleinova *et al.* (2002) establecieron que si se realiza un análisis del perfil metabólico en orina de animales tratados con ZEA e implantes de zeranól, se puede distinguir entre la ingesta natural de ZEA y la aplicación de zeranól en bovinos. Dichos perfiles metabólicos no han sido estudiados y descritos aún en la Argentina.

El objetivo de este trabajo fue establecer las relaciones cuali-cuantitativas en función del tiempo descriptas por la excreción de metabolitos en orina de bovinos del NEA según los siguientes tratamientos: alimentación con un concentrado de ZEA, exposición a la aplicación de zeranól inyectable y a la acción simultánea de alimentación con un concentrado de ZEA más exposición a la aplicación de zeranól inyectable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Se utilizaron un total de 7 novillos con un peso promedio de 186 ± 16 kg alojados e identificados en corrales individuales de 10 m^2 en la EEA Colonia Benítez, Chaco. Estos se dividieron en 4 grupos de 2 animales por tratamiento, excepto el tratamiento 4 (zeranol + zearalenona) en el que se utilizó solo 1 animal. Durante los 21 días de duración del estudio, todas las mañanas se alimentó a los animales con las distintas mezclas especialmente formuladas para cada uno de los tratamientos y, además, se les suministró heno, paja de arroz y agua *ad libitum*.

Dieta base

La dieta base consistió en una mezcla de heno de paja de arroz y expeller de girasol cuyo contenido de ZEA fue de $33 \mu\text{g}/\text{kg}$. Los animales correspondientes a los tratamientos con ZEA recibieron 1,6% del peso vivo de heno de paja de arroz y 0,73% del peso vivo de expeller de girasol, más un concentrado conteniendo ZEA. Por su parte, los animales del grupo control y los correspondientes al tratamiento de zeranól inyectable recibieron 1,93 y 0,76% del peso vivo de heno de paja de arroz y expeller de girasol respectivamente.

Concentrado de zearalenona

Se preparó un alimento fortificado con ZEA. La toxina se produjo sobre granos de arroz previamente humectados y esterilizados en autoclave. El arroz (150 g) se depositó en frascos de vidrio de 1,5 litros de capacidad al que se adicionaron 150 ml de agua destilada; el arroz humectado se esterilizó en autoclave ($120 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 minutos). Para inocular el arroz se utilizaron 34 cepas de *Fusarium semitectum* productoras del ZEA correspondientes a las muestras A4, A5, B2, B6 y C3 (pasturas provenientes de Chaco) aisladas en 2011 y 2012 (Salvat *et al.*, 2013a). Dichas cepas se sembraron en agar sintético pobre en nutrientes (SNA) preparado según Gams *et al.* 1987 y se incubaron durante 14 días a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Cada frasco de arroz humectado estéril se sembró con tres trozos de 1 cm de cada cultivo en SNA. Se sembraron 3 frascos por cepa y se incubaron durante un mes a $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Finalmente, se esterilizaron en autoclave y se conservaron a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta su análisis. La determinación de la ZEA en el arroz contaminado se realizó mediante ensayos inmunoenzimáticos (ELISA) Ridascreen®Fast Zearalenon (RBIopharm–Alemania) y se confirmó por HPLC-FLD (Waters Alliance System). El arroz contaminado obtenido se molió y se realizó una mezcla con harina de maíz hasta una concentración $2 \text{ mg ZEA}/\text{kg}$.

Tratamientos

Los animales se sometieron a cuatro tratamientos:

- 1. Tratamiento control:** alimentados con la dieta base (Animales A y B).
- 2. Tratamiento zearalenona:** alimentados con la dieta base + concentrado con ZEA (Animales C y D).

3. Tratamiento zeranol: alimentados con la dieta base + aplicación zeranol (Animales E y F).

4. Tratamiento zeranol + zearalenona: Alimentado con la dieta base + concentrado con ZEA + aplicación zeranol (Animal G).

Dosis de exposición a zearalenona

Los animales correspondientes a los tratamientos 2 y 4 fueron alimentados con 0,5 kg del concentrado de zearalenona (1 mg de ZEA/día) desde el primer al quinto día inclusive. A partir del día 6 y hasta el día 16 recibieron 1 kg del concentrado de zearalenona (2 mg de ZEA/día). El día 17 se suspendió la oferta del concentrado de zearalenona.

Dosis de zeranol inyectable

Desde el primer día del ensayo se aplicó a los animales correspondientes a los tratamientos 3 y 4 una dosis de 40 mg de zeranol/animal (zeranol al 1% "Overgrow" inyectable subcutáneo). El zeranol fue producido y cedido por el Laboratorio Over, provincia de Santa Fe, Argentina.

Toma de muestras

El ensayo se desarrolló durante 21 días. Las muestras de orina se tomaron por la mañana los días 1, 7, 10, 15 y 21. Dichas muestras se mantuvieron a -20 °C hasta su posterior análisis en HPLC.

Determinación de metabolitos

Previo a la extracción de los metabolitos, las muestras de orina fueron hidrolizadas con 500 UE de la enzima β -Glucuronidasa de *Helix pomatia* tipo HP2 (Sigma Aldrich San Luis, MO, EE.UU.) a 37-40 °C durante la noche. La extracción de zearalenona, α -zearalenol, β -zearalenol, zeranol, taleranol, zearalanona se realizó con Ter-butilmetil-eter. La fase etérea se evaporó mediante flujo de nitrógeno, mientras que la fase acuosa se resuspendió en metanol:agua

(1:9) grado HPLC. El extracto se purificó con un cartucho SPE NEXUS WCX (3 cc/60 mg, Agilent Technologies Palo Alto, CA, EE.UU.). El extracto purificado fue analizado por HPLC-MS/MS (LTQ-XL Linear Ion Trap Thermo, San José, CA, EE.UU.), mediante el modo de ionización ESI negativo. Los límites de detección y cuantificación del método fueron 0,003 μ g/litro y 0,01 μ g/litro respectivamente (Cristos *et. al.*, 2014). Los estándares y solventes utilizados se adquirieron en Sigma Aldrich (San Luis, MO, EE.UU.) y Carlo Erba Reagents (Comaredo, MI, Italia), respectivamente.

RESULTADOS

Se determinó la presencia de ZEA y sus metabolitos relacionados en la orina de todos los animales correspondientes a los diferentes tratamientos. Con el objeto de obtener un panorama de la excreción total durante el período del ensayo, se calcularon las sumas de las concentraciones detectadas para cada analito en la orina de cada animal. Para el control y los dos primeros tratamientos se realizó el promedio de lo excretado por ambos animales utilizados. El tratamiento zeranol + zearalenona está representado por los resultados correspondientes a un solo animal. La tabla 1 resume los resultados mencionados y los presenta según el tratamiento realizado.

Con la finalidad de explorar la cinética de eliminación de ZEA en orina, se realizaron para los tratamientos 2, 3 y 4, curvas que representan los perfiles temporales de la excreción total de ZEA y sus metabolitos relacionados (figuras 1, 2 y 4). A continuación se discuten los resultados obtenidos para cada tratamiento en particular.

Tratamiento control

Se observó la presencia de los metabolitos relacionados con ZEA, no obstante, se hallaron en baja concentración (tabla 1). Este hecho reflejaría la dificultad de obtener alimentos totalmente libres de ZEA para alimentar el ganado.

		Metabolitos						
		zearalenona	α -zearalenol	β -zearalenol	zeranol	taleranol	zearalanona	
Tratamientos	1. Control	Media	2,01	0,72	2,93	0,30	0,03	0,95
		Desvío Estándar	2,09	0,98	3,80	0,03	0,01	0,87
	2. ZEA	Media	15,28	5,39	36,30	2,41	0,19	3,26
		Desvío Estándar	7,23	2,75	16,76	1,49	0,10	1,73
	3. Zeranol	Media	0,25	0,04	0,94	4,75	0,44	3,75
		Desvío Estándar	0,30	0,00	0,47	4,04	0,34	2,72
	4. Zeranol +ZEA	Media	19,06	5,86	24,60	6,63	0,25	5,85

Tabla 1. Promedio de la suma total excretada de ZEA y metabolitos relacionados (μ g/l) según los tratamientos: control (n=2), zearalenona (ZEA) (n=2), zeranol (n=2). En el tratamiento zeranol + ZEA (n=1) se representa la suma total excretada. Sumatoria de cinco muestras por animal (días 1, 7, 10, 15 y 20).

Tratamiento zearalenona

La ZEA, que fue suministrada a dosis crecientes en este tratamiento, se excretó mayoritariamente como β -zearalenol (36,30 $\mu\text{g/l}$), zearalenona (15,28 $\mu\text{g/l}$) y α -zearalenol (5,39 $\mu\text{g/l}$); mientras que el zeranol y taleranol se detectaron en una concentración de 2,41 y 0,19 $\mu\text{g/l}$ respectivamente (tabla 1). En cuanto a la evolución de la excreción de ZEA y sus metabolitos, se pudo observar un incremento de la concentración al inicio de la administración de la ZEA principalmente durante los días 7 y 15. Los valores de las concentraciones disminuyeron notablemente sobre todo a partir del día 16 cuando se retiró el concentrado de zearalenona (figura 1).

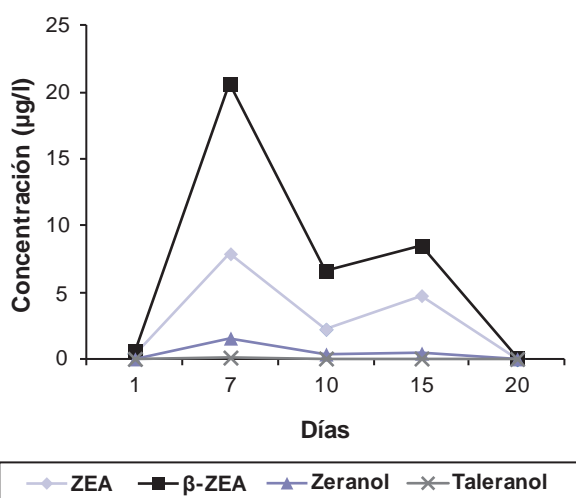


Figura 1. Perfil temporal de excreción total de ZEA y sus metabolitos relacionados para el grupo de animales alimentado con el concentrado de zearalenona.

Tratamiento zeranol inyectable

En este grupo se produjo un aumento en la concentración de zeranol y taleranol (4,75 y 0,44 $\mu\text{g/l}$) en comparación con el grupo de animales que solamente fueron alimentados con ZEA. En cambio, la excreción de zearalenona (0,25 $\mu\text{g/l}$) fue menor en relación con el grupo alimentado con ZEA (15,28 $\mu\text{g/l}$). Con respecto a los restantes metabolitos, los valores hallados de α y β zearalenol (0,04 y 0,94 $\mu\text{g/l}$ respectivamente) resultaron más bajos inclusive que los del grupo control (tabla 1). En la figura 2 se puede observar, como fue el incremento en los niveles de concentración de zeranol y taleranol luego de la aplicación del anabólico al inicio del ensayo. Se observa un aumento progresivo del zeranol y taleranol desde el día 1 y hasta el día 7 con un pico máximo de excreción durante el día 10, luego de lo cual, se produce una disminución sostenida de ambos metabolitos hasta el final del ensayo. La figura 4 presenta los cromatogramas de la orina obtenida de los animales expuestos a zeranol inyectable el día 10 del ensayo.

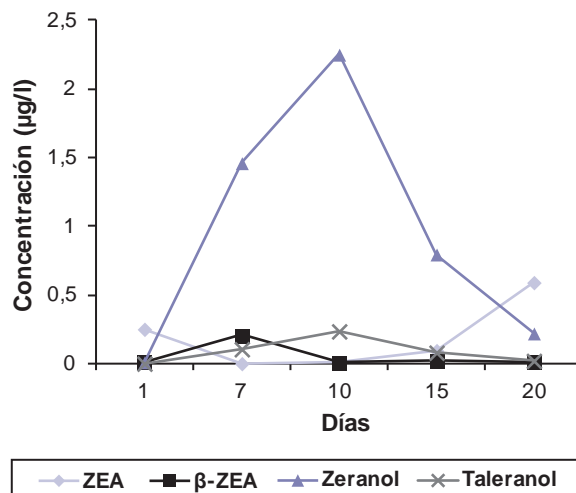


Figura 2. Perfil temporal de excreción total de ZEA y sus metabolitos relacionados para el grupo de animales inyectado con 40 mg de zeranol.

Tratamiento zeranol inyectable + zearalenona

En cuanto al perfil de los metabolitos que se detectaron en el animal que fue expuesto al zeranol inyectable y a la alimentación con dosis crecientes de ZEA, se pudo observar un aumento en la concentración del zeranol excretado (6,63 $\mu\text{g/l}$) respecto a lo hallado en el grupo expuesto a ZEA (2,41 $\mu\text{g/l}$) y al grupo inyectado con zeranol (4,75 $\mu\text{g/l}$). En cambio, la concentración del taleranol (0,25 $\mu\text{g/l}$) fue un 25% más bajo que el grupo tratado con zeranol inyectable, pero un 60% mayor a lo que se detectó en el grupo expuesto a ZEA (tabla 1). Se pudo observar el incremento de las concentraciones de ZEA, β -zearalenol y zeranol al inicio del ensayo y el séptimo día, para decaer en forma abrupta el décimo día. Luego el día 15, se produjo un incremento en las concentraciones de manera similar a lo ocurrido en el tratamiento de ZEA, pero con un leve aumento a favor del metabolito

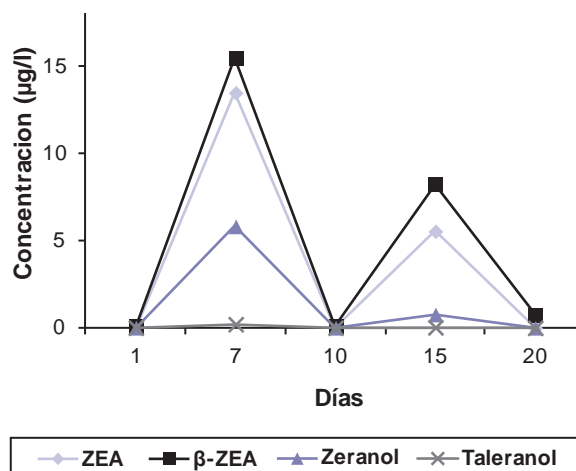


Figura 3. Perfil temporal de excreción total de ZEA y sus metabolitos relacionados para el grupo de animales inyectado con 40 mg de zeranol + concentrado de zearalenona.

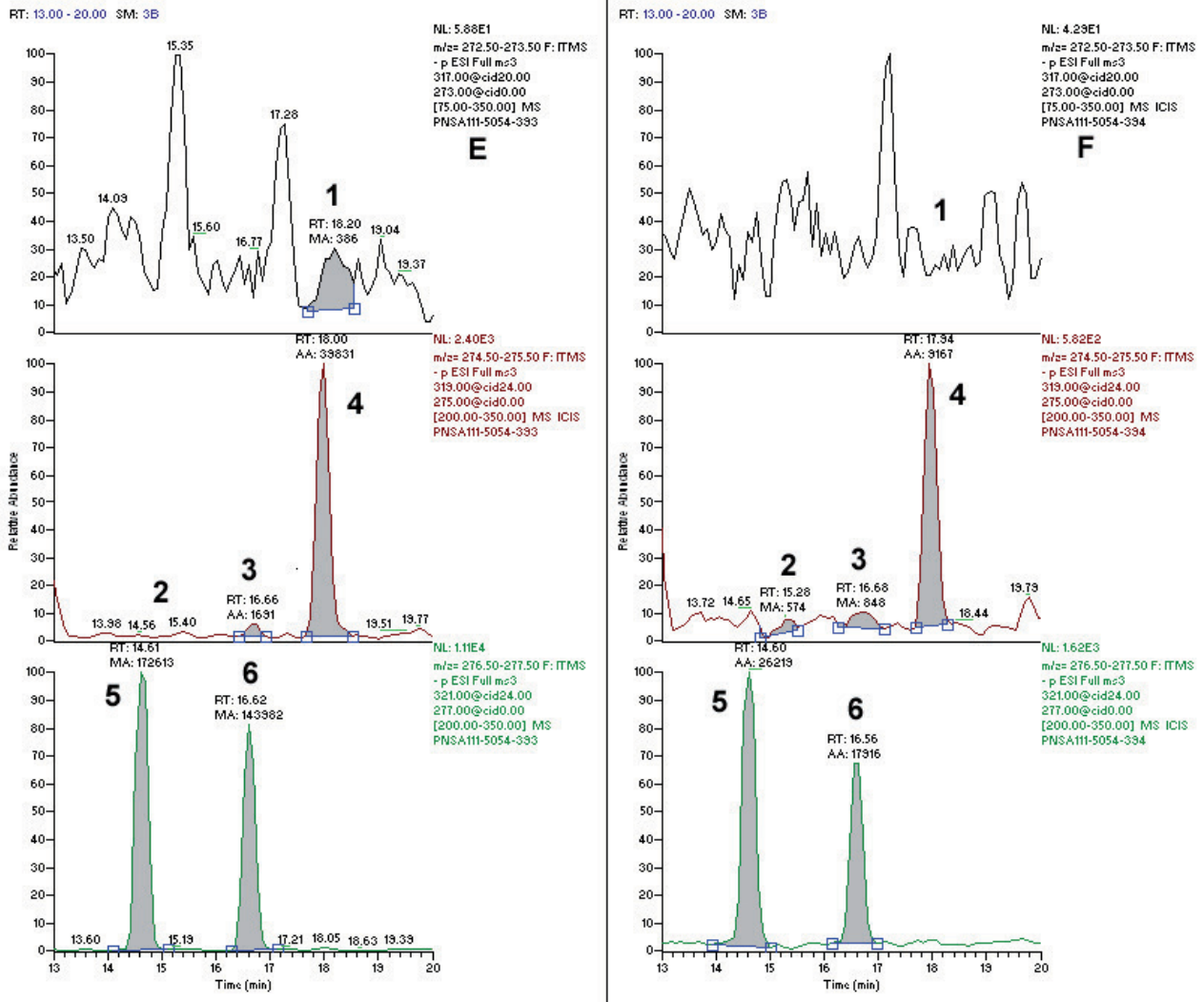


Figura 4. Cromatogramas de la orina relacionada con los animales E y F pertenecientes al tratamiento de zearanol inyectable; análisis correspondiente al día 10 del ensayo. La transición 317>273 corresponde al metabolito zearalenona (1). La transición 319>275 corresponde a los metabolitos: zearalanona (4), α -zearalenol (3) y β -zearalenol (2). La transición 321>277 corresponde a los metabolitos zearanol (6) y taleranol (5). En E2 y F1 no se observan picos cuantificables para los tiempos de retención vinculados con β -zearalenol y zearalenona respectivamente.

AA: integrado por el equipo, MA: integrado por el operador, RT: tiempo de retención.

zearanol. Del mismo modo que en los otros tratamientos, el resto de los metabolitos disminuyeron notablemente luego del día 15 (figura 3) a excepción del β -zearalenol (figura 2) que invierte esta tendencia y aumenta.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio se obtuvieron perfiles de los metabolitos excretados en la orina de bovinos y su evolución en el tiempo, resultando particularmente interesante el hecho de que el zearanol no se excreta continuamente en concentraciones elevadas, sino que se excreta mayoritariamente solo durante determinadas ventanas temporales. El metabolito β -zearalenol fue excretado en mayor cantidad por los animales expuestos al consumo de ZEA, mientras que en los inyectados con zearanol la excreción mayoritaria consistió en zearanol

y taleranol. Estos resultados son coincidentes con lo referido por otros autores que realizaron ensayos similares (Metzer *et al.*, 2010; Kleinova *et al.*, 2002; Malekinejad *et al.*, 2006).

Resulta oportuno mencionar que los niveles de ZEA que han sido detectados en pasturas y alimentos utilizados en el engorde de novillos en trabajos anteriores (Salvat *et al.*, 2013a) fueron variables (ND-577,62 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y además, dependientes de las condiciones climáticas (Moschini, comunicación personal). Por otra parte, se observaron aumentos significativos (hasta 6278,47 $\mu\text{g}/\text{kg}$) en las concentraciones de ZEA de las pasturas y alimentos durante los meses de invierno (Salvat, 2013b). De acuerdo con esta información, los animales en condiciones productivas podrían estar expuestos al consumo de dosis de ZEA más elevadas que las utilizadas en el presente trabajo. Consecuentemente, la detección de ciertos niveles de zearanol en la orina de los

rodeos encontraría explicación a través de la contaminación natural de los piensos con ZEA.

Las curvas de excreción evidenciaron incrementos y descensos acentuados. Esta particularidad podría atribuirse a factores como el diferente grado de hidratación de los animales al momento de tomar la muestra o a su distinta capacidad para eliminar los xenobióticos en orina. Cabe destacar la importancia de realizar nuevos ensayos que incluyan un mayor número de animales por tratamiento, como así también la determinación de la concentración de creatinina concomitante para estandarizar los resultados de concentración urinaria de ZEA y los restantes metabolitos.

El presente estudio puso énfasis en asemejar las condiciones que se pueden presentar en el ámbito productivo y pone de relieve la conveniencia de profundizar el tema con nuevos estudios que complementen la información hasta aquí alcanzada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del Ing. Agr. Eduardo Delssin, director del Centro Regional Chaco-Formosa del INTA; del Ing. Agr. Enrique Bedascarrasbure, director del Centro de Investigación de Agroindustria (CIA); del Dr. Luis Samartino, del Instituto de Patobiología (CICVyA) y del Dr. Roberto Lecuona, del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (CICVyA). Agradecemos, además, la colaboración del Dr. Ricardo Moschini, del Instituto de Clima y Agua (CIRN). Expresamos nuestro reconocimiento al Dr. Héctor Godoy, quien realizó una lectura crítica del manuscrito. Por otra parte, quedamos reconocidos con el señor Juan Carlos Torres y las técnicas Victoria Silva y Rosa Salvatierra por su asistencia técnica. Este trabajo fue solventado por el Proyecto INTA (PNSA 1115054): "Zearalenona en NEA argentino". Proyecto CHAFOR-124130. "Contribución al desarrollo territorial del este de la provincia del Chaco". Agradecemos también al Laboratorio OVER que desinteresadamente aportó el zearanol inyectable ("Overgrow") utilizado en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

CRISTOS, D.S.; ROJAS, D.E.; SALVAT, A.E.; BALBUENA, O.; SALERNO J.C. 2014. Determinación analítica del complejo zearanol-zearalenona en orina de bovinos. II Congreso Argentino de Espectrometría de Masa. (Resumen en prensa). Córdoba del 9 al 11 de noviembre 2014.

ERASMUSON, A.F.; SCAHILL, B.G.; EST, D.M. 1994. Natural zearanol (R-zearalanol) in the urine of pasture-fed animals. *J. Agric. Food Chem.* 42, 2721-2725.

EFSA. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to Zearalenone as undesirable substance in animal feed. *The EFSA Journal* 89, 1-35.

FINK-GREMMELS, J.; MALEKINEJAD, H. 2007. Clinical effects and biochemical mechanisms associated with exposure to the mycoestrogen zearalenone. *Animal Feed Science and Technology* 137, 326-341.

GAMS, W.; VAN DER AA, H.A.; VAN DER PLAATS-NITERINK, A.J.; SAMSON, R.A.; STALPERS, J.A. 1987. CBS Course of Mycology. Centraalbureau voor Schimmelcultures. Baarn, Delft: 6.

KENNEDY, D.G.; HEWITT, S.A.; MCEVOY, J.D.G.; CURRIE, J.W.; BLANCHFLOWER, W.J.; CANNAVAN, A.; MCCAUGHEY, W.J.; ELLIOTT, C.T. 1995. Possible naturally occurring zearanol in bovine bile in Northern Ireland. *J. Vet. Med.* 42, 509-512.

KLEINOVA, M.; ZOLLNER, P.; KAHLBACHER, H.; HOCHSTEINER, W.; LINDNER, W. 2002. Metabolic Profiles of the Mycotoxin Zearalenone and of the Growth Promoter Zearanol in Urine, Liver, and Muscle of Heifers. *J. Agric. Food Chem.* 50, 4769-4776.

LAUNAY, F.M.; RIBEIRO, L.; ALVES, P.; VOZIKIS, V.; TSITSAMIS, S.; ALFREDSSON, G.; STERK, S.; BLOKLAND, M.; IITIA, A.; LÖVGREN T.; TUOMOLA, M.; GORDON, A.; KENNEDY, D.G. 2004. Prevalence of zearanol, taleranol and *Fusarium* spp. toxins in urine: implications for the control of zearanol abuse in the European Union. *Food Additives and Contaminants* 21, (9), 833-839.

MALEKINEJAD, H.; MAAS-BAKKER, R.; FINK-GREMMELS, J. 2006. Species differences in the hepatic biotransformation of zearalenone. *The Veterinary Journal* 172, 92-102.

METZLER, M.; PFEIFFER, E.; HILDEBRAND, A.A. 2010. Zearalenone and its metabolites as endocrine disrupting chemicals. *World Mycotoxin Journal* 3 (4), 385-401.

MILES, C.O.; ERASMUSON, A.F.; WILKINS, A. L.; TOWERS, N.R.; SMITH, B.L.; GARTHWAITE, I.; SCAHILL, B.G.; HANSEN, R.P. 1996. Ovine Metabolism of Zearalenone to r-Zearalanol (Zearanol). *J. Agric. Food Chem.* 44, 3244-3250.

RAMIREZ, M.L. 2013. Presencia de micotoxinas en pasturas destinadas a la alimentación bovina. VII Congreso Latinoamericano de Micotoxicología. Río Cuarto, provincia de Córdoba.

REED, K.F.M.; WALSH, J.R.; MCFARLANE, N.M.; SPRAGUE, M. 2004. Zearalenone and its presence in pasture. *Animal Production in Australia* 25, 140-143.

SALVAT, A.E.; BALBUENA, O.; RICCA, A.; COMERIO, R.M.; ROSELLO BRAJOVICH, J.E.; ROJAS, D.; BERRETTA M.F.; DELSSIN, E.; BEDASCARRASBURE, E.; SALERNO, J.C. 2013a. Presencia de zearalenona en pasturas del este de Chaco. *RIA* 39 (1), 31-36.

SALVAT, A.E.; BALBUENA, O.; RICCA, A.; COMERIO, R.M.; ROSELLO BRAJOVICH, J.E.; ROJAS, D.; BERRETTA, M.F.; DELSSIN, E.; BEDASCARRASBURE, E.; SALERNO, J.C. 2013b. Presence of Zearalenone in Cattle Feeds During the Winter in the Province of Chaco (Argentina). 4th Latin American Pesticide Residue Workshop. LAPRW 2013. Bogotá, Colombia. Mayo 26-29.

SMITH, J.E.; MOSS, M.O. 1985. Mycotoxins. Formation, Analysis and Significance. John Wiley & Sons. Great Britain, p. 148.

THEVIS, M.; FUBHOLLER, G.; SCHANZER, W. 2011. Zearanol: Doping offence or mycotoxin? A case-related study. *Short communication. Drug Testing and Analysis* 3, 777-783.

TOWERS, N.R.; SPROSEN, J.M.; WEBBER, W. 1995a. Zearalenone metabolites in cycling and non-cycling cows. p. 46-47. En: "Toxinology and Food Safety". Toxinology and Food Safety Research Group, Ruakura Research Centre, Hamilton, Nueva Zelanda.

TOWERS, N.R.; WESSELINK, C.; FOWKE, E.A.; SPROSE, J.M. 1995b. Plasma vs. urinary "zearalenone" concentrations as indicators of zearalenone intake, p. 41 En: "Toxinology and Food Safety". Toxinology and Food Safety Research Group, Ruakura Research Centre, Hamilton, Nueva Zelanda.

ZINEDINE, A.; SORIANO, J.M.; MOLTÓ, J.C.; MAÑES, J. 2007. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food Chem Toxicol.* 45(1):1-18.

El nabo como recurso forrajero invernal en la producción de carne

BERTÍN, O.D.¹; CAMARASA, J.N.¹; SCHENEITER, J.O.¹; ZUVILIVIA, J.P.²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de carne con nabo forrajero (*Brassica napus* x *B. oleracea* cv Interval) en cultivo puro y en mezcla con avena bajo pastoreo con novillitos a fines del invierno. El experimento se realizó en la EEA INTA Pergamino durante el año 2011. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con dos repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) nabo puro (Nf) y 2) nabo asociado con avena (Nf+A) en líneas alternadas. Se evaluaron tres períodos (del 16/8 al 6/9, del 6/9 al 4/10 y del 4/10 al 21/10). Los resultados se analizaron mediante ANVA ($p < 0,05$) con el programa Infostat. Se analizaron estadísticamente los períodos 1 y 3. En el período 2 los animales permanecieron solo en Nf+A. Se midió la cantidad de forraje a la entrada y a la salida de cada pastoreo y el peso vivo (PV) animal al inicio y al final en cada período. Se tomaron muestras de Nf para análisis del valor nutritivo al inicio y al final del experimento (PB, FDN y DIVMS). La carga animal (CA) fue variable con 4 animales "fijos" por tratamiento (raza Aberdeen Angus; PV inicial: 296 ± 26 kg) y animales volantes para alcanzar una asignación diaria de forraje con un mínimo de 5% del PV. Las lluvias en el período experimental fueron 38% menores y el número de heladas fueron 23% superiores al promedio histórico (1910-2011). El valor nutritivo promedio del Nf fue de: 18,6% de PB, 23,9% de FDN y 89,2% de DIVMS. En el período 1 la disponibilidad de forraje de entrada (2.590 kg de materia seca (MS).ha⁻¹), el forraje remanente de salida (1.716 kg MS.ha⁻¹), la ganancia diaria de peso vivo (GDPV, 1,3 kg animal⁻¹.día⁻¹), la CA (6,4 animales.ha⁻¹) y la producción de carne (168 kg.ha⁻¹) fueron similares entre tratamientos. En el período 3, la disponibilidad promedio de entrada (1.175 kg MS.ha⁻¹) y de salida (538 kg MS.ha⁻¹), la GDPV (1,1 kg animal⁻¹.día⁻¹) y la producción de carne (89 kg.ha⁻¹) fueron similares entre los tratamientos. La CA tendió a ser mayor ($p=0,06$, EEM: 0,37) en Nf (6,1 animales.ha⁻¹) en relación con Nf+A (4,0 animales.ha⁻¹). En los períodos analizados (1 y 3 en el tratamiento Nf y 1, 2 y 3 para Nf+A) la CA fue mayor ($P < 0,01$; EEM: 0,07) en el Nf cuanto estuvo bajo pastoreo (6,7 animales.ha⁻¹) que en Nf+A (4,5 animales.ha⁻¹) y hubo una tendencia ($P=0,09$; EEM: 28,3) a una mayor producción de carne en Nf+A que en Nf (403 frente a 288 kg.ha⁻¹, respectivamente), dado que Nf+A permitió mantener los animales durante todo el ensayo. La mezcla de nabo forrajero más avena fue una mejor alternativa que el nabo forrajero puro para cubrir el déficit de forraje a la salida del invierno, porque permitió mantener los animales bajo pastoreo todo el ciclo y tuvo una tendencia de mayor producción de carne. El nabo forrajero puro, sin embargo, permitió tener mayor carga animal en los períodos de clima más favorable.

Palabras clave: *Brassica napus* x *B. oleracea*, mezcla, avena, pastoreo.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Pergamino, Correo electrónico: bertin.oscar@inta.gob.ar

²Pasante EEA Pergamino.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the beef production with forage brassica (*Brassica napus* x *B. oleracea* cv Interval) in pure culture and in mix with oats with steers grazing in late winter. The experiment was carried out at the Pergamino Experimental Station of the National Institute of Agricultural Technology, Buenos Aires, Argentina during 2011. The treatments were: 1) pure brassica (Nf) and 2) brassica associated with oats (Nf+A) on alternating lines. Treatments were arranged in a randomized complete blocks experimental design with two replications. Three grazing periods were evaluated (Period 1: from August 16th to September 6th, Period 2 from September 6th to October 4th and Period 3 from October 4th to October 21th). Results were analyzed using ANOVA ($p < 0.05$), with the Infostat software. In the Period 2 animals remained only in Nf+A, so only the Periods 1 and 3 were statistically analyzed. Pre and post - grazing forage masses were measured whereas liveweight was taken at the beginning and at the end in each period. At the beginning and at the end of the experiment Nf samples for nutritive value (CP, NDF and DMDIV) were taken. In order to achieve a similar forage utilization between treatments, a put and take management was used with 4 fixed animals per treatment (Aberdeen Angus breed; initial liveweight (LW): 296 ± 26 kg) and 5% of LW of daily forage on offer. The rainfall during experimental period was 38% lower and the numbers of frosts were 23% higher than the historical average (1910-2011). The nutritive value average of Nf was: 18.6% of CP, 23.9% of NDF and 89.2% of IVDMD. In the Period 1, pre and post - grazing forage masses (2590 kg and 1716 kg DM:ha⁻¹, respectively), daily LW gain (1.3 kg:animal⁻¹:day⁻¹), stocking rate (SR, 6.4 animals:ha⁻¹) and beef production (168 kg:ha⁻¹) were the same in both treatments. In the Period 3, pre and post - grazing forage masses (1175 kg and 538 kg DM:ha⁻¹, respectively), daily LW gain (1.1kg:animal⁻¹:day⁻¹) and beef production (89.1 kg:ha⁻¹) were the same in both treatments. The SR showed a tendency to be greater ($p = 0.06$, SEM: 0.37) in Nf (6.1 animals:ha⁻¹) in relation to the Nf+A (4.0 animals:ha⁻¹). In the analysis of the results of the 3 periods all together (Periods 1 and 3 in the Nf treatment and Periods 1, 2 and 3 for Nf+A) SR was higher ($p < 0.01$; SEM: 0.07) in the Nf (6.7 animals:ha⁻¹) than Nf+A (4.5 animals:ha⁻¹) and there was a trend ($p = 0.09$; SEM: 28.3) to a greater beef production in Nf+A than in Nf (403 and 288 kg:ha⁻¹, respectively), because Nf+A allowed to hold animals during all the experimental period. The results show that brassica associated with oats was a best alternative to cover the deficit of forage to the late winter, because allowed support the animals throughout the cycle and increased beef production. Pure brassica, however, allowed to hold higher stocking rate in periods the better climate.

Keywords: *Brassica napus* x *B. oleracea*, rape, oats, grazing.

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje de una pastura o de un cultivo forrajero debe ser considerada en el marco de una cadena forrajera, particularmente en los períodos más críticos para cada sistema de producción. En la región templada húmeda de Argentina, durante el invierno, se produce una disminución de la oferta de forraje de las pasturas perennes que puede ser corregida con diferentes recursos como: cultivos anuales de invierno, forrajes conservados, concentrados y otros. Como verdeos de invierno, las gramíneas (*Poaceae*) anuales: avena, raigrás anual, cebada forrajera, centeno, cebadilla criolla y triticale son las más usadas en forma pura y en ocasiones asociadas a leguminosas (*Fabaceae*) como vicias y tréboles. Más recientemente se empezó a tener en cuenta a las crucíferas (*Brassicaceae*) como los nabos forrajeros con uso monofítico o asociados a gramíneas. Estos son importantes desde el punto de vista de la producción de forraje y de la rotación con cultivos de cosecha por los aspectos benéficos para el suelo, tanto químicos como físicos (García, 2011). El efecto químico conocido como biofumigación es producto de la liberación de glucosinolato durante la

descomposición de los residuos radiculares que controlan agentes patógenos del suelo. El efecto físico está asociado al sistema radicular pivotante y con la consecuente mejora de la macroporosidad y de la estabilidad de los suelos, especialmente en los limo-arcillosos (Smolko *et al.*, 2010) y en los no extremadamente degradados (Sasal y Andriulo, 2005).

Los antecedentes nacionales sobre el uso de los nabos forrajeros como recursos alimenticios para animales en pastoreo son escasos. En otros países de la región, como Uruguay, son usados como verdeo de verano para terminación de corderos (Ayala *et al.*, 2010) y en el sur de Chile para la alimentación de bovinos para carne (Hepp *et al.*, 2011). En la bibliografía extranjera, la revisión de Barry (2013) muestra una gran variación en la repuesta animal, debido a la presencia de compuestos secundarios que limitan el consumo voluntario.

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de carne con nabo forrajero (*Brassica napus* x *B. oleracea* cv Interval) en cultivo puro y en mezcla con avena (*Avena sativa* L. cv Violeta INTA) bajo pastoreo con novillitos a fines del invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, (33° 57' S, 60° 33' O y 64 m snm), sobre un suelo Argiudol típico (franco-limoso), serie Pergamino, capacidad de uso III ew; clima templado húmedo, temperatura media de 16,5 °C y precipitación media de 975 mm. Las características químicas del suelo (0-20 cm) al inicio fueron: pH=5,9 (potenciométrico, agua 1:2,5); MO=3,1% (combustión húmeda Walkley y Black) y P=17,8 ppm (Bray y Kurtz 1). Las condiciones climáticas durante todo el período experimental fueron de menores lluvias y de mayor número de heladas con respecto al promedio histórico (tabla 1).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con dos repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) nabo forrajero puro (Nf) y 2) nabo forrajero asociado con avena (Nf+A) en líneas intercaladas. La implantación se realizó el 11 de mayo del 2011 en siembra directa y en líneas distanciadas a 17,5 cm. El cultivo antecesor fue moha (*Setaria italica* L.) para heno. No se aplicaron fertilizantes y no fue necesario controlar malezas, enfermedades ni plagas. La densidad de siembra para Nf fue de 200 semillas viables (SV).m² (poder germinativo (PG): 98%, pureza: 99,9% y peso de 1.000 semillas: 3,5 g). En la mezcla (Nf+Av) las densidades fueron de 100 SV.m² de Nf y 100 SV.m² de avena (PG: 92%, pureza: 92,1% y peso de las 1.000 semillas: 30 g). Cada una de las 4 unidades experimentales (variable entre 0,5 y 1 ha) se subdividió en 3 franjas, las cuales se pastorearon semanalmente. Adicionalmente, se sembró una parcela de avena pura (Ap) con 200 SV.m² como cultivo de referencia con la misma semilla

que la utilizada en la mezcla (Nf+A), subdividida también en 3 franjas. Se dispuso de parcelas adyacentes en ambos tratamientos para colocar los animales cuando fuera necesario. Antes y después de cada pastoreo se midió disponibilidad de forraje en 6 muestras de 0,5 m² en cada una de 3 franjas de cada unidad experimental y se realizó la composición botánica con 500 g conformado a partir de las 6 muestras. También se tomó una alícuota de 250 g del material de campo y se secó en estufa durante 48 h a 60 °C para estimar el porcentaje de materia seca (MS). Al inicio del período 1 y al final del período 3 del experimento se tomaron muestras de nabo forrajero que fueron analizadas determinándose fibra detergente neutro (FDN) según Van Soest *et al.* (1991), proteína bruta (PB; Kjeldahl) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS; Van Soest, 1994).

Por tratamiento se emplearon 4 animales “fijos” de la raza Aberdeen Angus, con un peso vivo (PV) inicial de 296 ± 26 kg. Se dispuso de animales volantes para alcanzar una similar asignación forrajera entre tratamientos, equivalente como mínimo al 5% del PV animal/día. Los animales “fijos” fueron pesados al inicio (PVi) y al final (PVf) de cada período estudiado. Para ello, permanecieron sin agua de bebida, desde las 16.00 h hasta las 9.00 h del día siguiente, cuando fueron pesados. La ganancia diaria de peso vivo (GDPV) fue calculada en cada período estudiado ((PVf-PVi)/período evaluado en días). Previo al período experimental hubo un tiempo de acostumbramiento, durante el cual los animales permanecieron 7 días en la 1.ª franja de cada tratamiento. En el período 1 permanecieron durante 7 días en la franja 2 y 14 días en la franja 3. Se evaluaron 3 períodos (del 16/8 al 6/9, del 6/9 al 4/10 y del 4/10 al 21/10; figura 1). Se analizaron estadísticamente los períodos 1

Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
Precipitaciones (mm)	75 (97)	36,5 (58)	24 (37)	15 (36)	2 (39)	35,9 (55)	76 (104)
Nº heladas	0 (0,2)	3 (2,1)	6 (5,2)	14 (7,4)	13 (5,4)	2 (2,0)	0 (0,2)
Nº heladas agronómicas	1 (2,2)	9 (7,4)	14 (12,4)	22 (16,2)	19 (13,6)	9 (7,4)	4 (1,7)

Tabla 1. Condiciones climáticas en un experimento de evaluación de nabo forrajero bajo pastoreo. Año 2011. Entre paréntesis valores históricos. Agrometeorológica INTA Pergamino.

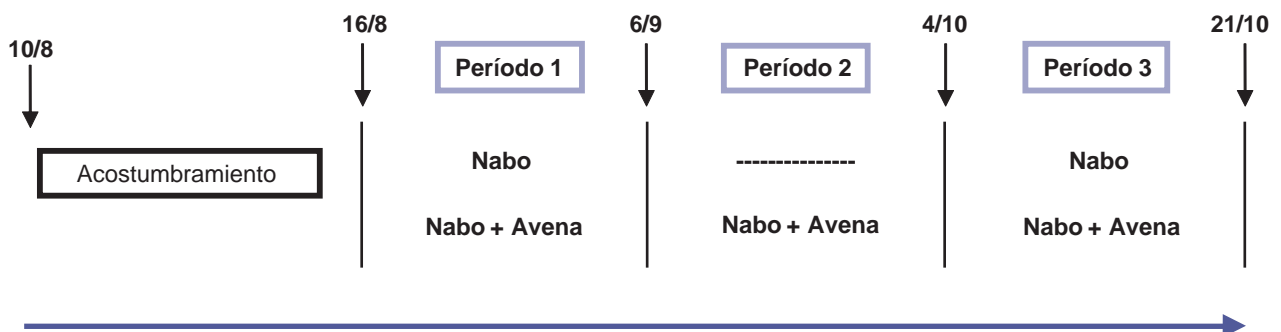


Figura 1. Períodos de pastoreo de nabo forrajero y nabo forrajero + avena.

y 3. En el período 2 los animales permanecieron solo en el tratamiento Nf+A y en el cultivo de referencia de avena pura.

Los datos se analizaron con un modelo estadístico lineal para un diseño en bloques completos al azar con 2 repeticiones con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010). Se consideraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos o tendencias cuando la posibilidad del error tipo I fue menor al 5% o entre el 5 y 10%, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El nabo forrajero, tanto al inicio como al final del experimento, presentó altos valores de PB y DIVMS y bajos contenidos de FDN (tabla 2) lo cual coincide con valores de

	PB (%)	FDN (%)	DIVMS (%)
Inicio	21	19,1	85,7
Final	16,1	28,7	92,7

Tabla 2. Características de calidad de forraje al inicio y final de un experimento de evaluación de nabo forrajero bajo pastoreo.

*Fuente: Laboratorio Regional CRBAN INTA.

la bibliografía (Koch y Karakaya, 1998; Ayres y Clements, 2002; Barry, 2013).

La disponibilidad promedio de forraje antes de cada pastoreo fue elevada en el período 1 con respecto a los posteriores y sin diferencias ($P>0,10$) entre tratamientos (2.590 ± 350 kg MS.ha⁻¹; tabla 3). El cultivo de Ap presentó una alta disponibilidad promedio en el período 1 (3.850 kg

	Nabo	Nabo + Avena	P =	EEM ¹
Período 1				
Disponibilidad entrada (kg MS.ha ⁻¹)	2.820	2.360	0,45	350
Remanente de salida (kg MS.ha ⁻¹)	1.760	1.671	0,82	244
CA (animales.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	7,3	5,4	0,42	0,1
CA (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	2.409	1.690	0,04	108
GDPV (kg.animal ⁻¹ .día ⁻¹)	1,22	1,3	0,63	0,1
Producción de carne (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	188	147	0,25	18
Período 2				
Disponibilidad entrada (kg MS.ha ⁻¹)	---	1.493		
Remanente de salida (kg MS.ha ⁻¹)	---	610		
CA (animales.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	---	4		
CA (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	---	1.372		
GDPV (kg.animal ⁻¹ .día ⁻¹)	---	1,5		
Producción de carne (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	---	177		
Período 3				
Disponibilidad entrada (kg MS.ha ⁻¹)	1.250	1.100	0,54	145
Remanente de salida (kg MS.ha ⁻¹)	584	492	0,76	185
CA (animales.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	6,1	4	0,06	0,37
CA (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	2.286	1.536	0,07	150
GDPV (kg.animal ⁻¹ .día ⁻¹)	0,97	1,13	0,67	0,22
Producción de carne (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	100	79	0,55	19,5
Carga promedio y producción total de carne (período 1 + 2 + 3)				
Disponibilidad entrada (kg MS.ha ⁻¹)	1.357	1.651	0,39	189
Remanente de salida (kg MS.ha ⁻¹)	989	881	0,71	175
CA (animales.ha ⁻¹)	6,7	4,5	<0,01	0,07
CA (kg.animal ⁻¹)	2.364	1.548	0,01	64,8
GDPV (kg.animal ⁻¹ .día ⁻¹)	1,1	1,36	0,27	0,12
Producción de carne (kg.ha ⁻¹)	288	403	0,09	28,3

Tabla 3. Disponibilidad de forraje, carga animal (CA), ganancia de peso vivo animal (GDPV) y producción de carne en un experimento de evaluación de nabo forrajero y nabo forrajero + avena.

¹EEM: error estándar de las medias

	Períodos			
	1	2	3	1+2+3
Disponibilidad entrada (kg MS.ha ⁻¹)	3.850	2.361	1.248	2.486
Remanente de salida (kg MS.ha ⁻¹)	2284	612	756	1238
CA (animales.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	10,2	9,2	2,9	7,4
CA (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	3096	3128	1058	2506
GDPV (kg.animal ⁻¹ .día ⁻¹)	1,18	1,61	1,18	1,32
Producción de carne (kg.ha ⁻¹ .período ⁻¹)	252	415	57	724

Tabla 4. Disponibilidad de forraje, carga animal (CA), ganancia de peso vivo animal (GDPV) y producción de carne en avena pura.

MS.ha⁻¹; tabla 4). En el período 2, en comparación con los períodos 1 y 3, no se pudieron efectuar las comparaciones estadísticas entre tratamientos debido a que el Nf presentó un escaso rebrote, posiblemente por las bajas precipitaciones y elevado número de heladas, acentuadas en este período, lo cual motivó el retiro de los animales a la parcela adyacente. En el período 2 Nf+A tuvo una disponibilidad promedio de 1.493 kg MS.ha⁻¹ (tabla 3) mientras que la Ap alcanzó los 2.361 kg MS.ha⁻¹ (tabla 4). En el período 3 las disponibilidades fueron menores, producto de la menor capacidad de rebrote de las dos especies, en especial del Nf (1.175 ± 145 kg MS.ha⁻¹) a pesar de tener 21 días más de rebrote. La composición botánica promedio al inicio del pastoreo, considerando las 3 franjas y los 3 períodos, en Nf+A mostró una mayor proporción de nabo forrajero (58%). Sin embargo en el final del período 2, la disponibilidad de entrada de forraje de avena superó proporcionalmente a la de nabo (65:35; respectivamente).

En el período 1, el remanente de forraje postpastoreo no fue diferente entre tratamientos ($P>0,10$; 1.716 ± 244 kg MS.ha⁻¹). La Ap presentó un alto remanente promedio en el período 1 (tabla 4). En el período 2 tuvieron un bajo remanente de salida tanto Nf+A (tabla 3) como la Ap (tabla 4). En el período 3 los remanentes de salida no tuvieron diferencias entre tratamientos ($P>0,10$; 538 ± 185 kg MS.ha⁻¹). La Ap tuvo un remanente de 756 kg MS.ha⁻¹. El remanente promedio, sin considerar el período 2 para Nf, no fue estadísticamente diferentes entre los tratamientos ($P>0,10$; 935 ± 175 kg. MS.ha⁻¹; tabla 3). Para la Ap fue de 1.238 kg. MS.ha⁻¹ (tabla 4). La composición botánica de la mezcla Nf+A (80% tallos de nabo) en todas las salidas mostró que, en todos los períodos, los animales prefirieron la avena.

En el período 1, la CA expresada en número de animales por hectárea fue similar entre tratamientos (6,4 ± 0,1 animales.ha⁻¹). En cambio, durante el mismo período el Nf tuvo una mayor CA que Nf+A cuando dicha variable se expresó en kg por hectárea (tabla 3). La alta disponibilidad de forraje de Ap permitió una alta CA, tanto en animales por hectárea como en kilos por hectárea (tabla 4). En el período 2 la CA de Nf+A mantuvo solo los animales fijos mientras que la Ap permitió mantener los animales fijos más los volantes (tabla

3). En este período los animales que pastoreaban el Nf se tuvieron que retirar a la franja adjunta. Para el período 3, el Nf tuvo una tendencia a una mayor CA que Nf+A, independientemente de cómo se exprese esta (tabla 3). Para el resto de las variables (GDPV y producción de carne) y en los dos períodos analizados separadamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 3).

Las variables de calidad del Nf en el presente trabajo son similares a las reportadas por Barry (2013). Dada la calidad del Nf se hubiera esperado una mayor GDPV, pero como halló Kay *et al.* (1972), el factor limitante sería la energía digestible consumida, que estaría probablemente ligada al bajo contenido de materia seca (tabla 2). Seguramente este último aspecto podría mejorarse con otras variedades de nabo, al igual que lo demostrado con la remolacha (Demarquilly, 1972).

Si se realiza el análisis de los resultados de todos los períodos en forma conjunta (períodos 1 y 3 en el tratamiento Nf y períodos 1, 2 y 3 para Nf+A; tabla 3), se observa que la CA fue mayor ($P<0,01$) en el tratamiento Nf, pero este tuvo un período más prolongado de rebrote al iniciar el período 3 con una tendencia ($P<0,10$) a una mayor producción de carne en Nf+A que en Nf (403 y 288 kg.ha⁻¹ ± 28 respectivamente). Esto se debió a que el Nf+A fue pastoreado durante más tiempo que Nf (66 y 38 d, respectivamente).

Con condiciones ambientales favorables al inicio y al final del experimento, el Nf mantuvo CA elevadas. Sin embargo, con bajas temperaturas y déficit hídrico, el Nf tuvo disponibilidades de forraje menor que la mezcla y no pudo mantener los animales bajo pastoreo en el período 2 del experimento.

CONCLUSIONES

La mezcla de nabo forrajero más avena fue una mejor alternativa que el nabo forrajero puro para cubrir el déficit de forraje a la salida del invierno, porque permitió mantener los animales bajo pastoreo todo el ciclo y tuvo una tendencia de mayor producción de carne. El nabo forrajero puro, sin embargo, permitió tener mayor carga animal en los períodos de clima más favorable.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Barenbrug Palaversich por la provisión de la semilla del nabo forrajero híbrido.

BIBLIOGRAFÍA

- AYALA, W.; MONTOSSI, F.; BARRIOS, E.; BERMUDEZ, R.; CUADRO, R.; LUZARDO, S.; SYLVERA, C.; PEREZ GOMAR, E.; PRAVIA, V.; ROVIRA, P.; VELAZCO, J. 2010. Summer forage feeding alternative: opportunity and challenge for pastoral systems in Uruguay. Ed. Machado et al. An overview of research on pastoral-based systems in the southern part of South America. 81-93 pp.
- AYRES, L.; CLEMENTS, B. 2002. Forage brassicas—quality crops for livestock production. (http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/146730/forage-brassicas-quality_crops-for-livestock-production.pdf, verificado: 07 de marzo de 2013).
- BARRY, T.N. 2013. The feeding value of forage brassica plants for grazing ruminant livestock. *Anim. Feed Sci. Technol.* 181: 15-25.
- DEMARQUILLY, C. 1972. Digestibilité valeur nutritive et ingestibilité des betteraves de différentes teneurs en matière sèche. *Ann. Zootech.* 21(3): 401-415.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2010. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- GARCÍA, S.C. 2011. Uso de forrajes complementarios para aumentar la productividad en sistemas de base pastoril. En: Cagnano, C.A.; Brizuela, M. A. (Ed.) *Producción animal en pastoreo*. Capítulo 17: 2.º ed. Buenos Aires, Ediciones INTA. 445-458 pp.
- HEPP, C.; TEUBER, W.; SALVO, R.M. 2011. Experiencias de utilización de brassicas forrajeras en alimentación de bovinos en crecimiento. Informativo INIA Tamei Aiké. N.º 4-11. Coyhaique. Chile.
- KAY, M.; MACDEARMID, A.; MASSIE, R. 1972. Intensive beef production. 13-replacement of concentrate with root crops. *Anim. Prod.* (15) 67-73.
- KOCH, D.; KARAKAYA, A. 1998. Extending the grazing season with turnips and other brassicas. Cooperative Extension Service. College of Agriculture. University of Wyoming. EE.UU. B-1051.12 pp.
- SASAL, M. C.; ANDRIULO, A. 2005. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus* L. (nabo forrajero). *RIA* 34 (3): 131-150 pp.
- SMOLKO, L.V.; COSENTINO, D. J.; MICUSSI, F.G., 2010. Evaluación de *Raphanus sativus* L. (nabo) como cultivo de cobertura para mejorar las propiedades físicas en *Arguidoles vérticos*. Actas del XXII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo. AACs. Rosario, Argentina. 4 p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- VAN SOEST, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. (2nd Ed.). Comstock, Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y. 476 p.

Resistencia de los botones florales del algodón *Gossypium hirsutum* L. a *Spodoptera frugiperda* Smith

TCACH, M.A.¹; FOGAR, M.N.²; RIOS, R.D.³; ACUÑA, C.A.⁴

RESUMEN

En el género *Gossypium* existen alelos mutantes que confieren tolerancia a determinados insectos. Entre los de mayor eficacia se encuentra el rasgo denominado *high glanding* (presencia de glándulas de gosispol en el tercio superior del cáliz). Es necesario conocer la interacción de esta característica con los insectos plaga. El objetivo del trabajo fue estudiar la relación entre la edad de los botones florales y la resistencia a lepidópteros inducida por las glándulas de gosispol. Se diseñaron bioensayos con larvas de *Spodoptera frugiperda* Smith y caracterizaciones de la densidad de glándulas en botones florales de diferentes edades. Por un lado, en genotipos *high* y *normal glanding* el número de glándulas por unidad de superficie disminuyó en las estructuras reproductivas a medida que estas incrementaron su tamaño. Por otro lado, el peso y el tamaño de larvas de *S. frugiperda* fueron menores cuando se alimentaron con botones florales *high glanding* especialmente de menor tamaño. Estas evidencias demuestran que el carácter *high glanding* se comporta como un factor antibiótico en larvas de *S. frugiperda*.

Palabras clave: algodón, mejoramiento de plantas, resistencia a insectos, alelos mutantes, alto gosispol.

ABSTRACT

There are mutant alleles in the genus *Gossypium* that increase the tolerance to insect pests. Among the features that are effective against different insects *high glanding* [i.e., presence of gossypol glands in the upper edge of the sepals of the flower bud] increases the tolerance to *Lepidoptera* insects. The objective of this research was to evaluate the relationship between the age of the flower buds and the resistance to *Spodoptera frugiperda*. Flower buds of different ages were characterized for gland densities and bioassays with larvae of *S. frugiperda* were carried using these buds. The density of gossypol glands in reproductive structures decreased as the size of flower buds increased while growing, in both *high* and *normal glanding* genotypes. The weight of the larvae of *S. frugiperda* was significantly lower when fed with smaller *high glanding* buds. The larvae fed with *high glanding* reproductive structures had lower weight when compared with those fed with material from the *normal glanding* genotypes. These evidences show that *high glanding* is an antibiotic factor in larvae of *S. frugiperda*, as in other lepidopteran species.

Keyword: mutant alleles, cotton, *high glanding*, plant breeding, insect resistant, gossypol.

¹Área de Mejoramiento y Protección Vegetal INTA EEA Sáenz Peña 3700, Chaco, Argentina .Correo electrónico: tcach.mauricio@inta.gob.ar

²Área de Mejoramiento y Protección Vegetal INTA EEA Sáenz Peña 3700, Chaco, Argentina .Correo electrónico: fogar.mariela@inta.gob.ar

³Instituto de Genética Ewald Favret INTA-Castelar, Buenos Aires

⁴Instituto de Botánica del Nordeste, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Correo electrónico: cacuna@agr.unne.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El cultivo de algodón, *Gossypium hirsutum* L., es atacado por diversos artrópodos entre los que se destacan por su importancia en el mundo los siguientes grupos: heliothines, miridos, aphidos, trips y arácnidos (Jenkins, 1994). En Argentina, los insectos que se alimentan del cultivo generan importantes pérdidas; son 15 las especies que lo afectan en diferentes fases (Polak *et al.*, 2001). Uno de los avances de mayor importancia en el control de plagas fue la obtención de plantas de algodón genéticamente modificadas resistentes al ataque de determinados lepidópteros. Esta tecnología además de disminuir el daño ocasionado por dichas plagas redujo el número de tratamientos con insecticidas. Por otro lado, este nuevo escenario generó el avance de otras plagas no controladas por las variedades resistentes a lepidópteros (Meredith, 1998). Existen características morfológicas presentes en las plantas que generan resistencia a plagas. Scheffler *et al.* (2003) sugirieron la incorporación de estas características a las variedades comerciales de algodón.

Una de las principales variantes fenotípicas es la ocurrencia en estructuras vegetativas y reproductivas de concentraciones variables de gossipol. Este compuesto es un pigmento amarillo de naturaleza polifenólica producido en estructuras subepidérmicas denominadas glándulas. Estas glándulas se encuentran en gran parte de los órganos de la planta de algodón y determinan un cierto grado de resistencia a plagas. Shaver *et al.* (1980) encontraron que el peso larval de *Heliothis virescens* F. está relacionado con el contenido de gossipol en las flores: el crecimiento de las larvas disminuye cuando aumenta el contenido de gossipol en los tejidos ($R^2 = 0.90$). En relación con las hojas, McAuslane *et al.* (1997) observaron que larvas de *Spodoptera exigua* H. en sus primeros estadios consumieron mayor cantidad de hojas desprovistas de glándulas. Resultados similares fueron observados en *Heliothis armigera* H. por Guangchao *et al.* (2010), destacando que las larvas alimentadas con tejidos con mayor gossipol presentaban menor peso. Con relación a la postura de huevos de *Earias vittella* F., Keshav *et al.* (2013) observaron que los adultos disminuían la oviposición en plantas con mayor contenido de gossipol. Existe una variante fenotípica estudiada por Calhoun (1997) que se caracteriza por presentar glándulas en el margen del cáliz de las flores. Este fenotipo fue denominado *high glanding* (hg), siendo una fuente de resistencia a insectos por su mayor contenido de gossipol en órganos reproductivos.

Si bien se ha comprobado que a mayor número de glándulas en las estructuras reproductivas aumenta la resistencia a lepidópteros, se desconoce cómo varía esta característica durante el crecimiento de las estructuras reproductivas y su relación con la resistencia a lepidópteros. En este contexto se plantean como objetivos de este trabajo: determinar la relación entre la resistencia inducida por glándulas de gossipol con el tamaño de las estructuras reproductivas en plantas de algodón, y evaluar el grado de antibiosis en botones florales de un genotipo *high glanding* frente a larvas de *Spodoptera frugiperda* S.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal corresponde a líneas puras de *G. hirsutum* pertenecientes al programa de mejoramiento genético del INTA. Una de estas líneas es SP 26 hg (que en el texto también se refiere como HG) y que se caracteriza por su fenotipo *high-glanding*. Las otras dos líneas están emparentadas con SP 26 hg, compartiendo un progenitor, y se identifican como NG1 y NG2. Estas líneas poseen fenotipos *normal-glanding*, no presentando glándulas de gossipol en el tercio superior del cáliz de las flores.

Análisis de la expresión de la densidad de glándulas en función del crecimiento de botones florales

Para determinar la relación entre la resistencia inducida por glándulas de gossipol y el tamaño de las estructuras reproductivas se diseñaron dos experimentos. El primero se implementó para determinar la relación entre la densidad de glándulas de gossipol y la edad de las estructuras reproductivas. Para ello fueron sembrados los genotipos: HG, NG1 y NG2, durante el mes de noviembre de 2009, en macetas de 5 litros con sustrato a base de 1/3 de arena y 2/3 suelo recolectado de los primeros centímetros de un tapiz vegetal de praderas correspondiente a un suelo clasificado como *Argiudol údico*. Cada maceta contenía 2 plantas distanciadas a 15 cm. Se utilizaron 10 macetas por genotipo distribuidas según un diseño completamente al azar con 5 repeticiones integradas por dos macetas cada una.

Para determinar la relación de crecimiento-resistencia fueron marcados 30 botones florales en 20 plantas de cada genotipo, a partir de 50 grados días, considerando como inicio la fase de botón "cabeza de alfiler". Posteriormente, se realizó el recuento de glándulas de gossipol en el tercio medio de los botones florales, empleando una lupa portátil 20x con campo visual definido de 25 mm². Este registro consistió en 3 mediciones a intervalos de 6 días. El experimento fue realizado en dos períodos: septiembre 2009 y junio-julio 2010. Además del parámetro mencionado, también fueron medidos los diámetros de cada botón en los mismos momentos del recuento de glándulas. También en el genotipo HG se registró el número de glándulas en el tercio superior del cáliz, solo durante la tercera medición. Los datos fueron analizados estadísticamente empleando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013). Se ajustó para cada genotipo un modelo de regresión lineal para el diámetro y el número de glándulas del tercio medio, para finalmente calcular las diferencias entre pendientes mediante una prueba de paralelismo.

Bioensayos con *Spodoptera frugiperda* S.

El segundo experimento fue diseñado para determinar la relación entre el crecimiento de las estructuras reproductivas y la resistencia provocada por las glándulas. Para ello se realizó un bioensayo con *Spodoptera frugiperda*. Se extrajeron botones florales de 2 tamaños (6,5 y 9 mm) de

los tres genotipos: HG, NG 1 y NG 2. Estas plantas fueron sembradas en invernáculo en el mismo período que en el experimento anterior (septiembre 2009 y junio 2010). El diseño empleado fue completamente al azar con distribución factorial (tomando como factores tamaño de botón floral y genotipo) con 5 repeticiones. Las brácteas fueron eliminadas y se realizó la desinfección de los botones florales con una solución de hipoclorito de sodio al 1%.

Los botones florales preparados fueron dispuestos en cubetas, uno por orificio, con un soporte de agar. Luego se liberó una larva neonata, proveniente del laboratorio de entomología de la Estación Experimental INTA Sáenz Peña por cada botón floral. Cada repetición estuvo integrada por 6 botones con 6 larvas. A los 7 días se registró el peso de las larvas y posteriormente se procesaron los datos con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013). Se realizó el análisis de la variancia y la comparación de medias con el test de Tukey con nivel de significación de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la expresión de la densidad de glándulas en función del crecimiento de botones florales

Un total de 86 registros del número de glándulas y diámetro de los botones fueron realizados durante 16 días en septiembre 2009, y otros 68 registros en junio-julio 2010 para los tres genotipos evaluados. En la primera experiencia (septiembre 2009) la densidad de glándulas disminuyó

con el incremento del diámetro de los botones florales; registrándose un máximo de 3,3 glándulas mm⁻² para HG en botones de 6,3 mm a un mínimo de 1,4 glándulas mm⁻² en botones de 10,3 mm para el genotipo NG2 (tabla 1). Además, es importante destacar que la relación observada entre el tamaño de los botones florales y la densidad de glándulas de gosispol fue significativa y lineal para los tres genotipos: SP 26 *hg* (HG), NG1 y NG2 (tabla 2). En la segunda parte del experimento, realizada en junio-julio 2010, los resultados fueron similares y se presentan en la tabla 3. Para esta experiencia nuevamente se registró el máximo valor para el número de glándulas en la línea SP 26 *hg* con 2,1 glándulas mm⁻² en botones cuyo diámetro promedio fue de 5,3 mm; el valor mínimo fue de 1,2 glándulas mm⁻² en NG2 con botones de 7,5 mm de diámetro (tabla 3). Para este experimento, los modelos de los tres genotipos resultaron también lineales y significativos (tabla 4). Ambos experimentos demuestran claramente que existe una relación entre el número de glándulas y el diámetro de botones florales. En las tablas 2 y 4 se presentan los valores de R², el mínimo es de 0,5 en el segundo experimento para SP 26 *hg* (tabla 4) y el máximo, de 0,8 en SP 26 *hg* en el primer experimento (tabla 2). Shaver *et al.* (1980) concluyeron que la densidad de glándulas presenta una asociación positiva con la resistencia a *Heliothis virescens*. Por un lado, Hedin *et al.* (1992) observaron larvas de *H. virescens* de menor peso cuando fueron alimentadas con estructuras con mayor número de glándulas. Por otro lado, Wilson y Shaver (1973) destacaron

Fecha	Genotipo	N.º medio de glándulas / mm ² DE	N.º de glándulas en el tercio superior	Diámetro del botón en mm y DE
06-sep	HG	3,3+/-0,5	35+/-18	6,3+/-0,8
12-sep	HG	2,6+/-0,3	35+/-18	7,6+/-0,8
18-sep	HG	1,7+/-1,3	35+/-18	8,9+/-0,7
06-sep	NG1	2,9+/-0,2	0	5,7+/-0,6
12-sep	NG1	2,1+/-0,3	0	6,4+/-0,7
18-sep	NG1	1,6+/-0,2	0	8,5+/-0,6
06-sep	NG2	2,4+/-0,5	0	6,3+/-1,0
12-sep	NG2	1,9+/-0,6	0	7,8+/-1,0
18-sep	NG2	1,4+/-0,4	0	8,7+/-1,1

Tabla 1. Distribución de glándulas de gosispol en botones florales en función de diámetro, estadio y genotipo (registro realizado en septiembre del 2009).

Comparaciones	P = valor	Genotipo	R ²	Ecuación de ajuste	P=valor
HG vs NG1	0,02	HG	0,87	y= -13,43-x+ 166,46	0,001
HG vs NG2	0,0138	NG1	0,68	y= -8,30x+119,28	0,001
NG1 vs NG2	0,536	NG2	0,61	y= -9,16x+118,67	0,001

Tabla 2. Parámetros estadísticos de comparación entre las pendientes de los genotipos HG, NG1y NG2, correspondientes a las regresiones entre el diámetro de los botones florales y el número de glándulas en 1 mm². Aquellos valores de probabilidad menores a 0,05 indican diferencias significativas.

Fecha	Genotipo	N.º medio de glándulas 1/3/ mm ² D.E	N.º de glándulas en el tercio superior	Diámetro del botón en mm y D.E
25-jun	HG	2,0+/-0,3	16+/-5	5,3+/-1,1
01-jul	HG	1,8+/-9,8	16+/-5	7,0+/-1,6
06-jul	HG	1,8+/-0,3	16+/-5	8,2+/-0,9
25-jun	NG1	1,7+/-0,4	0	6,7+/-0,1
01-jul	NG1	1,5+/-0,3	0	8,0+/-1,6
06-jul	NG1	1,3+/-0,2	0	8,2+/-1,1
25-jun	NG2	1,9+/-0,2	0	6,3+/-1,1
01-jul	NG2	1,7+/-0,3	0	6,6+/-2,1
06-jul	NG2	1,1+/-0,1	0	7,5+/-0,5

Tabla 3. Distribución de glándulas de gossipol en botones florales en función de diámetro, estadio y genotipo, registro realizado en junio-julio del 2010.

Comparaciones	P = valor	Genotipo	R ²	Ecuación de ajuste	P=valor
HG vs NG1	0,2553	HG	0,48	y= -3,8x+73,92	0,002
HG vs NG2	0,6165	NG1	0,59	y= -5,42x+80,35	0,001
NG1 vs NG2	0,5479	NG2	0,5	y= -4,5-x+72,83	0,0017

Tabla 4. Parámetros estadísticos de comparación entre las pendientes de los distintos genotipos HG, NG1y NG2, correspondientes a las regresiones entre el diámetro de los botones florales y el número de glándulas en 1 mm², aquellos valores de probabilidad menores a 0,05 indican diferencias significativas.

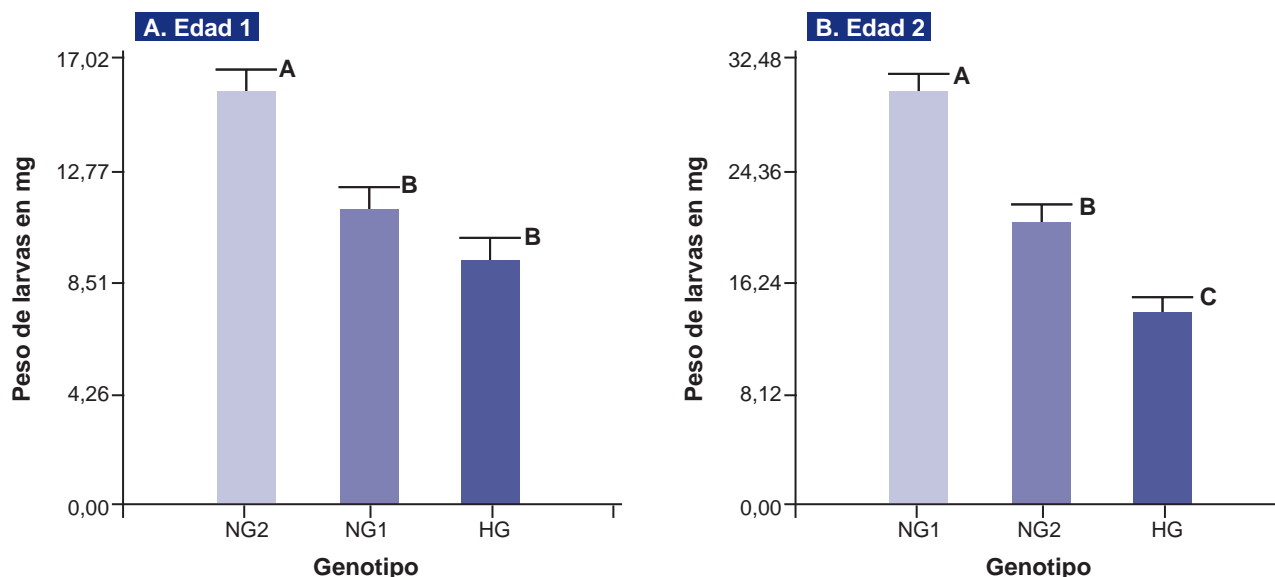


Figura 1. A. Prueba de antibiosis correspondiente al experimento realizado en septiembre de 2009 con tres genotipos uno *high glanding* (SP 26 hg) y dos *normal glanding* (NG1 y NG2), con botones florales de 6,5 mm de diámetro (E1: edad1). El peso de larvas en mg corresponde al registro efectuado 7 días posteriores al contacto insecto-estructura floral. B. Prueba de antibiosis similar a las descritas en A, pero con botones de 9 mm de diámetro (E2: edad 2). Letras distintas representan diferencias significativas $p < 0,05$.

que los tejidos con mayor densidad de glándulas contienen más gossipol por unidad de masa, este compuesto es uno de los factores de mayor importancia en la antibiosis observada en algodón.

Teniendo en cuenta estos conceptos, se podría deducir que los botones florales de menor tamaño son más resistentes, ya que en estos fue observado, para todos los genotipos, el mayor número de glándulas en la unidad de

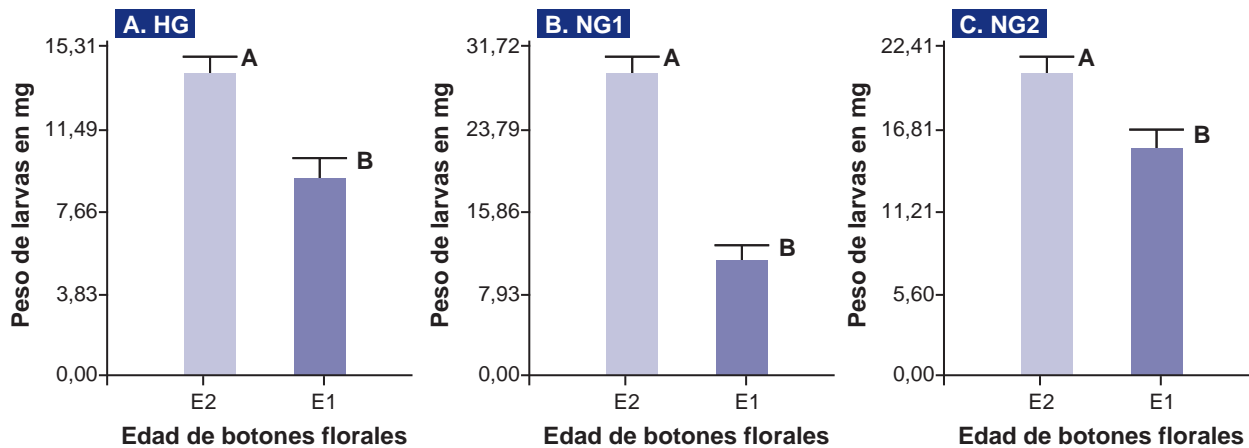


Figura 2. A. Antibiosis expresada en peso de larvas en mg para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en HG. **B.** Antibiosis expresada en peso de larvas en mg para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en NG1. **C.** Antibiosis expresada en peso de larvas en mg para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en NG2. Letras distintas representan diferencias significativas $p < 0,05$. Datos correspondientes al experimento realizado en septiembre 2009.

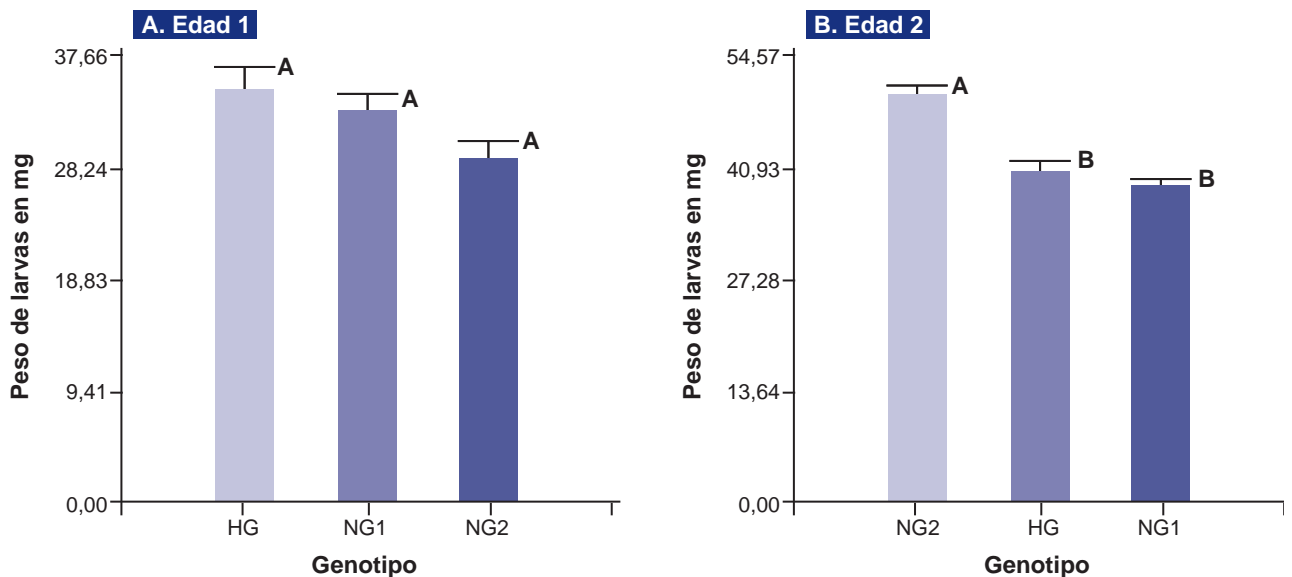


Figura 3. A. Prueba de antibiosis correspondiente al experimento realizado en junio de 2010 con tres genotipos uno *high glanding* (SP 26 *hg*) y dos *normal glanding* (NG1 y NG2), con botones florales de 6,5 mm de diámetro (E1: edad1). El peso de larvas en mg corresponde al registro efectuado 7 días posteriores al contacto insecto-estructura floral. **B.** Prueba de antibiosis similar a las descritas en A, pero con botones de 9 mm de diámetro (E2: edad 2). Letras distintas representan diferencias significativas $p < 0,05$.

área considerada de 1 mm². Se deduce que existe relación significativa entre el tamaño de los botones florales, que a su vez está relacionada con la edad de dichas estructuras, y la resistencia frente a los lepidópteros plaga.

La relación diámetro:número de glándulas observada en los tres genotipos considerados demuestra que en SP 26 *hg* la disminución de glándulas por unidad de superficie en función de la edad fue significativamente mayor en comparación con NG1 y NG2, aunque no hubo diferencias entre las pendientes de los genotipos *normal-glanding* (tabla 2). Si bien la pendiente fue mayor en SP 26 *hg*, el número final

de glándulas para botones más grandes fue mayor en relación con los controles *normal glanding* (tabla 1).

Bioensayos con *Spodoptera frugiperda* S.

En función de los resultados obtenidos a partir de los bioensayos realizados con larvas de *S. frugiperda* se pueden destacar algunos aspectos sobresalientes. Si bien las repeticiones inicialmente estuvieron integradas por 6 larvas neonatas, solo un 70,3% de estas fueron recuperadas a los 7 días en el ensayo realizado en sep-

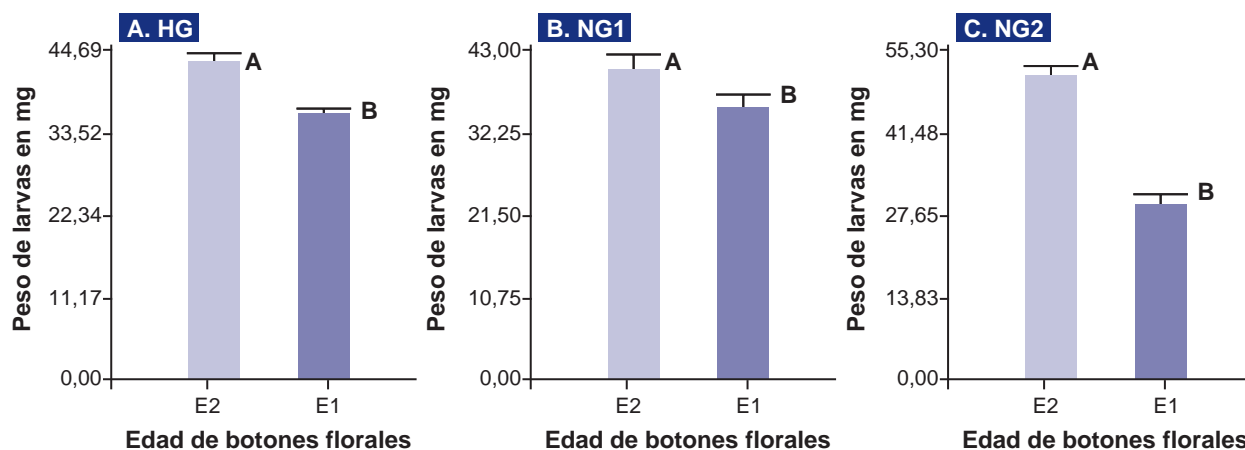


Figura 4. A. Antibiosis expresada en peso de larvas en mg, para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en HG. B. Antibiosis expresada en peso de larvas en mg para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en NG1. C. Antibiosis expresada en peso de larvas en mg para dos edades de botones florales E1=6,5 mm y E2=9,5 mm en NG2. Letras distintas representan diferencias significativas $p < 0,05$. Datos correspondientes al experimento realizado en junio-julio 2010.

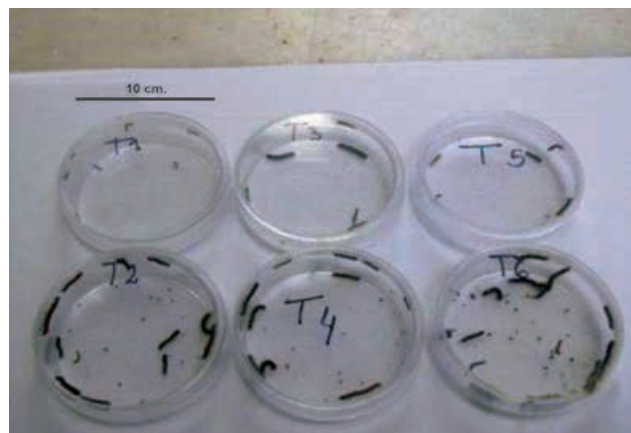


Figura 5. Experiencia realizada con estructuras recolectadas a campo para ajustar un ensayo preliminar durante enero de 2010. Clasificación: T1-T6 según los siguientes genotipos y edades de botón floral: T1 HG-E1 (*high glanding* edad 1), T2 HG-E2 (*high glanding* edad 2), T3 NG1-E1 (*normal glanding* 1 edad 1), T4 NG1-E2 (*normal glanding* 1 edad 2), T5 NG2-E1 (*normal glanding* 2 edad 1) y T6 NG2-E2 (*normal glanding* 2 edad 2).

tiembre de 2009 y un 81% en el de junio-julio de 2010, lo que sugiere una de mortalidad similar en ambas experiencias. Cabe destacar que en todas las repeticiones fueron recuperadas, como mínimo, 3 larvas. En la figura 5 se observan larvas criadas con botones florales obtenidos de los tres genotipos (HG, NG1 y NG2) en dos tamaños de estructuras. Esta experiencia fue parte del ajuste de los bioensayos. En dicha experiencia se destacan las diferencias de crecimiento de larvas. En función de los resultados de los análisis de variancia, ambos ensayos presentaron interacciones significativas, lo cual generó la necesidad de analizar cada factor separadamente para cada nivel del otro.

En la experiencia realizada en septiembre de 2009 se observó, en los botones florales denominados E1 (edad 1), que el peso de las larvas fue significativamente menor en los genotipos HG y NG1 con relación a NG2 (figura 1.A), con pesos de 9,3 mg, 11,2 mg y 15,8 mg respectivamente. En la edad E2, HG presentó diferencias significativas con NG1 y NG2 (figura 1.B), registrándose pesos de 14,2 mg, 20,9 mg y 30,2 mg respectivamente. Se puede deducir que las larvas consumieron menor cantidad de tejidos en SP 26 *hg* en la segunda edad respecto de ambos controles. Considerando estos resultados, SP 26 *hg* fue el genotipo que presentó mayor antibiosis en ambas edades.

El número de glándulas observado en los experimentos anteriores permitió deducir que SP 26 *hg* presentaría una menor pérdida de resistencia por efecto del incremento de tamaño de las estructuras, ya que si bien tiene una pendiente de dilución significativamente mayor que NG1 y NG2, el número de glándulas en todos los estadios fue mayor (tabla 1). Por lo tanto, el factor densidad de glándulas que Hedin *et al.* (1992) relacionaron con la resistencia a *H. virescens* presenta un comportamiento similar en *S. frugiperda*.

En los gráficos de la figura 2 se puede observar la relación existente entre la edad de los botones florales y el grado de antibiosis para los tres genotipos, este es significativamente mayor en botones E1 para los tres genotipos ensayados. Estos resultados están relacionados con la pérdida de antibiosis ocasionada por la disminución del número de glándulas en función del crecimiento de estructuras reproductivas.

Los resultados de la experiencia realizada en junio de 2010 se presentan en las figuras 3 y 4. Estos corresponden a la segunda experiencia, la cual registró un comportamiento similar al descrito en el párrafo anterior. Para este caso, para la primera edad de botones florales, el peso de

larvas no difiere significativamente entre los genotipos (figura 3). Por otro lado, al incrementar el tamaño de botones florales en la segunda edad, el grado de antibiosis solo difiere significativamente entre NG1 y HG, NG1 y NG2 (figura 3). Posiblemente las diferencias entre experimentos se deban a otros factores genéticos que inciden en la resistencia de los tejidos a los lepidópteros. Al respecto, Scheffler *et al.* (2012) encontraron variaciones en la resistencia a *H. virescens*, en genotipos que presentaban similares concentraciones de gossipol en hoja y semilla.

Con relación a la pérdida de antibiosis observada en función de la edad, en el experimento realizado durante el año 2010, se puede observar un comportamiento similar al descripto en 2009 (figura 4).

Los resultados observados en *S. frugiperda* en este trabajo presentan una estrecha similitud a los encontrados por McAuslane *et al.* (1997) en larvas de *S. exigua*, Parrott *et al.* (1989), Hedin *et al.* (1992) en larvas de *H. virescens* y Guangchao *et al.* (2010) en *H. armigera*. Los resultados demuestran una relación estrecha entre la resistencia varietal generada por las glándulas de gossipol, el genotipo y la edad de las estructuras consideradas, de donde puede deducirse que a medida que los botones florales crecen se vuelven menos tolerantes al daño causado por *S. frugiperda*.

Este comportamiento puede resultar similar en otras especies de lepidópteros que atacan las estructuras reproductivas, como las del complejo *Heliothis*. Además, el genotipo HG *high glanding* presentó resistencia varietal frente a *S. frugiperda* similar a la observada por Parrott *et al.* (1989) y Hedin *et al.* (1992) en *H. virescens*.

Por un lado, los resultados alcanzados en estos experimentos permiten una mejor comprensión de las interacciones de los lepidópteros con el cultivo, ya que durante la floración una gran proporción de estructuras es más vulnerable que en la prefloración, caracterizada principalmente por presentar estructuras jóvenes. Por otro lado, la característica *high glanding* podría permitir ampliar, en los genotipos que la porten, el grado de tolerancia a los lepidópteros del complejo *Heliothis* y a *S. frugiperda*.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados demuestran que existe una relación entre el tamaño de los botones florales y la resistencia de los tejidos a larvas de *S. frugiperda*. Este proceso está asociado a una disminución en la densidad de glándulas de gossipol en los tejidos por efecto del crecimiento. Además, las evidencias observadas demuestran que el car-

ácter *high glanding* se comporta como un factor antibiótico en larvas de *S. frugiperda*.

BIBLIOGRAFÍA

- CALHOUN, D.S. 1997. Inheritance of high glanding, an insect resistance trait in cotton. *Crop Sci.* 37:1181-1186.
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M. y ROBLEDO, C. W. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- HEDIN, P.A.; PARROTT, W.L.; y Jenkins, J.N. 1992. Relationship of glands cotton square terpenoid aldehydes and other allelochemicals to larval growth of *Heliothis virescens* Lepidoptera: Noctuidae. *J. Econ. Entomol.* 85:359-364.
- GUANGCHAO, K.; MUHAMMAD, K. D.; y DAUDA, S. Z. 2010. Effects of pigment glands and gossypol on growth, development and insecticide-resistance of cotton bollworm (*Heliothis armigera* (Hübner)). *Crop Protections.* 29:813.919.
- JENKINS, J.N. 1994. Host plant resistance to insect in cotton. *In* Proceeding of 1st World Cotton Conference Research, Brisbane Australia. 1:359-372.
- KESHAV, A.; SHERA, P.S. y SINGH, J. 2013. Morphological basis of resistance to spotted bollworm, *Earias vittella* Fabricius in Asiatic cotton. *Phytoparasitica* 41:235
- McAUSLANE, H.J.; ALBORN, H.T. y TOTH, J.P. 1997. Systemic induction of terpenoid aldehydes in cotton pigment glands by feeding of larval *Spodoptera exigua*. *Journal of Chemical Ecol.* 23:2861-2879.
- PARROTT, W.L.; JENKINS, J.N.; MULROONEY, J.E.; McCARTY, J.C. y SHEPHERD, R.L. 1989. Relationship between gossypol gland density on cotton squares and resistance to tobacco budworm larvae. *J. Econ. Entomol.* 82:589-592.
- POLAK, M.G.A.; PRAUSE, J., CONTRERAS, G. y CARAM, G.E. 2001. Plagas en el cultivo de algodón *Gossypium hirsutum* (L.) (Malvales: Malvaceae) en relación a las condiciones ambientales y a sus estados fenológicos. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. SGC y T-UNNE.* (Área: Agronomía).
- SCHEFFLER, J.A.; DOWD, M.K.; MEREDITH, W.R. y SCHEFFLER, B.E. 2003. New possibilities for some old genes: improved host plant resistance. *In* Proceeding of the 3rd World Cotton Conference Research, South Africa 1:175-182.
- SCHEFFLER, J.; ROMANO, G.B. y BLANCO, C.A. 2012. Evaluating host plant resistance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) with varying gland densities to tobacco budworm (*Heliothis virescens* F.) and bollworm (*Helicoverpa zea* Boddie) in the field and laboratory. *Agricultural Sciences.* 3:14-23
- SHAVER, T.N.; DILDAY, R.H. y WILSON, F.D. 1980. Use of glandless breeding stocks to evaluate unknown *Heliothis* growth inhibitors (X-Factors) in cotton. *Crop Sci.* 20:545-548.
- WILSON, F.D. y SHAVER, T.N. 1973. Glands, gossypol content, and tobacco budworm development in seedlings and floral parts of cotton. *Crop Sci.* 13:107-110.

Un nuevo método para la evaluación de la sustentabilidad agropecuaria en la provincia de Salta, Argentina

VEGA, M.L.¹; IRIBARNEGARAY, M.A.²; HERNÁNDEZ, M.E.²; ARZENO, J.L.³; OSINAGA, R.³; ZELARAYÁN, A.L.³; FERNÁNDEZ, D.R.³; MÓNICO SERRANO, F.H.⁴; VOLANTE, J.N.³; SEGHEZZO, L.^{2,5*}

RESUMEN

En este trabajo se describe una experiencia de diseño, desarrollo y cálculo de un índice de evaluación de la sustentabilidad agropecuaria. Este índice, que se denominó ISAP (Índice de Sustentabilidad Agropecuaria), se estimó en siete establecimientos agropecuarios del departamento de Anta de la provincia de Salta, en el noroeste de Argentina. El ISAP se construyó mediante la estimación de indicadores previamente seleccionados de manera conjunta con los productores agropecuarios locales durante tres series de encuestas estructuradas y semiestructuradas realizadas entre los años 2012 y 2014. El ISAP se construyó sobre el concepto de "sistema socioecológico", entendido como el ámbito geográfico y cultural en el cual se producen los procesos de cambio social, ambiental y productivo. Este enfoque permitió incluir en la evaluación indicadores que describen los procesos de gobernanza y toma de decisiones de gestión. El cálculo del ISAP se realizó con la participación activa de los productores agropecuarios, quienes fueron los responsables de la evaluación de sus propios establecimientos. Los establecimientos evaluados presentaron un nivel aceptable de sustentabilidad, superando el umbral de aceptabilidad establecido para este estudio. Un análisis detallado de cada caso permitió identificar aspectos que requieren intervenciones y sugerir algunas estrategias de mejora. La versión actual del ISAP será discutida con productores y expertos locales para evaluar su aplicabilidad en otros sistemas productivos y en otras regiones de la provincia de Salta o del resto del noroeste argentino. El ISAP no pretende reemplazar otras metodologías de evaluación, sino que puede ser una herramienta de análisis complementaria para evaluar y optimizar el nivel de sustentabilidad de los establecimientos agropecuarios de la región.

Palabras clave: Anta; indicadores de sustentabilidad; Índice de Sustentabilidad Agropecuaria; ISAP.

ABSTRACT

This paper describes the design, development, and calculation of an index to assess agricultural sustainability. This index was called ISAP (a Spanish acronym meaning Agricultural Sustainability Index) and was estimated for seven farms in the Anta Department, province of Salta, Northwestern Argentina. The construction of the ISAP involved the estimation of indicators that were previously selected together with agricultural producers during three series of structured and semi-structured interviews performed between 2012 and 2014. The ISAP was built on the concept of "social-ecological system", understood as the geographical and cultural arena where processes of social, environmental, and productive change can take place. This approach allowed the

¹Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (UNSa).

²Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Salta.

⁴INTA, AER Joaquín V. González, Salta.

⁵Autor de correspondencia. INENCO, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Avenida Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina.

Correo electrónico: lucas.seghezzo@conicet.gov.ar

inclusion of governance and decision-making processes in the assessment. The calculation of the ISAP was made with the active participation of farmers, who were in charge of assessing their own establishments. The farms assessed present an acceptable level of sustainability, all above the acceptability threshold adopted for this study. A detailed analysis of the cases studied allowed the identification of aspects that need interventions and improvement strategies. The current version of the ISAP will be discussed with local experts and producers to assess its potential applicability to other production systems, and for different areas in the province of Salta or in other parts of Northwestern Argentina. The ISAP is not meant to replace other assessment methods but aims to be a complementary tool to assess and optimize the level of agricultural sustainability in the region.

Keywords: *Agricultural Sustainability Index; Anta; ISAP; sustainability indicators.*

INTRODUCCIÓN

Las actividades agropecuarias producen bienes y servicios indispensables para el ser humano y son una importante fuente de mano de obra (FAO, 2014). Al mismo tiempo, estas actividades pueden generar efectos negativos sobre el ambiente y la sociedad, reduciendo la sustentabilidad del uso del suelo a distintas escalas espaciales (predial, local y regional) y temporales (corto, mediano y largo plazo) (Cabeza Gutiérrez, 1996; López-Ridaura *et al.*, 2002). La estimación de "indicadores de sustentabilidad" es una manera de evaluar estos efectos y puede ayudar a la formulación de políticas agropecuarias que respeten el ambiente y sean socialmente aceptables (Bell y Morse, 2008; Bossel, 1999; Stringer *et al.*, 2006).

Existen métodos diversos para la evaluación de la sustentabilidad, con distinto grado de especialización temática o sofisticación metodológica (ver por ejemplo: Cabell y Oelofse, 2012; Ness *et al.*, 2007; Rigby *et al.*, 2001; Valentin y Spangenberg, 2000; Van de Kerk y Manuel, 2008; Walter y Stützel, 2009a; 2009b). En América Latina existen experiencias de evaluación de la sustentabilidad de las actividades agrícolas o de determinados sistemas de gestión de recursos naturales. Los métodos aplicados van desde la evaluación de temas específicos, tales como la calidad de los suelos (Arzeno, 2006) o el impacto de los pesticidas y el tipo de labranza (Ferraro *et al.*, 2003), hasta sistemas más complejos constituidos por numerosos indicadores, como el MESMIS (Método de Evaluación de la Sustentabilidad Mediante Indicadores de Sustentabilidad) (Astier *et al.*, 2008; López Ridaura, 2005; Speelman *et al.*, 2007) o el indicador de prácticas agrícolas sustentables (Rigby *et al.*, 2001). Otros métodos se basan en protocolos relativamente estandarizados de evaluación de impacto ambiental aplicados a las actividades productivas como el AGRO*ECO (Girardin *et al.*, 2000) o el APOIA (Rodríguez y Campanhola, 2003). En Argentina, el método más difundido es el AgroEcolIndex, un índice propuesto como una herramienta de evaluación de la performance ambiental de emprendimientos agropecuarios de la región pampeana (Manuel-

Navarrete *et al.*, 2009; Viglizzo *et al.*, 2005; 2006; 2011). Si bien muchos de estos métodos se presentan como enfoques integrales para la evaluación agropecuaria, en general se puede observar un claro sesgo hacia la estimación de variables productivas o económicas. En el MESMIS, por ejemplo, alrededor del 80% de los indicadores utilizados se relacionan con cuestiones biofísicas o económicas del establecimiento. Lo mismo puede concluirse analizando la lista de indicadores utilizados en el indicador de prácticas agrícolas sustentables en el AGRO*ECO y en el APOIA. El AgroEcolIndex, por otra parte, se presenta claramente como una medida de la performance ambiental de la actividad productiva.

En general, los métodos disponibles se basan en la idea de "desarrollo sustentable" popularizada por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD, 1987). Esta idea considera que los tres pilares del desarrollo sustentable son la economía, el ambiente y la sociedad (Elkington, 1998) a los que se suma a veces una dimensión institucional (Spangenberg, 2009). La validez o pertinencia actual del paradigma de desarrollo sustentable es materia de intenso debate (Seghezze, 2009). Este paradigma ha sido criticado, entre otras cosas, porque otorga escasa importancia al contexto territorial e histórico a nivel local (Escobar, 2008) y porque supedita los procesos de gobernanza, o sea aquellos vinculados a la toma de decisiones de gestión, a fenómenos económicos de orden global (Dresner, 2002; Voß *et al.*, 2006). Si bien esta discusión excede los objetivos del presente trabajo, los nuevos desarrollos conceptuales en materia de sustentabilidad pueden ayudar a definir metodologías de evaluación más actualizadas y pertinentes (Iribarnegaray y Seghezze, 2012).

La evaluación de la sustentabilidad de las actividades productivas es particularmente necesaria para la región del Chaco argentino, en donde se observan intensos procesos de expansión de la frontera agropecuaria (Volante *et al.*, 2006; Volante, 2014). En los últimos años, la tasa de deforestación en esta región varió entre 1.5 y 2.5%, lo cual supera los promedios latinoamericano (0.51%) y mundial

(0.20%) (FAO, 2013). De mantenerse las tendencias actuales, el paisaje del Chaco terminará siendo predominantemente agropecuario, con franjas y parches de bosques nativos con escasa conexión entre ellos (Volante, 2014). A pesar de que las graves consecuencias ambientales y sociales que podrían derivarse de los procesos de expansión agropecuaria, la sustentabilidad de estas actividades todavía no ha sido estudiada con metodologías adaptadas a las condiciones de la región.

En este trabajo se describe una experiencia de diseño, desarrollo y estimación de un Índice de Sustentabilidad Agropecuaria (ISAP) que puede ser utilizado a nivel de unidad de manejo (escala predial) en la región del Chaco argentino. El ISAP se construyó con variables cualitativas y cuantitativas que reflejan la visión de sustentabilidad tanto de los expertos

en el tema como de los productores y otros actores locales relevantes. Una primera versión del ISAP se estimó en Establecimientos Agropecuarios (EAP) seleccionadas en el Departamento Anta de la provincia de Salta, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio de caso

Área de estudio

El departamento de Anta está ubicado entre los 24° 00' y 25° 45' de latitud sur y los 62° 54' y 64° 50' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 22.900 km² que representa el 14,8% del total del territorio de la provincia de Salta (figura 1). El departamento de Anta presenta un gra-

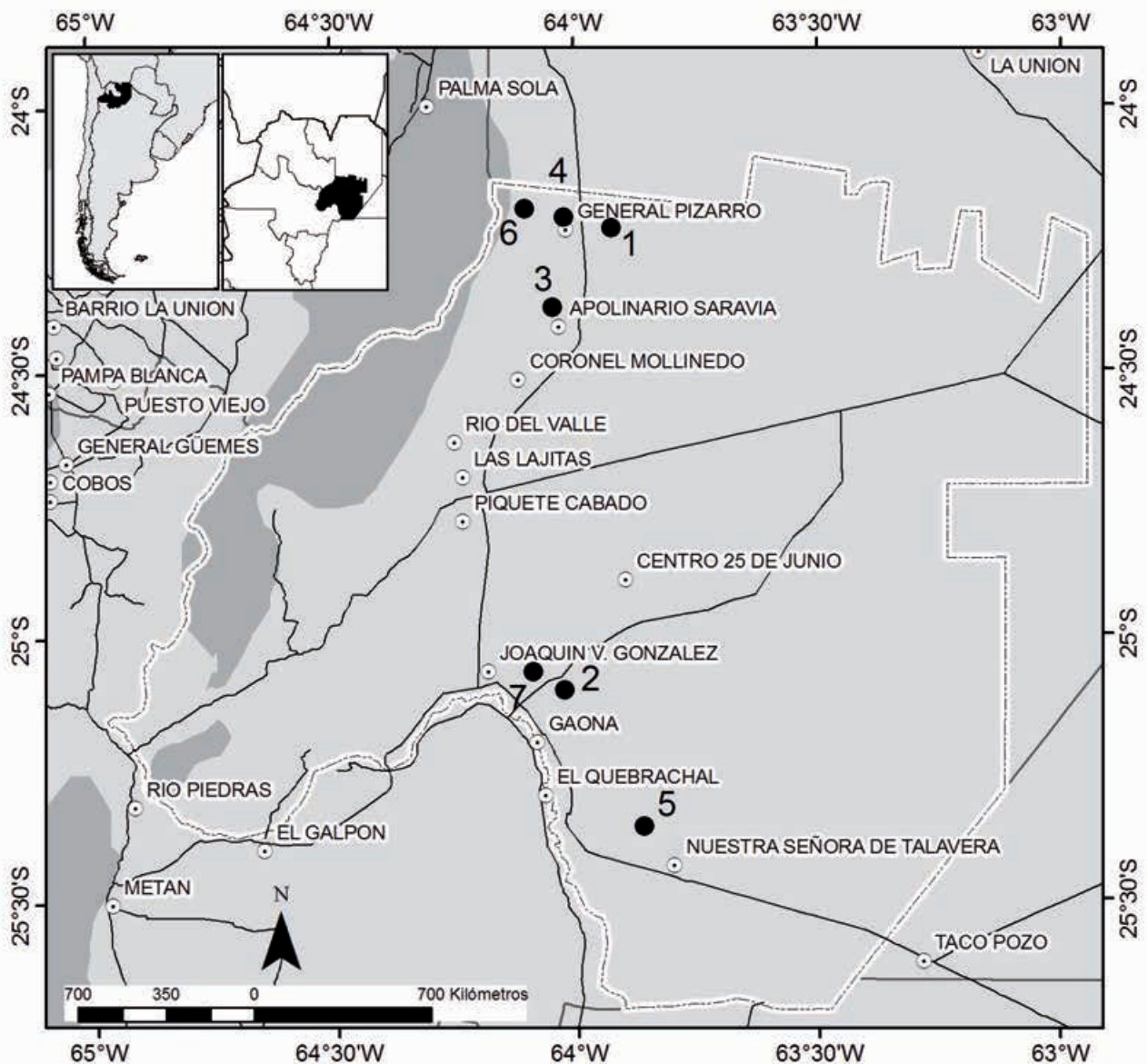


Figura 1. Departamento de Anta de la provincia de Salta (Argentina). La ubicación aproximada de los Establecimientos Agropecuarios (EAP) evaluados se indica con círculos negros y números. Elaboración propia con datos catastrales.

diente de precipitación oeste-este que va desde los 2.000 mm (ecorregión de Las Yungas) a los 500 mm en el límite con la provincia del Chaco (ecorregión del Gran Chaco). Entre estas dos ecorregiones existe una zona agroeconómica de transición denominada "Umbral al Chaco". Esta zona de pendientes ligeras, con precipitaciones que superan los 700 mm, posee suelos profundos con buena aptitud para agricultura a secano. Hacia el oeste del Umbral al Chaco se ubica el Chaco silvoganadero, en donde el clima semiárido de altas temperaturas y con precipitaciones que oscilan entre los 400 y los 600 mm, restringen la aptitud agropecuaria a ganadería subtropical, explotación forestal y agricultura de tipo marginal (Bravo *et al.*, 1999). Al sur del departamento de Anta existe también un área de riego de aproximadamente 90.000 ha alimentada por el río Juramento. El departamento de Anta, compuesto por 5 municipios (Las Lajitas, Joaquín V. González, Apolinario Saravia, El Quebrachal y General Pizarro), cuenta con una población total cercana a los 60.000 habitantes (INDEC, 2010).

Establecimientos agropecuarios evaluados

Luego de un proceso de consulta a expertos locales, reuniones con productores y relevamientos a campo, se seleccionaron para este estudio siete EAP cuyas características básicas se describen en la tabla 1 (ver ubicación en la figura 1). En la selección se incluyeron EAP de distintos tamaños dedicados a diferentes actividades agropecuarias. Un criterio importante en el proceso de selección fue la predisposición de los productores para participar de la experiencia y la disponibilidad de información para la construcción del índice. Los interlocutores de cada EAP fueron los dueños o encargados de las actividades productivas y administrativas. La descripción inicial de estos establecimientos se realizó luego de entrevistas semi-estructuradas a los responsables y visitas complementarias de campo.

El Índice de Sustentabilidad Agropecuaria

El ISAP es una medida de la sustentabilidad que se podría incluir entre las metodologías de evaluación integrada de la sustentabilidad que utilizan herramientas de análisis

multicriterio (Ness *et al.*, 2007). El proceso de construcción del ISAP constó de las siguientes etapas:

Definición del marco conceptual de análisis

Se utilizó como base para la evaluación el concepto de "sistema socioecológico" (SSE) propuesto por Elinor Ostrom (Premio Nobel de Economía 2009) y sus colaboradores (Gibson *et al.*, 2000; 2005; Ostrom 2006; 2007; 2009; 2010). Los SSE se entienden como el ámbito geográfico y cultural en el cual se producen los procesos de cambio social, ambiental y productivo. En este trabajo, un EAP se consideró un SSE en el cual la gestión productiva interactúa con el contexto ambiental y social en el corto, mediano y largo plazo. Este enfoque permite incluir en la evaluación los procesos de gobernanza y toma de decisiones de gestión en un territorio determinado (Bosselmann, 2008; Bosselmann *et al.*, 2008; Hufty 2011; Meadowcroft *et al.*, 2005). En este marco conceptual, la sustentabilidad de un EAP en el Chaco argentino se definió como "el proceso adaptativo de toma de decisiones de gestión que permite desarrollar estrategias para un aprovechamiento racional de los recursos naturales, una distribución equitativa de los beneficios económicos y sociales de las actividades productivas y una protección activa de la diversidad natural y cultural de la región". Esta definición operativa se comunicó a los actores locales durante talleres participativos para su discusión y validación, de acuerdo a lo sugerido por Walter y Stützel (2009a). Si bien existen diferencias entre los SSE de distintas regiones, el marco conceptual adoptado considera que la sustentabilidad de una unidad de manejo genérica puede ser descrita en términos de cinco aspectos fundamentales (figura 2): (1) *Sistema*: componentes materiales o biofísicos y estrategias de gestión productiva de la unidad de manejo bajo análisis; (2) *Actores*: representantes sociales relevantes (productores agropecuarios, trabajadores, técnicos, gobiernos y otros actores) cuyas acciones o inacciones afectan de manera determinante a las unidades de manejo; (3) *Resultados*: cambios en los procesos productivos y consecuencias espaciales o temporales del proceso de toma de decisiones de gestión; (4) *Interacciones*: espacios o canales reales o virtuales existentes para inter-

EAP Nº	Ubicación (Municipio)	Tamaño (ha)	Tipo de producción
1	General Pizarro	130	Ganadería, horticultura (tomate)
2	Joaquín V. González	190	Granos (soja, maíz)
3	Apolinario Saravia	28	Horticultura (tomate, cebolla, maní)
4	General Pizarro	10	Horticultura (tomate, cebolla, maní, garbanzo)
5	El Quebrachal	9000	Ganadería, granos (soja, maíz, avena)
6	General Pizarro	180	Horticultura (tomate, pimiento, maní)
7	Joaquín V. González	550	Granos (soja, maíz)

Tabla 1. Características básicas de los EAP evaluados.

cambio de información, debate y discusión de problemas entre actores y representantes de distintas unidades de manejo; y (5) *Contexto*: aspectos políticos, institucionales, históricos, legales, sociales y ambientales que afectan o pueden afectar al sistema bajo análisis y que constituyen el marco local, regional y global que condiciona o favorece el desarrollo de las actividades productivas (Becker y Ostrom, 1995; Ostrom 2007; 2009; Young *et al.*, 2006; Iribarnegaray y Seghezzo, 2012; Seghezzo, 2009).

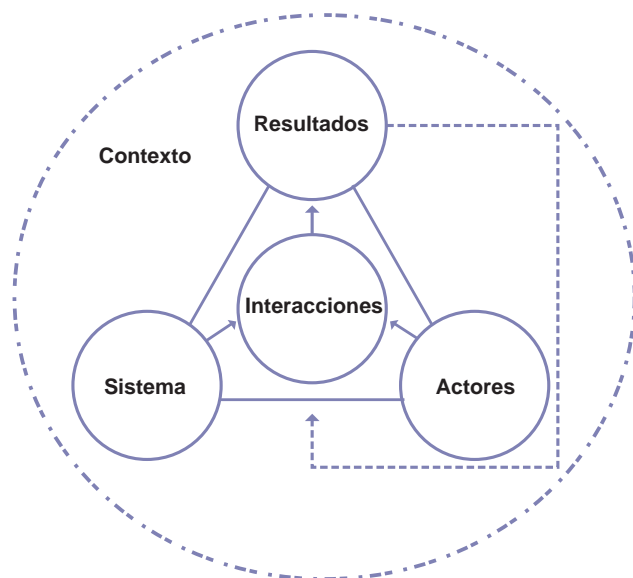


Figura 2. Marco conceptual para la evaluación de la sustentabilidad agropecuaria. Flechas de línea llena: relación causal directa; flecha de línea de puntos: retroalimentación; línea de rayas y puntos: indica que el contexto es permeable a influencias regionales y globales. Adaptado de Iribarnegaray y Seghezzo (2012).

Selección de indicadores

La sustentabilidad de los EAP se analizó como una función objetivo que es posible optimizar mediante una minimización de las restricciones que la afectan. Las restricciones (o aspectos críticos) son aquellos factores y/o procesos que tienen un efecto limitante sobre el sistema (Astier *et al.*, 2008; López Ridaura *et al.*, 2002). La atención especial que se da a los aspectos críticos se basa en la idea de que, por razones prácticas, históricas y epistemológicas, es mucho más fácil evaluar la “in-sustentabilidad” de un sistema (los problemas que lo afectan) que su sustentabilidad (la cercanía a un hipotético estado deseable) (Walter y Stützel, 2009a). Siguiendo este enfoque, se seleccionaron indicadores para describir los factores limitantes identificados para cada uno de los cinco aspectos del marco conceptual. Para ello, se siguieron los lineamientos metodológicos propuestos por Bell y Morse (2008) y Bossel (1999). Los indicadores que se utilizaron en este trabajo (tabla 2) se seleccionaron en reuniones de expertos y productores a partir

de un extenso menú obtenido de bibliografía especializada (Arzeno, 2006; Bell y Morse, 2008; López Ridaura *et al.*, 2002; Lütz y Felici, 2009; Rodríguez y Campanhola, 2003; Ostrom, 2007; Torquebiau, 1992; Van de Kerk y Manuel, 2008; Viglizzo *et al.*, 2006; Walter y Stützel, 2009b).

Estimación y valoración de indicadores

Se asignaron valores numéricos en las unidades propias de cada indicador. Para permitir las comparaciones y evitar el problema de compensación de variables expresadas en distintas unidades (Bockstaller *et al.*, 1997), cada indicador se valoró luego en una escala de 0 a 100 (100=totamente sustentable; 0=totamente in-sustentable). La estimación y valoración de indicadores fue realizada por los productores agropecuarios durante tres series de encuestas estructuradas y semi-estructuradas realizadas entre los años 2012 y 2014. También se organizaron talleres presenciales previos para explicar el método de evaluación y se realizó un seguimiento posterior de los resultados por correo electrónico y comunicaciones telefónicas.

Cálculo de índices de sustentabilidad

El ISAP para cada EAP se calculó mediante el método SMART (Simple Multiple Attribute Rating Technique), una metodología de evaluación multicriterio basada en el proceso de jerarquías analíticas (Belton, 1986; Saaty, 2008). Los distintos aspectos del índice recibieron la misma ponderación ya que se consideró que todos son componentes esenciales con valor equivalente. Cada aspecto, a su vez, se calculó como el promedio no ponderado de los indicadores seleccionados para ese aspecto. Los intervalos de confianza se construyeron para un nivel de significación del 95%, considerando que las variables del mismo grado (indicadores o aspectos) representan medidas independientes de un mismo parámetro (la sustentabilidad del EAP). En casos específicos, indicadores o aspectos pueden recibir ponderación diferenciada, lo cual deberá ser justificado adecuadamente. El resultado final se redondeó a números enteros y se cotejó con la siguiente escala de sustentabilidad: 0 a 24=Mala (rojo); 25 a 49=Regular (amarillo); 50 a 74=Buena (verde); 75 a 100=Muy buena (azul) (adaptada de Bossel, 1999). El umbral de “aceptabilidad” (o condición de referencia) que se adoptó en este trabajo tanto para indicadores como para aspectos fue 50, que es también el piso de la categoría de sustentabilidad “Buena”. Los indicadores que se encuentren por debajo de este umbral requerirán medidas correctoras inmediatas. El umbral puede variar en función del grado de exigencia que se adopte en cada caso o en cada región y puede ser modificado en el tiempo para obligar a los productores a un proceso de mejora continua. Para una mejor visualización de la variabilidad interna de los EAP evaluados, además del ISAP “promedio” (calculado como se indicó más arriba), se calcularon también el “mejor” y el “peor” ISAP para cada EAP. En estos dos índices, el valor de los aspectos no se calculó como el promedio de sus indicadores, sino que se adoptó

Aspecto	Indicador	Breve descripción
Sistema	Tamaño	Tamaño del EAP en relación con la unidad económica según producto.
	Actividad	Relación entre la producción del EAP y la aptitud del lugar.
	Productividad	Evaluación de la productividad promedio del EAP en los últimos años.
	Conservación	Existencia de áreas de conservación dentro del EAP.
	Distancias	Distancia a mercados como factor que afecta comercialización de productos.
Actores	Tecnología	Uso de tecnología para optimizar condiciones laborales y calidad de producción.
	Técnicos	Contratación de personal profesional calificado en el EAP.
	Personal	Personal no profesional contratado en relación con la productividad observada.
	Conocimiento	El conocimiento técnico del productor influye en la productividad.
Resultados	Tenencia	El tipo de tenencia y los conflictos existentes pueden afectar la producción.
	Incentivos	Los incentivos económicos mejoran la viabilidad financiera.
	Capital	Origen de los capitales e influencia sobre la estabilidad económica.
	Reinversión	Capacidad de reinversión con recursos propios.
Interacciones	Asociaciones	Participación en asociaciones de intercambio de información y experiencias.
	Reuniones	Asistencia a reuniones para la solución de problemas comunes.
	Información	Existencia de flujos de información técnica de fácil acceso.
	Conflictos	Existencia de conflictos con otros productores u otros actores en la región.
Contexto	Clima	Evaluación del impacto del clima y los eventos extremos en la productividad.
	Seguimiento	Presencia de instituciones estatales para planificar actividades productivas.
	Normas	El marco legal y normativo de las actividades agropecuarias.
	Mercado	Estabilidad y dinámica del mercado en relación a los productos del EAP.
	Necesidades	Relación entre el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y el EAP.
	Empleo	Influencia del nivel de empleo regional sobre el EAP.

Tabla 2. Indicadores utilizados para construir el Índice de Sustentabilidad Agropecuaria (ISAP).

directamente el valor del mejor y del peor indicador de cada aspecto, respectivamente.

RESULTADOS

El valor promedio del ISAP para los siete EAP evaluados fue 66 (sustentabilidad Buena). Todos los EAP superaron el umbral de aceptabilidad adoptado (50), con valores promedio entre 52 y 76. Como se puede ver en la figura 3, cuatro EAP (el 4, 1, 6, y 7) se encontraron en el rango de sustentabilidad Buena y tres EAP (el 3, 5 y 2) entraron en el rango de sustentabilidad Muy Buena. Los diagramas radiales de la figura 4 y de la figura 5 muestran los resultados obtenidos por aspecto y por indicador, respectivamente, promediados para los siete EAP. Estos diagramas radiales (también llamados gráficos “ameba”) permiten una rápida identificación gráfica de las áreas específicas donde se requieren mejoras. Este análisis se realizó para todos los EAP por separado, si bien no se muestran resultados de ningún EAP en particular por razones de confidencialidad.

Un análisis de los resultados promedio revela que al menos uno de los indicadores (Incentivos) se encuentra por

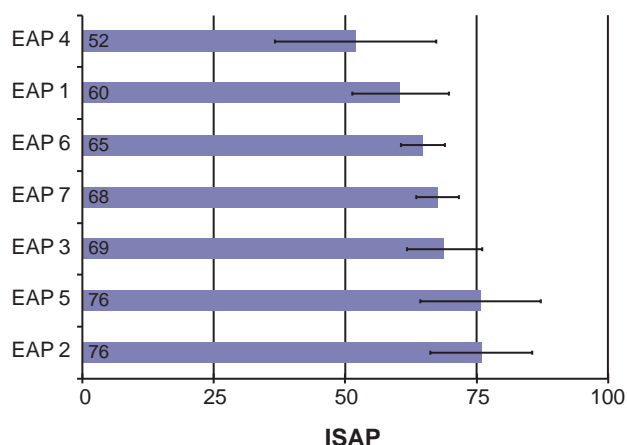


Figura 3. Valor promedio del ISAP para los siete EAP estudiados. Las barras de error representan el intervalo de confianza construido con los valores de los aspectos para un nivel de significación del 95%.

debajo del umbral mientras que otros dos indicadores (Empleo y Conflictos) están apenas por encima (ver figura 5). Se observan también varios indicadores cerca del umbral,

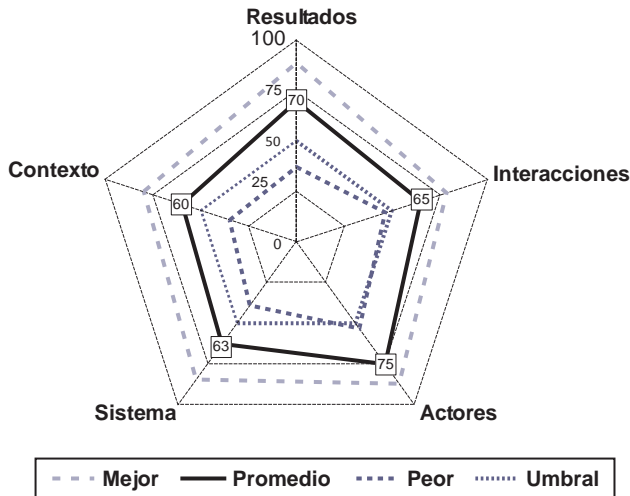


Figura 4. Valores promedio, mejor y peor de los aspectos de sustentabilidad para los siete EAP evaluados.

otros EAP, los productores otorgaron valores más altos a estos indicadores, resaltando que los eventos climáticos extremos son manejables y que las características climáticas generales de la zona son adecuadas para el tipo de producción que realizan.

Es importante señalar que la adopción del umbral de aceptabilidad es una decisión importante al momento de evaluar la sustentabilidad de un EAP. Si se hubiera fijado un umbral de 75, por ejemplo, la mayoría de los indicadores promedio hubieran quedado por debajo de ese valor, obligando a la realización de medidas correctoras más importantes. También es útil observar el comportamiento de los indicadores que recibieron la peor valoración por aspecto para focalizar la toma de decisiones de gestión y optimizar el proceso de mejora (ver figura 5). Las relaciones entre los ISAP promedio, mejor y peor resaltan la variabilidad interna de los EAP y ayudan a predecir su capacidad de reacción ante las intervenciones. También son útiles para comparar EAP entre sí. La figura 6 muestra el cociente entre el ISAP promedio y el rango (diferencia entre el valor máximo y mínimo) para los aspectos e indicadores de los EAP analizados. Cuanto más se asemejen estos cocientes al valor promedio, mayor será la homogeneidad de ese EAP. Como se puede ver, todos los EAP presentan alta variabilidad interna tanto a nivel de aspectos como de indicadores, ya que el cociente calculado se aleja considerablemente del valor medio para cada uno de ellos. Se pue-

tales como Tamaño, Productividad, Clima, Seguimiento y Necesidades. El valor asignado a los indicadores Productividad y Clima fue bajo en algunos EAP debido a los efectos de eventos climáticos recientes (sequías, vientos inusualmente fuertes) y ataques de plagas (hongos). En

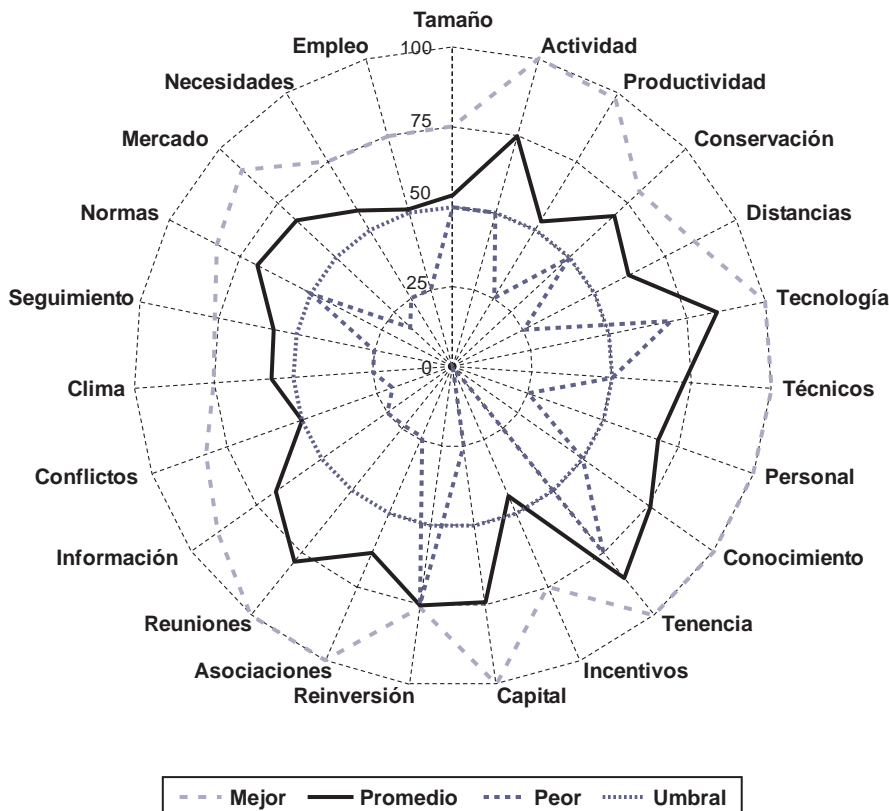


Figura 5. Valores promedio, mejor y peor de los indicadores de sustentabilidad para los siete EAP evaluados.

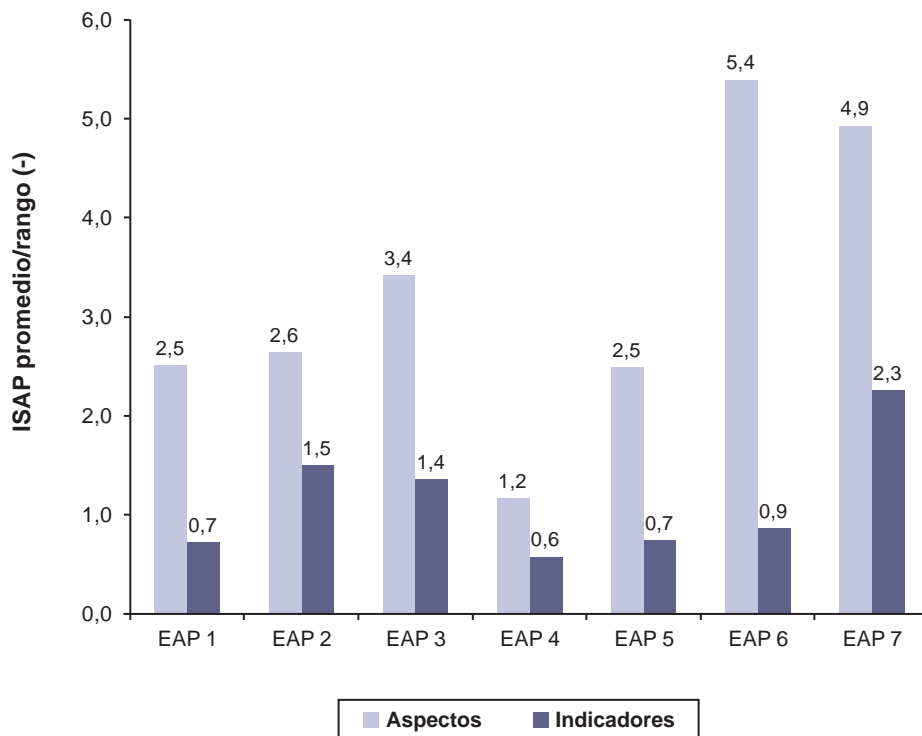


Figura 6. Cociente entre el ISAP promedio y el rango (diferencia entre el valor máximo y mínimo) para los aspectos e indicadores de los siete EAP evaluados.

den observar también importantes diferencias entre ellos. Conocer estos cocientes puede ser útil para el monitoreo de las políticas de mejora, las cuales deberían combinar un incremento gradual del valor general del ISAP y un balanceo progresivo de sus aspectos e indicadores constitutivos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los valores relativamente altos y homogéneos obtenidos en los ISAP de los siete EAP evaluados podrían reflejar el hecho de que estos establecimientos están todos en producción activa en una zona de buena aptitud agrícola. Por otra parte, estos valores tampoco fueron excesivamente altos, lo que sugiere un cierto nivel de autocritica por parte de los productores participantes. Es probable que una valoración hecha por expertos externos a los EAP arroje resultados diferentes. Sin embargo, importa más la variación temporal del ISAP y su sensibilidad para detectar diferencias entre EAP, entre sistemas productivos, o entre regiones, que el valor absoluto obtenido en un momento específico.

Es interesante notar que los indicadores del descriptor Actores, que dependen casi exclusivamente de la capacidad de gestión de los productores, recibieron valoraciones relativamente altas (promedio: 75; mejor valor: 87; peor valor: 54) (ver figura 4), mientras que los indicadores del descriptor Contexto obtuvieron una valoración más baja (promedio: 60; mejor valor: 80; peor valor: 35). Esto parece deberse al descontento que casi todos los productores

manifestaron durante las entrevistas sobre algunas de las normas vigentes y las políticas públicas vinculadas a la producción agropecuaria en la región (por ejemplo: falta de apoyo en caso de emergencias climáticas, alta presión impositiva, falta de reconocimiento del costo de los fletes, etc.). En esta primera muestra, no se observaron diferencias significativas en los valores obtenidos para EAP granarios, hortícolas, o mixtos. Esto debería confirmarse o refutarse analizando un número mayor de EAP de diferentes tipos. A partir de los valores numéricos obtenidos y de las representaciones gráficas, se identificaron medidas correctoras específicas para cada EAP. Un programa de ejecución progresiva de estas mejoras (no evaluado en este trabajo) constituye una estrategia de optimización para la sustentabilidad. La ejecución efectiva de las medidas por parte de los productores incorporará cambios en el sistema e iniciará un nuevo ciclo de evaluación. Si de la ejecución de las propuestas resulta que se mejora significativamente el valor de los indicadores limitantes iniciales, en el nuevo ciclo de análisis estos indicadores limitantes serán otros, modificándose los valores del ISAP promedio y peor. Un sistema con muchas restricciones requiere medidas correctoras en varias áreas y puede tardar más tiempo en alcanzar el nivel de sustentabilidad deseado, incluso cuando su ISAP inicial (promedio o peor) no sea demasiado bajo al inicio de la evaluación.

El ISAP es relativamente riguroso en cuanto a los aspectos que es necesario tener en cuenta, que se consideran elementos fundamentales del marco conceptual.

Al mismo tiempo, el ISAP es flexible en cuanto a los indicadores que se necesitan estimar para cada aspecto. En nuestro estudio, la propuesta inicial de indicadores fue elaborada por el equipo técnico. La medición o estimación cuantitativa de cada indicador y su posterior valoración cualitativa (es decir la traducción del valor del indicador a una escala única de sustentabilidad) fueron realizadas por los productores locales durante las entrevistas y los talleres. El ISAP es entonces una combinación de enfoques “*top-down*” y “*bottom-up*” que permite aprovechar los conocimientos científicos y técnicos de la región sin perder de vista la visión de los actores relevantes del sistema analizado (Fraser *et al.*, 2006). Esto contribuye a dar mayor solidez técnica al análisis y acrecienta la aceptabilidad social de los resultados.

El ISAP no pretende reemplazar otras metodologías de evaluación agropecuaria tales como los índices de calidad de suelos agropecuarios (Arzeno, 2006), los índices de desempeño ambiental como el AgroEcoIndex (Viglizzo *et al.*, 2006), los sistemas de evaluación del impacto ambiental de las actividades productivas como el AGRO*ECO (Girardin *et al.*, 2000) o el APOIA (Rodrigues y Campanhola, 2003), o los métodos de evaluación basados en variables productivos y económicas tales como el indicador de prácticas agrícolas sustentables (Rigby *et al.*, 2001) o el MESMIS (Speelman *et al.*, 2007). Por el contrario, el ISAP pretende ser una herramienta de análisis complementaria ya que posee características que lo distinguen claramente de los métodos mencionados. En primer lugar, se basa en un marco conceptual actualizado, relativamente simple, con sólidos fundamentos teóricos y prácticos, adaptado a las necesidades regionales por investigadores locales. En virtud de este marco conceptual, el ISAP otorga importancia equivalente a las características intrínsecas del establecimiento productivo, a las variables de contexto y a los procesos de toma de decisiones de gestión. Esto se logra mediante la utilización combinada de indicadores “tradicionales” para el sistema productivo (variables ambientales, sociales, productivas, económicas, etc.) y otros indicadores específicos para describir el contexto, los actores locales, las interacciones entre ellos, y los resultados de los procesos de toma de decisiones de gestión. En segundo lugar, el ISAP no solo permite, sino que exige la participación de los productores, expertos y otros actores locales relevantes, quienes son, junto con los expertos que facilitan el proceso, los que realizan la selección y estimación de indicadores y su valoración posterior. Esta participación suma transparencia y legitimidad al proceso de evaluación y maximiza la aceptabilidad social de los resultados (Stockle *et al.*, 1994). En cuarto lugar, si bien la estimación del ISAP requiere una cierta dosis de subjetividad vinculada al proceso de valoración, el análisis objetivo de los resultados permite realizar comparaciones entre EAP (espaciales) o en un mismo EAP en sucesivas evaluaciones (temporales), lo cual puede ayudar a tomar decisiones de gestión.

Los resultados presentados en este trabajo son un ejemplo de aplicación del método y no pretenden caracterizar a todos los sistemas productivos del departamento de Anta.

Luego de esta experiencia piloto se iniciará un proceso de revisión y optimización del ISAP. Se discutirá con productores y profesionales la pertinencia y aplicabilidad de este índice para otros sistemas productivos y para diferentes regiones de la provincia de Salta o del noroeste argentino. Como parte de este proceso se elaborarán nuevos formularios de encuesta que permitirán optimizar el proceso de recolección de datos. El ISAP, si bien tiene en cuenta la influencia del contexto sobre la actividad productiva, es fundamentalmente un índice focalizado en la escala predial. La evaluación de la sustentabilidad predial será siempre insuficiente, ya que es posible afirmar que muchos establecimientos productivos sustentables no conducen necesariamente a un paisaje o una región más sustentable (López-Ridaura, 2005). Para la evaluación de sustentabilidad a esas escalas, se puede complementar el ISAP con herramientas tales como la estimación del nivel de provisión de servicios ecosistémicos y otros indicadores de alcance regional (Fisher *et al.*, 2009; Volante *et al.*, 2012).

El ISAP puede ser útil tanto para el productor agropecuario como para los organismos de planificación a nivel municipal, provincial y nacional. Para el productor, el ISAP contiene información específica sobre su EAP que puede ser útil para la toma de decisiones. A su vez, le permite conocer la posición relativa de su establecimiento en el contexto de la región. Para los organismos de planificación gubernamentales o para las asociaciones de productores, el ISAP provee un panorama relativamente completo sobre la sustentabilidad de las actividades agropecuarias de la zona y puede ayudar a formular políticas para el sector.

Las conclusiones que se pueden obtener de este trabajo son las siguientes:

- Se desarrolló un índice de evaluación de la sustentabilidad agropecuaria que fue aplicado con éxito en varios EAP del Departamento de Anta, en la provincia de Salta (Argentina).
- Este índice se construyó utilizando como base el concepto de “sistema socio-ecológico”, adaptado a las necesidades regionales por investigadores locales.
- Los productores participantes fueron capaces de responder las encuestas de recolección de datos sin inconvenientes y en un tiempo relativamente corto.
- Los resultados obtenidos indican que los EAP evaluados presentan un buen nivel de sustentabilidad, aunque se identificaron varios aspectos que requieren mejoras y optimización.
- El ISAP puede ser una herramienta de evaluación y gestión para mejorar el nivel de sustentabilidad de los EAP de la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la predisposición de los productores participantes y el apoyo logístico brindado por la

Agencia de Extensión del INTA en Joaquín V. González. Este trabajo fue financiado por el CONICET (Proyecto PIP 11420090100392), la Facultad de Ciencias Naturales de la UNSa (fondos de ayuda a tesis de grado), y la Fundación Capacitar del NOA con financiamiento del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) (Proyecto PPIP 2008-1).

BIBLIOGRAFÍA

- ARZENO, J.L. 2006. Empleo de indicadores de sostenibilidad en sistemas extensivos agrícolas del NOA. En: Actas de las Primeras Jornadas Interdisciplinarias de estudios agrarios y agroindustriales del NOA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Salta, Argentina.
- ASTIER, M.; MASERA, O.M.; GALVÁN-MIYOSHI, Y. 2008. Evaluación de la sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Mundi-Prensa, México D.F.
- BECKER, C.D.; OSTROM, E. 1995. Human ecology and resource sustainability: the importance of institutional diversity. *Annual Review of Ecology and Systematic*, Enero 1995, 113-133.
- BELL, B.; MORSE, S. 2008. Sustainability indicators: measuring the immeasurable? 2 ed. Earthscan Publications Ltd., Londres.
- BELTON, V. 1986. A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. *European Journal of Operational Research* 26, 7-21.
- BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P.; VAN DER WERF, H.M. 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7, 261-270.
- BOSSEL, H. 1999. Indicators for sustainable development: theory, method, applications. A report to the Balaton Group. International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg, Canadá.
- BOSSELMANN, K. 2008. The principle of sustainability. Transforming law and governance. Ashgate, Hampshire.
- BOSSELMANN, K.; ENGEL, R.; TAYLOR, P. 2008. Governance for sustainability. Issues, challenges, successes. IUCN, Bonn.
- BRAVO, G.; BIANCHI, A.; VOLANTE, J.N.; ALDERETE SALAS, S.; SEMPRONII, G.; VICINI, L.; FERNÁNDEZ, M.; LIPSHITZ, H.; PICCOLO, A. 1999. Regiones agroecológicas del noroeste argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Salta, Argentina.
- CABEZA GUTÉS, M. 1996. The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17, 147-156.
- CABELL, J.F.; OELOFSE, M. 2012. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17 (1).
- CMMAD (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo). 1987. Nuestro futuro común. Oxford University Press, Oxford.
- DRESNER, S. 2002. The principles of sustainability. Earthscan Publications Ltd., Londres.
- ELKINGTON, J. 1998. Partnerships from cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. *Environmental Quality Management*, otoño 1998, 37-51.
- ESCOBAR, A. 2008. Territories of difference. Place, movements, life, redes. Duke University Press, Durham y Londres.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Base de datos estadísticos en línea de la FAO. FAO, Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. Metas e indicadores para la agenda de desarrollo post-2015 y los objetivos de desarrollo sostenible. FAO, Roma.
- FERRARO, D.O.; GHERSA, C.M.; SZNAIDER, G.A. 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 96 (1-3), 1-18.
- FISHER, B.; TURNER, R.K.; MORLING, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68 (3), 643-653.
- FRASER, E.D.G.; DOUGILL, A.J.; MABEE, W.E.; REED, M.; MCALPINE, P. 2006. Bottom up and top down: analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. *Journal of Environmental Management* 78 (2), 114-127.
- GIBSON, C.C.; MCKEAN, M.A.; OSTROM, E. (Ed.) 2000. People and forests: Communities, institutions, and governance, politics, science, and the environment. MIT Press, Cambridge.
- GIBSON, C.C.; WILLIAMS, J.T.; Ostrom, E. 2005. Local enforcement and better forests. *World Development* 33 (2), 273-284.
- GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; VAN DER WERF, H. 2000. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO*ECO method. *Environmental Impact Assessment Review* 20, 227-239.
- HUFTY, M. 2011. Investigating policy processes: the Governance Analytical Framework (GAF). En: WIESMANN, U.; HURNI, H. (Ed.) Research for sustainable development: foundations, experiences, and perspectives. NCCR North-South y Geographica Bernensia, Berna, Suiza, pp. 403-424.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas.
- IRIBARNEGARAY, M.A.; SEGHEZZO, L. 2012. Governance, sustainability and decision making in water and sanitation management systems. *Sustainability* 4 (11), 2922-2945.
- LÓPEZ RIDAURA, S. 2005. Multi-scale Sustainability Evaluation. A framework for the derivation and quantification of indicators for natural resource management systems. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen, Holanda.
- LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. 2002. Evaluating sustainability of complex socio-environmental systems, the MESMIS framework. *Ecological Indicators* 2, 135-148.
- LÜTZ, M.; FELICI, F. 2009. Indicators to identify the agricultural pressures on environmental functions and their use in the development of agri-environmental measures. *Regional Environmental Change* 9, 181-196.
- MANUEL-NAVARRETE, D.; GALLOPÍN, G.C.; BLANCO, M.; DÍAZ-ZORITA, D.; FERRARO, D.O.; HERZER, H.; LATERRA, P.; MURMIS, M.R.; PODESTÁ, G.P.; RABINOVICH, J.; SATORRE, E.H.; TORRES, F.; VIGLIZZO, E.F. 2009. Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. *Environment, Development and Sustainability* 11(3), 621-638.
- MEADOWCROFT, J.; FARRELL, K.; SPANGENBERG, J. 2005. Developing a framework for sustainability governance in the European Union. *International Journal of Sustainable Development* 8, 3-11.
- NESS, B.; URBEL-PIIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498-508.
- OSTROM, E. 2006. The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change* 16(3), 304-316.
- OSTROM, E. 2007. A diagnostic approach for going beyond panaceas. *PNAS* 104 (39), 15181-15187.

- OSTROM, E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325, 419-422.
- OSTROM, E. 2010. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change* 20 (4), 550-557.
- RIGBY, D.; WOODHOUSE, P.; YOUNG, T.; BURTON, M. 2001. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological Economics* 39 (3), 463-478.
- RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. 2003. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38 (4), 445-451.
- SAATY, T.L. 2008. Relative Measurement and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors: The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM* 102 (2), 251-318.
- SEGHEZZO, L. 2009. The five dimensions of sustainability. *Environmental Politics* 18, 539-556.
- SPANGENBERG, J.H. 2009. Sustainable development indicators: towards integrated systems as a tool for managing and monitoring a complex transition. *International Journal of Global Environmental Issues* 9 (4), 318-337
- SPEELMAN, E.N.; LÓPEZ-RIDAURA, S.; COLOMER, N.A.; ASTIER, M.; MASERA, O.R. 2007. Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework: lessons learned from its application in 28 Latin American case studies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 14 (4), 345-361.
- STOCKLE, C.O.; PAPENDICK, R.I.; SAXTON, K.E.; CAMPBELL, G.S.; VAN EVERT, F.K. 1994. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 9, 45-50.
- STRINGER, L.C.; DOUGILL, A.J.; FRASER, E.; HUBACEK, K.; PRELL, C.; REED, M.S. 2006. Unpacking "participation" in the adaptive management of social-ecological systems: a critical review. *Ecology and Society* 11 (2), 39.
- TORQUEBLAU, E. 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41, 189-207.
- VALENTIN, A.; SPANGENBERG, J.H. 2000. A guide to community sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review* 20, 381-392.
- VAN DE KERK, G.; MANUEL, A. 2008. A comprehensive index for a sustainable society: the SSI – the Sustainable Society Index. *Ecological Economics* 66, 228-242.
- VIGLIZZO, E.F.; FRANK, F.; BERNARDOS, J.; BUSCHIAZZO, D.E.; CABO, S. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117 (1-3), 109-134.
- VIGLIZZO, E.F.; FRANK, F.C.; CARREÑO, L.V.; JOBBÁGY, E.G.; PEREYRA, H.; CLATT, J.; PINCÉN, D.; RICARD, F. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17, 959-973.
- VIGLIZZO, E.F.; PORDOMINGO, A.J.; BUSCHIAZZO, D.; CASTRO, M.G. 2005. A methodological approach to assess cross-scale relations and interactions in agricultural ecosystems of Argentina. *Ecosystems* 8, 546-558.
- VOLANTE, J.N. 2014. Dinámica y consecuencias del cambio en la cobertura y el uso del suelo en el Chaco Semi-Árido. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- VOLANTE, J.N.; ALCARAZ-SEGURA, D.; MOSCIARO, M.J.; VIGLIZZO, E.F.; PARUELO, J.M. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 154, 12-22.
- VOß, J.P.; BAUKNECHT, D.; KEMP, R. 2006. *Reflexive Governance for Sustainable Development*. Edward Elgar, Cheltenham.
- WALTER, C.; STÜTZEL, H. 2009a. A new method for assessing the sustainability of land-use systems (I): Identifying the relevant issues. *Ecological Economics* 68 (5), 1275-1287.
- WALTER, C.; STÜTZEL, H. 2009b. A new method for assessing the sustainability of land-use systems (II): Evaluating impact indicators. *Ecological Economics* 68 (5), 1288-1300.
- YOUNG, O.R.; BERKHOUT, F.; GALLOPIN, G.C.; JANSSEN, M.A.; OSTROM, E.; VAN DER LEEUW, S. 2006. The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change* 16 (3), 304-316.

Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación

VOLANTE, J.¹; MOSCIARO, J.¹; MORALES POCLAVA, M.¹; VALE, L.¹; CASTRILLO, S.²; SAWCHIK, J.³; TISCORNIA, G.⁴; FUENTE, M.⁵; MALDONADO, I.⁵; VEGA, A.⁵; TRUJILLO, R.⁶; CORTÉZ, L.⁶; PARUELO, J.⁷

RESUMEN

En Sudamérica ocurrieron, en las últimas décadas, grandes transformaciones del paisaje. Como consecuencias de mejoras tecnológicas, nuevas condiciones en el mercado y precios internacionales, tanto pastizales como bosques o arbustales fueron transformados, principalmente para la producción de soja con fines de exportación. A partir de teledetección y Sistemas de Información Geográfica se analizaron series temporales de productos del sensor MODIS y se detectaron los principales sistemas de cultivos de 5 países de Sudamérica. Se cartografiaron las áreas de cultivos anuales para los ciclos productivos 2000/01 y 2010/11, se evaluaron de manera espacialmente explícita los cambios ocurridos entre los mencionados ciclos y se elaboraron hipótesis a fin de entender dichos procesos de cambios. Se observó un incremento del 43% de la superficie cultivada entre ciclos, con una distribución espacial heterogénea. Los cambios más destacables a nivel regional fueron la disminución del 66% en la superficie ocupada con cultivos de invierno como práctica única, y los incrementos del 62% y 52% en la superficie de los cultivos de verano y doble cultivos, respectivamente. La metodología planteada fue adecuada para llevar a cabo análisis que combinan una gran extensión de territorio y tiempo.

Palabras clave: cambios de uso; serie temporal; ndvi; sensores remotos; transformaciones del paisaje.

ABSTRACT

In South America major landscape transformations occurred in the last decades as a consequence of technological improvements and new international market and prices conditions. Grasslands, shrublands and forests were cleared mainly for soybean production for export. Based on remote sensing and GIS techniques,

¹INTA Estación Experimental Agropecuaria Salta. Laboratorio de Teledetección y SIG. Ruta Nac. 68, km 172; Cerrillos (4403). Salta, Argentina. Correo electrónico: volante.jose@inta.gob.ar

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Salta. Complejo Universitario Gral. San Martín - Av. Bolivia 5150 (4400). Salta, Argentina. Correo electrónico: ale_2476@yahoo.com.ar

³INIA Estación Experimental La Estanzuela. Ruta 50, Km 11. Colonia, Uruguay. Correo electrónico: iniale@le.inia.org.uy

⁴INIA Estación Experimental Las Brujas. Ruta 48, km 10. Rincón del Colorado, Uruguay Correo electrónico: inia_lb@inia.org.uy

⁵INIA Estación Experimental Quilamapu. Vicente Méndez 515, Chillán. Casilla 426. Chile Correo electrónico: Infoquilamapu@inia.cl

⁶ANAPO. Av. Ovidio Barbery esquina Jaime Mendoza. Santa Cruz, Bolivia. Correo electrónico: rtrujillo@anapobolivia.org

⁷CONICET y Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección. Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura, Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: paruelo@agro.uba.ar

we analyzed MODIS products time series, to detect the major cropping systems in 5 countries of South America. We mapped annual crop areas for the 2000/01 and 2010/11 growing seasons, we evaluated in a spatially explicit way the changes between these periods, and we developed hypotheses in order to understand the changes. There was a 43% increase in the cropped area between growing seasons, with a heterogeneous spatial distribution. The most notable changes at the regional level were a 66% decrease in the area cover by winter crops as unique practice, and increases of 62% for summer crops and 52% in the double cropped area. The methodology used was adequate to carry out analyses that combine a large expanse of territory and time.

Keywords: *land use change; time series; ndvi; remote sensing; landscape transformation.*

INTRODUCCIÓN

El importante crecimiento demográfico de los últimos siglos y la consecuente búsqueda de nuevas tierras para la producción de alimentos promovió una rápida transformación de la cobertura y uso del suelo en los ecosistemas terrestres. Se entiende por “cobertura del suelo” al tipo de cubierta biofísica observada en la superficie de la tierra, mientras que “uso de suelo” describe actividades que la sociedad realiza en un territorio para modificar o conservar su estado (Di Gregorio y Jansen 1998). En la actualidad, los cambios en la cobertura y el uso del suelo son uno de los principales motores del “cambio global” que pueden apreciarse a diferentes escalas de estudio (Duarte, 2006).

Estos cambios generan efectos importantes a nivel local, con consecuencias a escala regional y global, ya que influyen en la biodiversidad, el clima, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno (Vitousek *et al.*, 1997; Austin *et al.*, 2006). La conversión de ecosistemas naturales a tierras agropecuarias tiene consecuencias como la pérdida de hábitat y biodiversidad, la reducción de la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos y la transformación del paisaje (Paruelo *et al.*, 2006; Volante *et al.*, 2012).

Gran parte de los cambios en la cobertura y el uso del suelo se producen a expensas de bosques nativos. De acuerdo a informes de la FAO (2011), entre el año 2000 y 2010 se registró una tasa de deforestación anual del -0,46% en América Latina y los países del Caribe donde la principal causa fue la conversión de tierras forestales a la agricultura. Este proceso ha afectado principalmente a tres ecosistemas: El Cerrado en Brasil (Morton *et al.*, 2006), la selva de Chiquitanos en Bolivia (Steininger *et al.*, 2001) y el Gran Chaco Americano en Bolivia, Paraguay y Argentina (Zak *et al.*, 2004; Boletta *et al.*, 2006). En otras partes de la porción sur del continente las transformaciones estuvieron asociadas a la intensificación de la actividad agrícola, al reemplazo de rotaciones agrícola-ganaderas por agricultura continua, a la implantación de eucaliptos y pinos y a la eliminación de pastizales naturales. En las extensas planicies sudamericanas, estas transformaciones se asociaron a cambios tecnológicos y a nuevas condiciones en el mercado y precios internacionales (Baldi y Paruelo, 2008), donde tanto pastizales como bosques semiáridos fueron transformados principalmente para la producción de soja

con fines de exportación hacia China y la Unión Europea (Dros, 2004).

Entender la dinámica de estos cambios con una resolución espacial tal que permita vincular las transformaciones con los distintos factores determinantes por un lado, y con las consecuencias ambientales, sociales y económicas por otro, es prioritario en el diseño de políticas y en la toma de decisiones. Los datos provistos por sensores remotos han demostrado su utilidad para caracterizar grandes territorios por su capacidad de relevar áreas extensas con cierta regularidad y extensión temporal y espacial. En los últimos 15 años, datos provenientes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo del satélite Terra, de alta resolución temporal (1 día) y resolución espacial intermedia (250 m) (Justice y Townshend, 2002) permitieron evaluar cambios de cobertura de suelo asociados a causas antrópicas y naturales en distintas regiones del planeta (Morton *et al.*, 2006; Hansen *et al.*, 2002; Clark *et al.* 2010).

Guerschman (2005) y Wardlow *et al.* (2007) utilizaron productos de imágenes MODIS para el relevamiento de los principales cultivos de la región pampeana de Argentina y del Valle Central de EE.UU., respectivamente. Para ello, utilizaron protocolos basados en análisis de series temporales de índices de vegetación (IV) registrados con frecuencia quincenal. Estas permiten estudiar el comportamiento estacional de la vegetación y discriminar clases de cubiertas vegetales, identificando patrones de funcionamiento característicos o “firmas fenológicas”, que corresponden a la dinámica de la interceptación de radiación por parte del canopy.

Los protocolos utilizan imágenes sintéticas elaboradas a partir del sensor MODIS (producto MOD13Q1), de resolución espacial de 250 m y frecuencia temporal de 16 días, que ofrecen información de dos índices de vegetación: el Normalizado (NDVI) y el Mejorado (IVM). Estos IVs proporcionan una constante cobertura espacial y temporal de las condiciones de la vegetación y se complementan para estudios de dinámica de la vegetación (Huete *et al.*, 2002).

El NDVI es un buen estimador lineal de la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes (Sellers *et al.*, 1992) y por lo tanto un elemento clave para la estimación de las ganancias de C de las cubiertas vegetales (Paruelo, 2008). El IVM fue diseñado para minimizar los efectos de la atmósfera y del suelo

que contaminan el NDVI (Huete *et al.*, 1997), y para realzar la señal de la vegetación (Huete *et al.*, 2002). Gao *et al.* (2000) encontraron que el NDVI es más sensible a la clorofila, por lo que se satura a niveles altos de biomasa, mientras que el IVM es más sensible a las variaciones de la estructura del canopy (por ejemplo, índice de área foliar, la fisonomía vegetal y el tipo de cubierta) y tiene más sensibilidad sobre áreas con alto nivel de biomasa, por lo que se considera apropiado para estudiar las zonas agrícolas y las áreas de bosques densos y selva (Wardlow *et al.*, 2007).

Los objetivos del presente trabajo son a) presentar una metodología que, a partir del análisis de firmas fenológicas, permita cartografiar las áreas de cultivos anuales para los ciclos productivos 2000/01 y 2010/11 de Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay; b) evaluar de manera espacialmente explícita los cambios ocurridos entre los mencionados ciclos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende una superficie de 5.232.392 km² de la región sur del continente americano, que incluye a los países de Bolivia, Argentina, Paraguay, Uruguay y Chile, entre los 9° 50' y 52° 22' de latitud sur y entre 73° 35' y 53° 9' de longitud oeste, (fig. 1).

Esta región se caracteriza por tener gran diversidad de ambientes, que incluyen el trópico de Los Llanos bolivianos, el polar de la cordillera de los Andes, el frío seco de la Patagonia, el subtropical del Chaco, el templado húmedo de los pastizales del Río de la Plata y la aridez del desierto de Atacama. Entre estos extremos existen también grandes áreas con ambientes que permiten el desarrollo de actividad agropecuaria influenciada por aspectos orográficos y disponibilidad de agua para riego, entre otros factores.

Los principales cultivos anuales desarrollados en el área de estudio son: soja (*Glycine max*), maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), poroto (*Phaseolus vulgaris*L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), trigo (*Triticum aestivum*) y girasol (*Helianthus annuus*). Cada cultivo tiene un calendario de fechas de siembra y cosecha, y diferentes patrones de crecimiento estacional, dependiente de las condiciones climáticas locales y de la latitud. Este patrón de crecimiento define una firma fenológica o marcha estacional de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes (RFAA) particular para cada tipo de cultivo (fig. 2). La RFAA puede estimarse a partir de Índices de vegetación como el NDVI o el IVM.

Base de datos

Para describir patrones de uso de la tierra en el área de estudio y sus cambios en los últimos 10 años (de 2000 a 2010) se consideraron dos periodos anuales que iniciaban el 25 de mayo de un año y finalizaban el 24 de mayo del año siguiente (2000-2001 y 2010-2011). De esta forma se comienza y finaliza la estación de crecimiento en un momento

en el que en la región del norte del área de estudio se prepara la siembra de los cultivos de ciclo invierno-primaveral y se ha finalizado la cosecha de los cultivos estivales. Para cubrir el área de estudio se necesitaron 10 escenas (tiles) (fig. 1), y en cada una de ellas se utilizaron 23 imágenes con datos de IVM (series temporales de IVM) para cada periodo de análisis correspondientes a los ciclos de cultivos 2000/01 y 2010/11. Las imágenes son compuestas de máximo valor (CMV) del producto MOD13Q1, derivado de imágenes MODIS, elaborado y publicado por la NASA (https://lpdaac.usgs.gov/data_access), formados por los mayores valores diarios de cada píxel durante un periodo de 16 días. Este producto incluye además información acerca de la calidad del valor del IVM de cada píxel (Justice *et al.*, 1998) dependiente principalmente de las condiciones atmosféricas (por ej. presencia de nubes, aerosoles, nieve, etc.) registradas en el momento de la adquisición de la imagen. La calidad describe el grado de fiabilidad que el usuario puede tener al utilizar cada píxel de la imagen. Los píxeles con calidades etiquetadas como "No fiables" fueron considerados datos faltantes. Las imágenes MODIS tienen alta precisión de geolocalización por lo que la influencia de cambios de IVM debido a imprecisiones geométricas entre observaciones es mínima (Wardlow *et al.*, 2007).

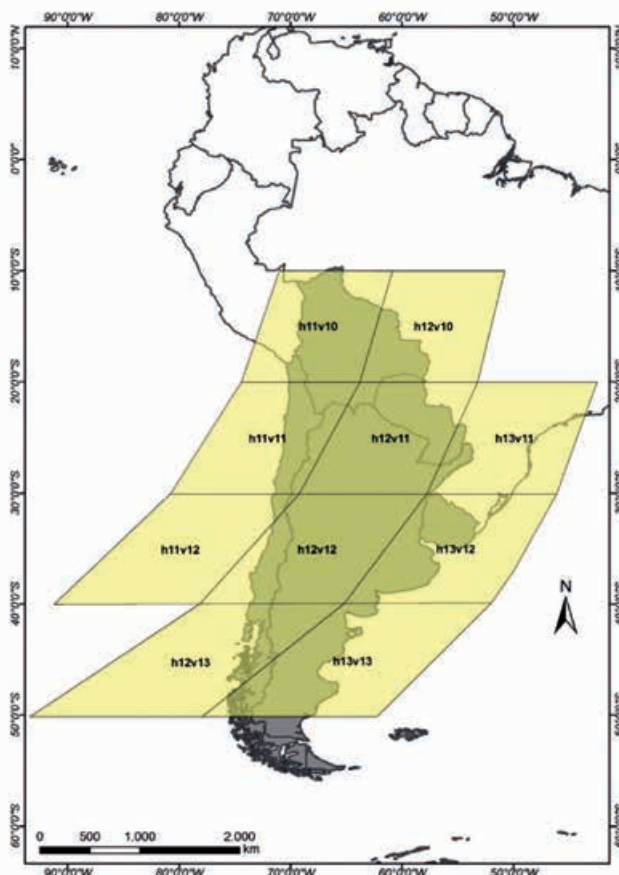


Figura 1. Área de estudio con escenas de imágenes MOD13Q1 utilizadas.

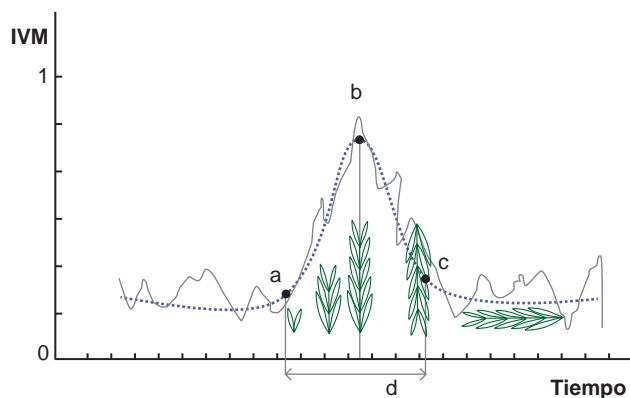


Figura 2. Las líneas describen series temporales de IVM asociadas a distintas etapas del ciclo de crecimiento vegetal. El punto (a) representa la fecha y el valor de IVM al inicio del ciclo de crecimiento; (b) el momento y valor de IVM de máxima actividad fotosintética; (c) el momento y valor de IVM al fin del ciclo; y (d) duración del ciclo de crecimiento. La línea continua representa la serie temporal de IVM con datos originales y la línea punteada representa el IVM ajustado a modelos basados en mínimos cuadrados.

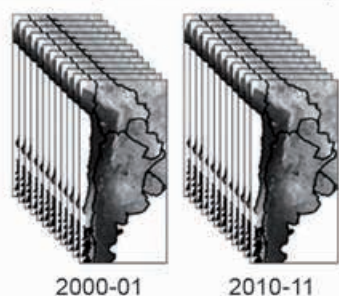
Teniendo en cuenta que las precipitaciones son condicionantes del grado de expresión de los cultivos, se evaluaron las precipitaciones de los años 2000 y 2010 con relación al promedio de la década. Para ello se utilizaron datos men-

suales de precipitación obtenidos de la misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM del inglés Tropical Rain Monitoring Mission) de archivos con una resolución espacial de 0.25 por 0.25 grados (producto 3B43, V6) distribuida por la NASA (Goddard Earth Science (GES) Data and Information Service Center). Las anomalías se calcularon como desviación relativa de cada año hidrológico (de junio a mayo) con respecto al promedio del periodo 2000–2010 de la siguiente manera: (promedio de largo plazo-año en particular)/promedio de largo plazo *100.

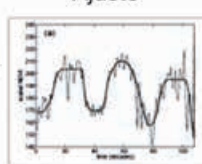
Clasificación de cultivos y detección de cambios

Para la cartografía de cultivos se siguió la aproximación metodológica utilizada por Guerschman (2005) para la región pampeana argentina, con modificaciones durante la etapa de preprocesamiento de las series temporales, para la remoción de datos espurios producidos generalmente por condiciones atmosféricas adversas. La lógica del método de clasificación se basa en asociar un patrón fenológico a un cultivo (fig. 2). En tal sentido el método identifica patrones fenológicos, o sea una dinámica particular del funcionamiento de la vegetación, que luego se etiquetan basándose en clases de cobertura según el conocimiento experto. El método se apoya en la idea de Tipos Funcionales de Ecosistemas (Paruelo *et al.*, 2001, Alcaraz-Segura *et*

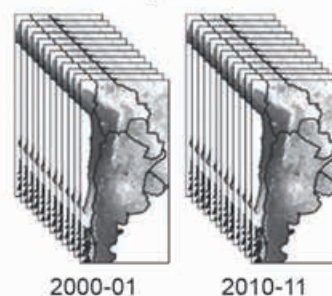
Series temporales de IVM sin ajustar



Ajuste

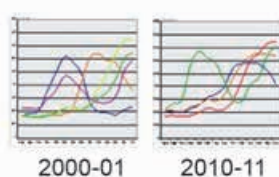


IVM ajustado



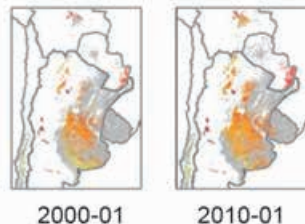
Clasificación

Patrones fenológicos



Asignación de clases

Mapas de cultivos



Mapas de cambios

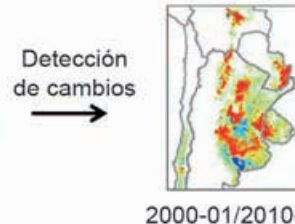


Figura 3. Secuencia metodológica para la obtención de mapas de cultivos y mapas de cambio.

al., 2013) en donde se agrupan porciones de terreno (píxeles) con un dinámica similar de ganancias de C.

Una vez realizados los mapas de cultivos para los dos periodos, se realiza una secuencia de pasos para la obtención de los mapas de cambio entre periodos (fig. 3).

Preprocesamiento de series temporales de IVM

Esta etapa comprende la eliminación de datos espurios o ruidos de las series temporales producidos generalmente por problemas atmosféricos en el momento de adquisición de las imágenes. Estos ruidos actúan como fuente de error en la etapa de clasificación y por ello es conveniente su depuración. Para ello se utilizó el programa Timesat 3.0 (Jönsson y Eklundh, 2004), el cual permite remover ruidos y estimar datos faltantes mediante el ajuste de la serie de datos originales a modelos de regresión basados en mínimos cuadrados utilizando la información de calidad de pixel contenidas en las imágenes MOD13Q1 (reliability band) (fig. 3). La selección de los modelos de ajuste y sus parámetros se realizan de manera empírica, y en este caso en particular utilizamos el modelo doble logístico, con potencia de ajuste=2; corte de estación=0; y comienzo y final de estación=20% por considerar que este tipo de función se adecua mejor a comportamientos fenológicos muy variables (ver Jönsson y Eklundh, 2004) como los observados en el área de estudio. El producto de salida de este proceso (imagen ajustada) es una nueva base de datos en donde cada pixel de la imagen posee una serie temporal suavizada, libre de valores extremos y valores faltantes.

Clasificación y extracción de patrones fenológicos

Se realizaron mapas de uso de la tierra para las campañas agrícolas 2000/01 y 2010/11 tomando en cuenta cuatro categorías: a) *cultivos de invierno*; b) *cultivos de verano*; c) *doble cultivo*; y d) *misceláneos no agrícolas*. Esta última categoría incluye a las cubiertas no vegetadas (naturales y artificiales), superficies con vegetación natural (bosques, arbustales, pastizales, etc.) y pasturas para ganadería. Los mapas se realizaron a partir de clasificaciones no supervisadas de las imágenes de IVM ajustadas de cada uno de los periodos utilizando el algoritmo ISODATA con cincuenta clases.

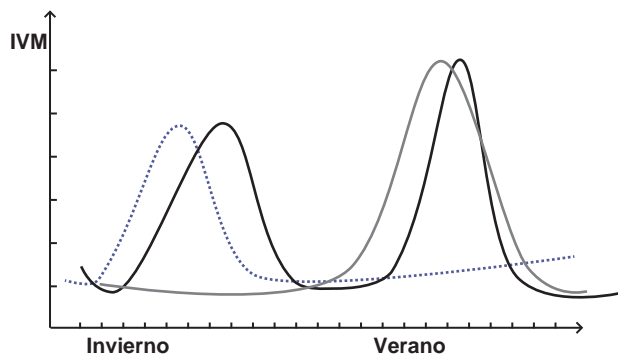


Figura 4. Comportamiento anual del IVM en cultivos de verano (línea gris continua), de invierno (línea punteada) y en doble cultivo (línea negra continua).

A continuación se graficaron las firmas fenológicas de cada clase, asignándolas a clases de uso de la tierra, de acuerdo a un conjunto de reglas de decisión. Se clasificó como cultivos a todas aquellas clases cuyas curvas promedio de IVM mostraron periodos de activo crecimiento (IVM mayor a 0.4) seguido por otro periodo de bajos valores de IVM (entre 0.2 y 0.3). Este comportamiento estacional se puede producir en verano, en invierno, o en ambos periodos. Por lo que se clasificó como *cultivos de verano* a las clases que tuvieron un patrón unimodal, con valor máximo en los meses de diciembre a marzo; mientras que las clases de igual patrón, pero con máximo valor registrado en junio a octubre fueron asignadas a la clase *cultivos de invierno*. Se clasificó como *doble cultivo* a las clases de patrón bimodal, que mostraron activo crecimiento en el verano y en el invierno (fig. 4). Las clases que no cumplieran con estas reglas fueron asignadas a la categoría *misceláneos no agrícolas*.

Análisis de cambios ocurridos entre 2000/01 y 2010/11

Para analizar cambios ocurridos en el periodo de estudio, se realizó una "clasificación delta" o detección de cambios posclasificación (Coppin *et al.*, 2004; Xiuwan, 2002; Townshend *et al.*, 1992). Este método requiere *a priori* de mapas

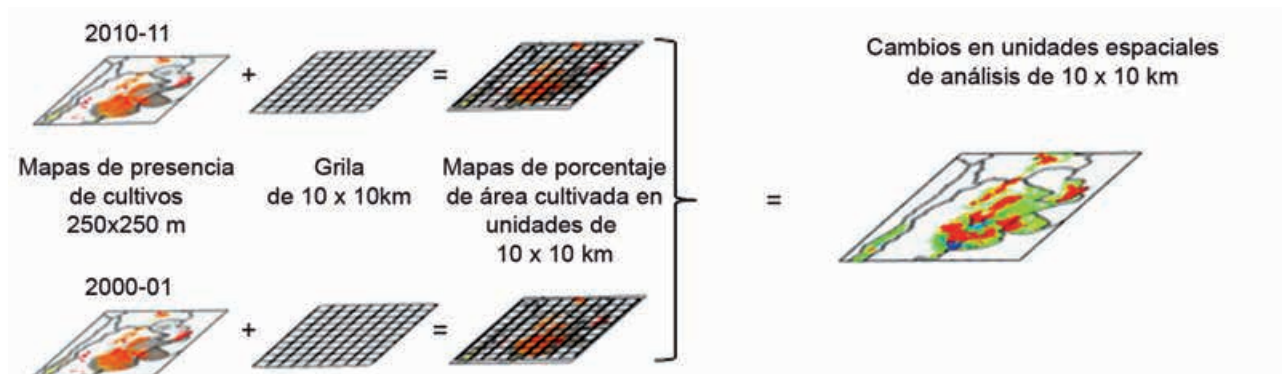


Figura 5. Algoritmo para la confección de los mapas de cambios de cada categoría.

País	Sistemas de cultivo	Superficie (miles de ha)		Variación (miles de ha)	($\%$)
		2000/01	2010/11		
Argentina	Invierno	2.994	1.003	-1.991	-66%
	Verano	15.885	25.801	9.916	62%
	Doble	3.796	4.449	653	17%
	Total efectiva	26.471	35.701	9.230	35%
Bolivia	Invierno	0	0	-	-
	Verano	186	1.211	1.025	551%
	Doble	354	409	55	16%
	Total efectiva	894	2.028	1.134	127%
Chile	Invierno	475	491	16	3%
	Verano	135	145	10	7%
	Doble	6	44	38	633%
	Total efectiva	621	724	103	17%
Paraguay	Invierno	0	0	-	-
	Verano	706	281	-425	-60%
	Doble	794	1.963	1.169	147%
	Total efectiva	2.294	4.207	1.913	83%
Uruguay	Invierno	306	0	-306	-100%
	Verano	122	990	868	711%
	Doble	109	685	576	528%
	Total efectiva	647	2.359	1.712	265%
Total área de estudio	Invierno	3.775	1.494	-2.281	-60%
	Verano	16.848	27.217	10.369	62%
	Doble	4.705	7.141	2.436	52%
	Total	30.033	42.991	12.958	43%

Tabla 1. Superficies cultivadas en las campañas agrícolas 2000/01 y 2010/11 estimadas a partir de teledetección (expresadas en miles de ha).

Cultivos	Teledetección		FAOSTAT		Variación ($\%$)	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011
Invierno	8834000	9044000	8893000	7905000	-0,7	14,4
Verano	22093000	35978000	20926000	34433000	5,6	4,5
Total	30927000	45022000	29819000	42338000	3,7	6,3

Tabla 2. Superficie cultivada (ha) estimada por teledetección y estadísticas reportados por FAO (FAOSTAT; <http://faostat.org>). Variación

de presencia/ausencia de las categorías de cada periodo, para ser comparados por medio de superposición cartográfica. Los cambios se evaluaron en unidades espaciales de análisis determinadas por una grilla regular con celdas de 10 km de lado (10.000 ha) (Mitchell, 2005), en las que se cuantificó el porcentaje de área ocupada por cada categoría.

Los cambios ocurridos entre periodos surgen de la diferencia de superficies ocupadas en cada celda entre los años

2000/01 y 2010/11, expresados en porcentajes de la superficie de la unidad de análisis (10.000 ha). Se interpretan como "cambios relevantes" los superiores a 2,5% (250 ha) en valores absolutos. Se estimaron cambios para cada categoría y para la superficie efectiva total (fig. 5) calculada como la suma de las superficies de cultivos de verano, más la de invierno, más la correspondiente a doble cultivo multiplicada por dos, ya que es utilizada dos veces en el ciclo productivo.

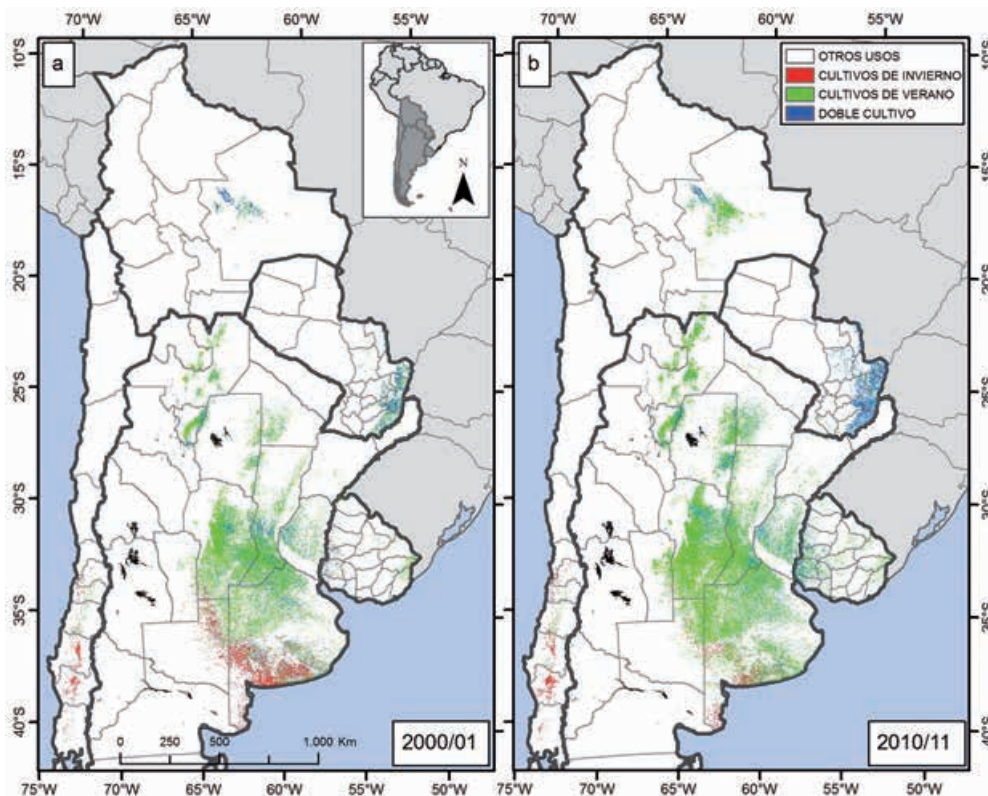


Figura 6. Distribución de los cultivos de verano, de invierno y doble cultivo en dos momentos (2000/01 y 2010/11). En rojo presencia de cultivos de invierno; verde: cultivos de verano; y azul: doble cultivo).

Evaluación

La verificación de la calidad cartográfica de los mapas se realizó según los trabajos de Cohen *et al.* (1998, 2002), en los que se comparan mapas resultantes de clasificaciones digitales, con datos provenientes de interpretación visual de imágenes. Debido a que no se contó con experiencia e información de campo suficiente para toda el área de estudio, se evaluó únicamente la región del noroeste argentino en la que existe amplio conocimiento sobre los trabajos realizados en PRORENOA-INTA (Proyecto de relevamiento de cultivos del Noroeste Argentino, disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/monitoreo-de-cultivos-del-noroeste-argentino-a-traves-de-sensores-remotos/>). Se seleccionaron al azar 5 áreas de muestreo de 10 km² denominadas “segmento”. Cada segmento cumplió con la condición de poseer entre 40 y 60% de superficie agrícola. En cada segmento se seleccionaron 20 sitios (puntos de referencia) distribuidos geográficamente al azar y maximizando la separación entre ellos para reducir el riesgo de pseudoreplicación (Hurlbert, 1984) producido por autocorrelación espacial (Dormann, 2007).

Los puntos de evaluación fueron etiquetados mediante interpretación visual, sobre imágenes Landsat de los años 2000 y 2010, con las categorías a) cultivos de verano, b) cultivos de invierno y c) doble cultivo. Posteriormente, se comparó el grado de acierto entre puntos de evaluación y los mapas a partir del índice de Fiabilidad Global cartográfica

(calculado como: $\sum \text{puntos coincidentes} \div \sum \text{de puntos muestreados} * 100$) (Chuvieco, 2002). Este cálculo arrojó una fiabilidad global del 79 y 81% para los ciclos 2000-01 y 2010-11 respectivamente. Adicionalmente, se compararon los resultados obtenidos con los reportados por la Dirección de Estadística de la FAO (FAOSTAT; disponibles en: <http://faostat3.fao.org>).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el área de estudio se cultivaron 30 millones de ha en el ciclo 2000/01 y 42,9 millones en 2010/11 (tabla 1), lo que representa un incremento de la superficie cultivada del 43% con respecto al primer ciclo. Esta superficie se refiere a la superficie total efectiva, en la que el doble cultivo se cuenta por dos. El incremento no ha sido proporcional en cuanto a su distribución espacial y los tipos de uso de suelo analizados (fig. 6). Los cambios más destacables a nivel regional son: la disminución de cultivos de invierno como práctica única, con una caída del 66% en toda la región (disminución de 2,2 millones de ha), el incremento del 62% de los cultivos de verano (aumento de 10,4 millones de ha) y el aumento de la superficie de doble cultivos en un 52% (aumento de 2,4 millones de ha).

El área de estudio posee gran variedad de climas y sistemas productivos, reflejados en las diferentes firmas fenológicas (diversidad funcional) obtenidas para cada región y país analizado. La configuración de las firmas fenológicas

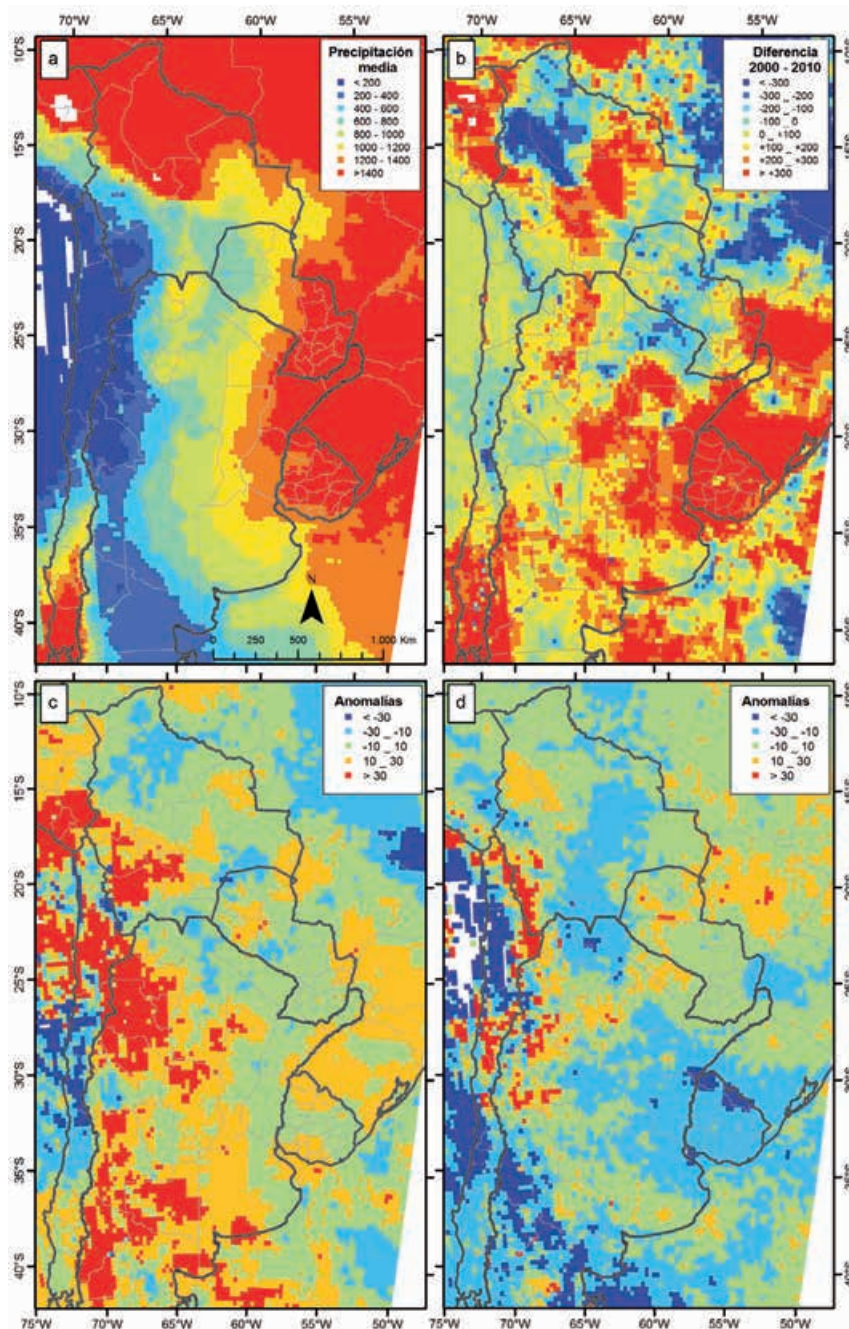


Figura 7. (a) Precipitaciones anuales promedio del periodo 2000/01-2010/11 (mm/año); (b) Diferencia de precipitaciones (mm/año) entre años hidrológicos, calculado como las precipitaciones anuales del ciclo 2000/01 menos las precipitaciones anuales del ciclo 2010/11; (c) Anomalías de precipitaciones (%), calculadas como el desvío relativo de cada año hidrológico (junio a mayo) respecto de la media de largo plazo (año 2000) y (d) Anomalías de precipitaciones (%) del año 2011: Fuente: Producto 3B43, V6 de precipitaciones de la TRMM43, distribuido por la NASA (GES Data and Information Services Center).

obtenidas para cada país fue similar entre años, a pesar de la diferencia de precipitaciones ocurridas en los dos periodos estudiados. En la mayor parte de la región, estas diferencias superaron los 200 mm (fig. 7b) como resultado de la ocurrencia de anomalías húmedas para el ciclo 2000/01 y anomalías secas para el año 2010/11 (fig. 7c y d).

En general los ciclos húmedos permiten expresar el potencial genético de los cultivos, lo que facilita diferenciarlos

de otras cubiertas no agrícolas (vegetación natural). En contraposición, los ciclos secos incrementan las probabilidades de error de detección, ya que los cultivos se expresan con menor intensidad y sus curvas fenológicas pueden confundirse con cubiertas vegetales naturales. Esta razón podría explicar las mayores discrepancias con datos reportados por FAO (FAOSTAT; <http://faostat.fao.org/>) observadas en el ciclo 2010/11 (tabla 2 y fig. 8).

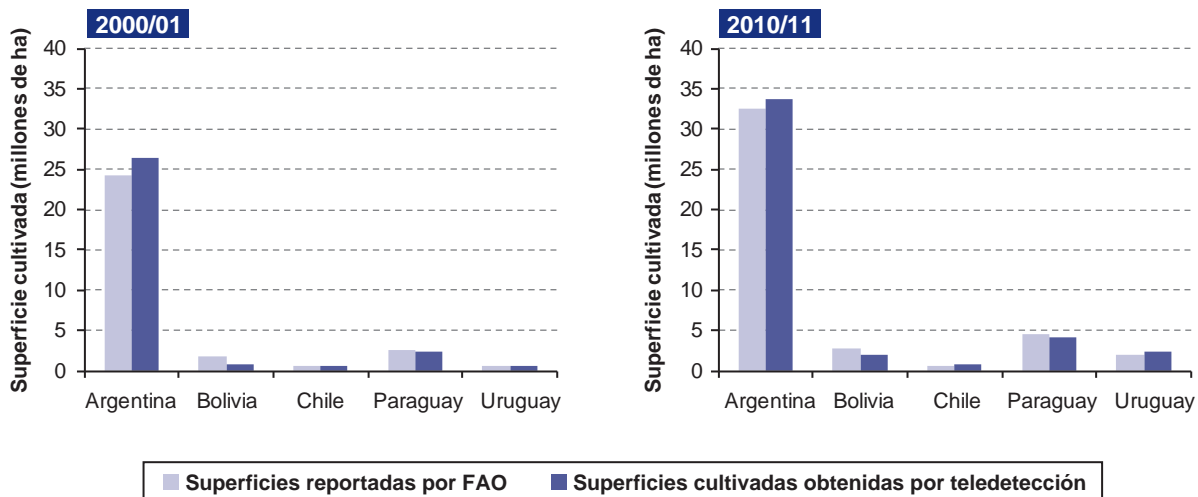


Figura 8. Superficies cultivadas obtenidas por teledetección y reportadas por FAO para los ciclos 2000/01 y 2010/11.

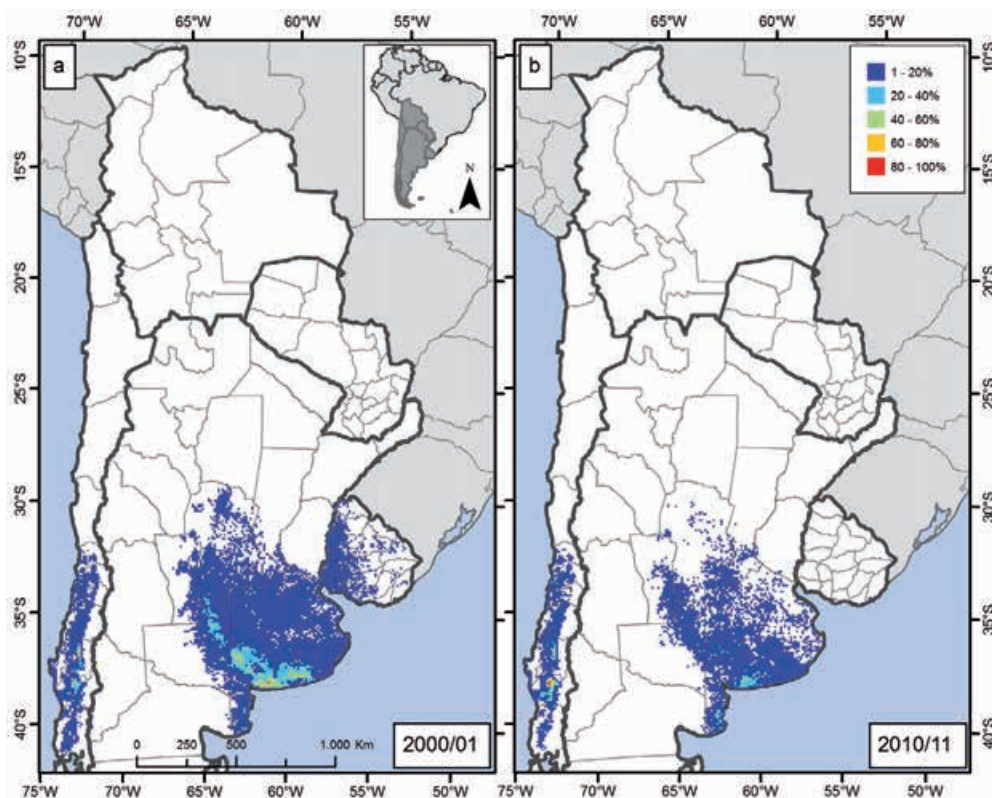


Figura 9. Densidad de cultivos de invierno en dos momentos. El color representa el porcentaje de presencia de cultivos de invierno detectada en la unidad cartográfica (10.000 ha).

Argentina posee más del 80% del total del área cultivada en la región, seguida por Paraguay, Bolivia, Uruguay y Chile. La distribución porcentual ha cambiado entre los periodos analizados, lo que indica que las transformaciones han ocurrido de manera diferencial. El país con mayor crecimiento porcentual con respecto al ciclo 2000/01 fue

Uruguay (265%), seguido por Bolivia (127%), Paraguay (83%), Argentina (35%) y Chile (17%).

La práctica de cultivos de invierno como sistema de cultivos anuales único ha disminuido fuertemente en la región (tabla 1, figs. 9 y 12a). Esta disminución probablemente se

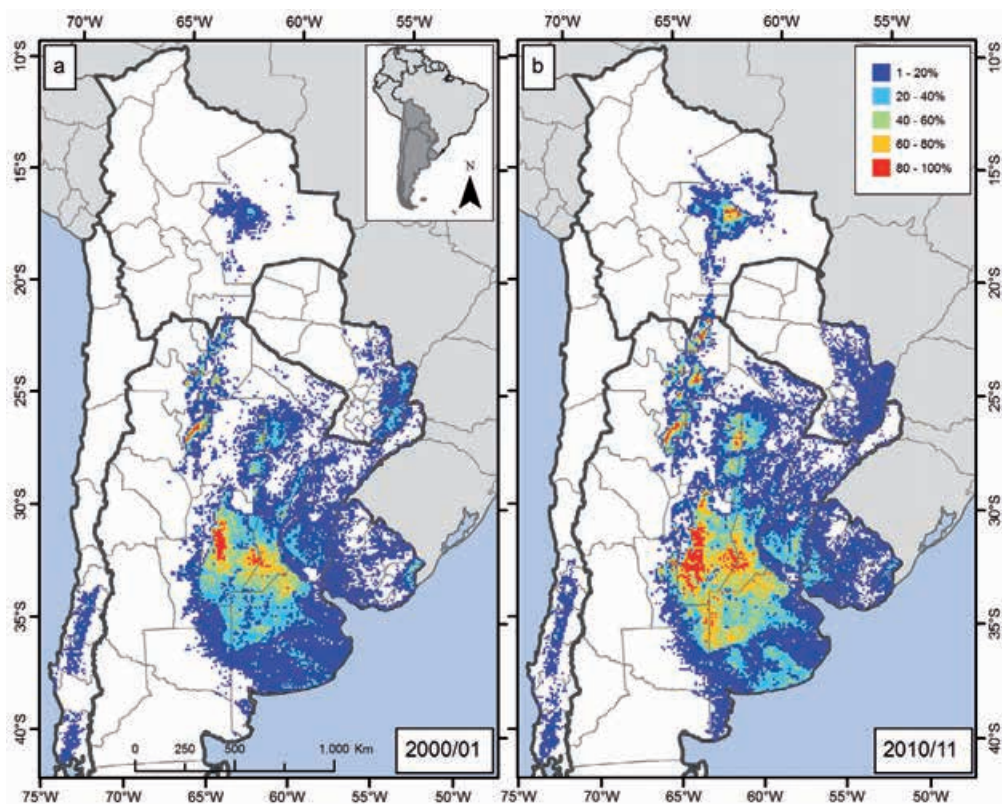


Figura 10. Densidad de cultivos de verano en dos momentos. El color representa el porcentaje de presencia de cultivos de verano detectada en la unidad cartográfica (10.000 ha).

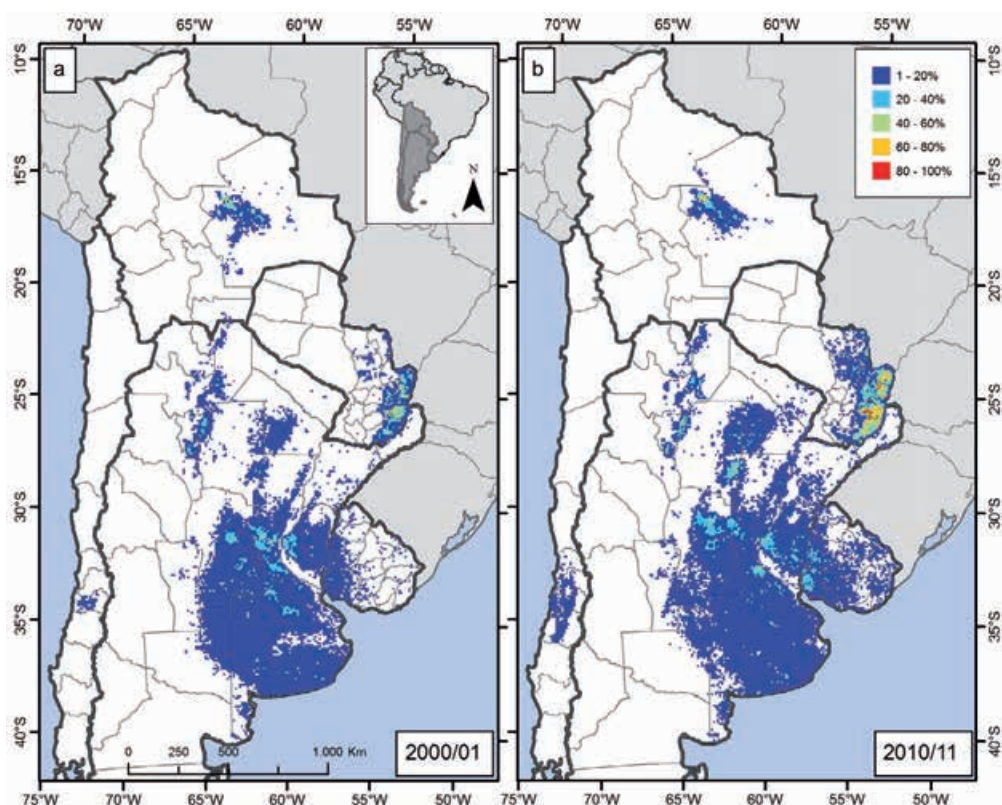


Figura 11. Densidad de doble cultivos en dos momentos. El color representa el porcentaje de presencia de doble cultivo detectada en la unidad cartográfica (10.000 ha).

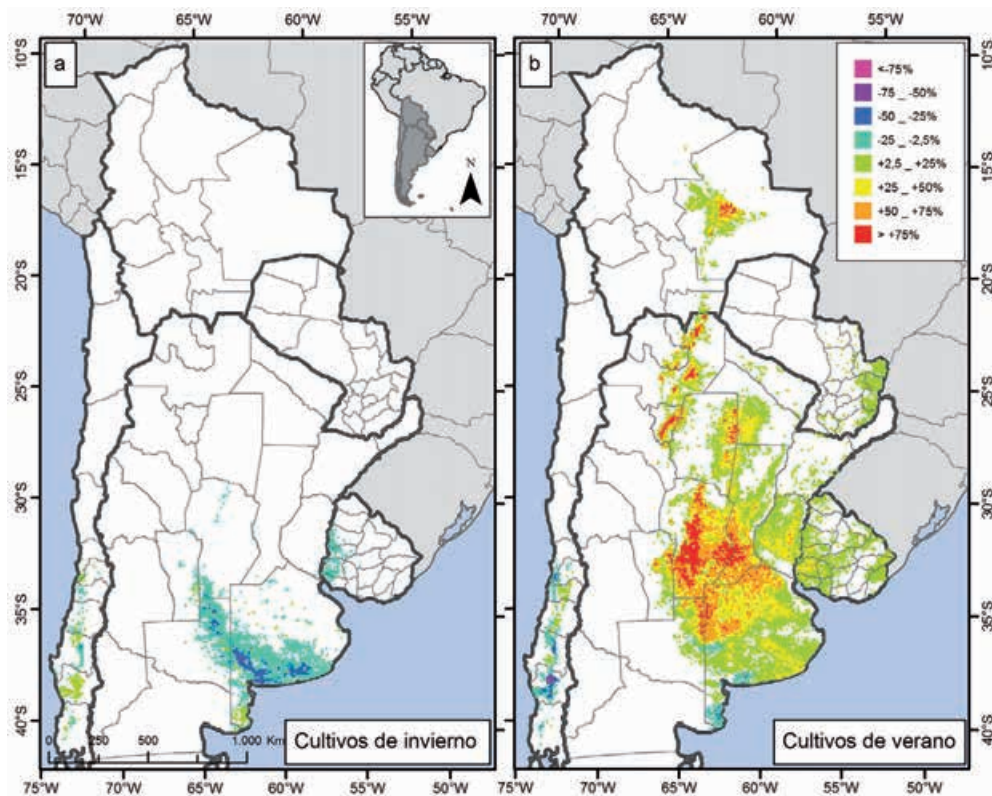


Figura 12. Mapas de cambios en la superficie cultivada en unidades de 10.000 ha ocurridos entre 2000/01 y 2010/11, calculados como (superficie cultivada en 2010/11 - superficie cultivada en 2000/01) / 10.000 ha. El color representa el porcentaje de cambio en la presencia de cultivos de invierno (izquierda) y de verano (derecha).

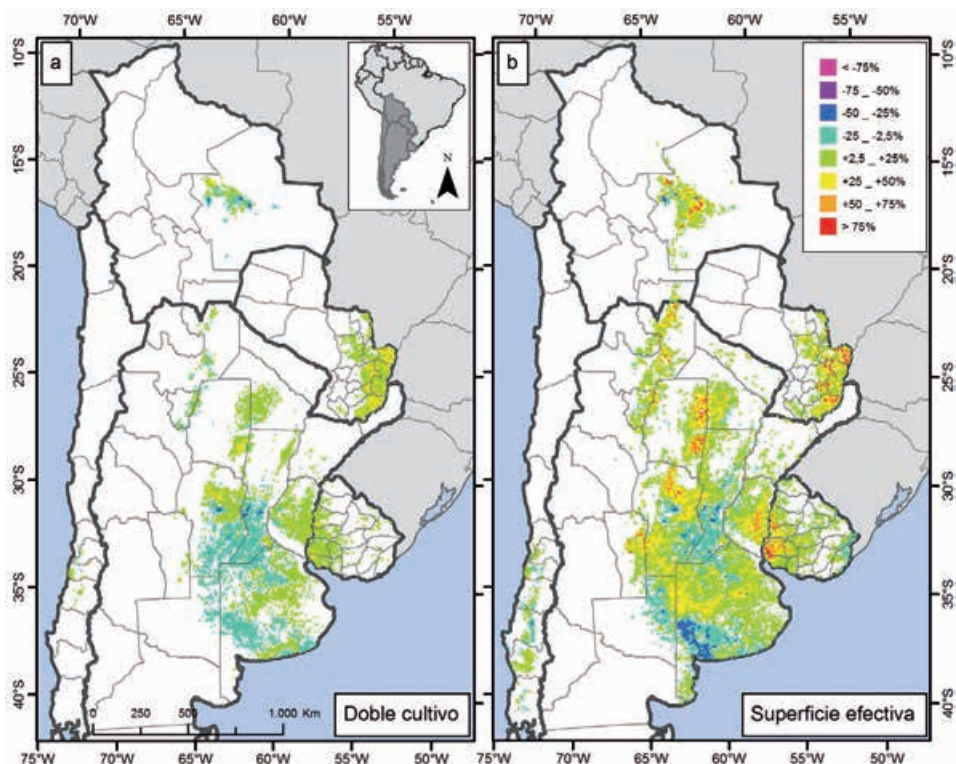


Figura 13. Mapas de cambios en la superficie de doble cultivos y superficie efectiva cultivada en unidades de 10.000 ha ocurridos entre 2000/01 y 2010/11. El color representa el porcentaje de cambio en la superficie de cultivos dobles (izquierda) y en la superficie efectiva de cultivos (derecha)

deba a un doble proceso: a) “reemplazo” de cereales de invierno (trigo y avena) por cultivos de verano (principalmente soja), y b) “intensificación” del uso del suelo mediante la incorporación de un cultivo de verano (soja) al ciclo anual de invierno, transformando el ciclo anual en doble cultivo. Las hipótesis se refuerzan al analizar los cambios ocurridos, en donde puede observarse que el uso “cultivos de verano” se ha incrementado en toda la región pampeana y en la mayor parte del Uruguay (figs. 10 y 12b).

El uso de suelo “cultivos de verano” como sistema de cultivo anual único se ha incrementado en toda la región de estudio, a excepción de algunas zonas en el centro sur de la región pampeana y en Chile (figs. 10 y 12b) probablemente influidas por anomalías secas en la campaña 2010/11 (fig. 7d). Es importante el incremento de la superficie ocurrido en zonas extrapampeanas, como en la región chaqueña argentina y boliviana, el este paraguayo y la Mesopotamia argentina. Los focos de crecimiento más importantes, caracterizados por incrementos de más del 75%, se ubican en el centro norte de la región pampeana, en el Chaco subhúmedo argentino (límite de las provincias de Santiago del Estero y Chaco) y en una línea sur-norte ubicada en la zona de transición entre Las Yungas y el Gran Chaco. Esta línea comienza en la provincia de Tucumán (Argentina) y termina en el oeste del departamento de Santa Cruz (Bolivia), próxima a la ciudad de Santa Cruz de las Sierras (figs. 10 y 12b). Mientras que el incremento de las prácticas de cultivos de verano en la región chaqueña se realiza por reemplazo del bosque nativo o deforestación (avance de frontera agrícola); en la región pampeana de Argentina y Uruguay este crecimiento se produce por reemplazo de actividades ganaderas preexistentes sobre pastizales naturales o pasturas perennes implantadas (Nosetto *et al.*, 2005; Paruelo *et al.*, 2005; 2006).

El uso de suelo de doble cultivo tiene diferentes expresiones desde el punto de vista agronómico. En Argentina, Uruguay y Chile se conforma por la asociación de un cultivo de invierno seguido por otro de verano (principalmente la rotación trigo-soja). Por el contrario, en Bolivia y Paraguay, debido a sus condiciones climáticas, ese sistema se conforma principalmente por dos cultivos que en otras latitudes se desarrollan solamente en verano (soja-soja o soja-maíz). Ambos sistemas tienen particularidades en cuanto al requerimiento de recursos e implicancias agroecológicas y de sustentabilidad.

El sistema de doble cultivo ha sufrido una retracción principalmente en las zonas centro y oeste de la región pampeana, pero incrementos en el resto de la región, con focos importantes en el este paraguayo (figs. 11 y 13a). Es probable que este comportamiento (retracción pampeana y expansión en regiones más cálidas) esté vinculado al reemplazo de cultivos estivales por soja en la región, que expresa el incremento del cultivo de la soja y retracción del cultivo de trigo por su pérdida de rentabilidad. Esta hipótesis explicaría los focos de crecimiento de las prácticas de doble cultivo en Bolivia y Paraguay (sistema soja-soja) y la disminución en zonas templadas pampeanas (cambios del sistema trigo-soja por soja).

La hipótesis de reemplazo de cultivos estivales por soja, y pérdida de competitividad del cultivo de trigo explicaría la configuración del mapa de cambios de superficie efectiva (fig. 13b). En prácticamente toda la región existieron incrementos de la superficie efectiva cultivada, excepto en el sur de Santa Fe y sudoeste de Buenos Aires.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que la metodología utilizada tiene una gran potencialidad para analizar cambios en el uso del suelo de grandes regiones. Bajo el punto de vista cartográfico, estos resultados han sido evaluados solo para una porción del área de estudio (noroeste argentino), pero las estadísticas globales pudieron ser comparadas con otras fuentes de información mostrando discrepancias menores al 10% (fig. 8 y tabla 2). Esto sugiere que la metodología utilizada es robusta para realizar este tipo de análisis. No obstante a ello, quedan abiertas líneas de investigación para poner a prueba hipótesis sobre la distribución geográfica de los errores de estimación y su vinculación con el paisaje.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo del proyecto FONGTAGRO RG-T1654 (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria), de los Programas PNNAT-1128032 del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), FONCYT y con la ayuda de un subsidio del Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN3095 con el aporte de la US National Science Foundation (Grant GEO-1128040).

El producto de datos MODIS Mod13q1 se obtuvo a través de servidores la NASA: “Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (https://lpdaac.usgs.gov/data_access)”.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCARAZ-SEGURA, D.; PARUELO, J.M.; EPSTEIN, H.E.; CABELLO, J. 2013. Environmental and Human Controls of Ecosystem Functional Diversity in Temperate South America. *Remote Sens.* 5(1): 127–154.
- AUSTIN, A.; PIÑEIRO, G.; GONZALEZ-POLO, M. 2006. More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. *Biogeochemistry.* 79: 45–60.
- BALDI, G. y PARUELO, J.M. 2008. Land-Use and Land Cover Dynamics in South American Temperate Grasslands. *Ecol. Soc.* 13(2): 6.
- BOLETTA, P.E.; RAVELO, A.C.; PLANCHUELO, A.M.; GRILLI, M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *For Ecol Manage* 228:108–14.
- CHUVIECO, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. 1.º ed. Ariel Ciencia, Barcelona, España. ISBN: 84-344-8047-6.
- CLARK, M.L.; AIDE, M.; GRAU R.; RINER, G. 2010. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, Issue 11, 2816–2832.

- COHEN, W.B.; FIORELLA, M.; GRAY, J.; HELMER, E. y ANDERSON, K. 1998. An efficient and accurate method for mapping forest clearcuts in the Pacific Northwest using Landsat imagery. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 64(4): 293–300.
- COHEN, W.B.; SPIES, T.A.; ALIG, R.J.; OETTER, D.R.; MAIER-SPERGER, T.K.; FIORELLA, M. 2002. Characterizing 23 Years (1972-95) of Stand Replacement Disturbance in Western Oregon Forests with Landsat Imagery. *Ecosystems* 5(2): 122–137.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J. Remote Sens.* 25(9): 1565–1596.
- DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. 1998. *Land Cover Classification System*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 1998. ISBN: 92-5-10421.
- DORMANN, C.F. 2007. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 16: 129–138.
- DUARTE, C. (coord.) 2006. *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC.
- DROS, J.M. 2004. *Managing the Soy Boom: Two Scenarios of Soy Production Expansion in South America*. Aideenvironment, Amsterdam, The Netherlands.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. *State of the World's Forests 2011*. FAO, Roma, Italia, 168 pp. FAOSTAT. 2015. Dirección de Estadística de la FAO Economic and Social Development Department, Italy. (<http://faostat3.fao.org/verificado> 04/05/2015).
- GAO, X.; HUETE, A.R.; NI, W.; MIURA, T. 2000. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74 (2000), pp. 609–620
- GUERSCHMAN, J.P. 2005. *Análisis regional del impacto de los cambios del uso de la tierra sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la región pampeana (Argentina)*. Tesis de Doctorado. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 130 pp.
- HANSEN, M. C.; DE FRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. 2002. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 83, pp. 303–319.
- HUETE, A.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS–MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59, pp. 440–451.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 83, pp. 195–213.
- HURLBERT, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Soc. Am.* 54(2): 187–211.
- JÖNSSON, P. y EKLUNDH, L. 2004. TIMESAT—A program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Comput. Geosci.* 30: 833–845.
- JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. J. 1998. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *Geoscience and Remote Sensing* 36, pp. 1228 – 1249.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J. R.G. 2002. Special issue on the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): A new generation of land surface monitoring, *Remote Sensing of Environment* 83, pp. 1–2.
- MITCHELL, A. 2005. *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2: Spatial Measurements and Statistics*. ESRI Press. Redlands, California.
- MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; SHIMABUKURO, E.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO F.B. 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:39, pp. 14637–14641.
- NOSETTO, M.D., JOBBAGY, E.G.; PARUELO, J.M. 2005. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Glob. Chang. Biol.* 11(7): 1101–1117.
- PARUELO, J.M., E.G. JOBBAGY; SALA, O.E. 2001. Current distribution of Ecosystem Functional Types in temperate South America. *Ecosystems* 4: 683–698.
- PARUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P.; VERÓN, S.R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Cienc. Hoy* 15(87): 14–23.
- PARUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P.; PIÑEIRO, G.; JOBBAGY, E.G.; VERON, S.R.; BALDI, G.; BAEZA, S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*. Vol. X N.º 2 pág. 47-61.
- PARUELO, J.M. 2008. Functional characterization of ecosystems using remote sensing. *Ecosistemas* 17(3):4-22.
- PRORENOA-INTA Proyecto de relevamiento de cultivos del Noroeste Argentino. 2012. Monitoreo de cultivos del noroeste argentino a través de sensores. (<http://inta.gov.ar/documentos/monitoreo-de-cultivos-del-noroeste-argentino-a-traves-de-sensores-remotos>, verificado 04/05/2015)
- SELLERS, P.J., BERRY, J.A.; COLLATZ, G.J.; FIELD, C.B.; HALL, F.G. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sens. Environ.* 42: 187–216.
- STEININGER, M.K.; TUCKER, C.J.; TOWNSHEND, J.R.G.; KILLEEN, T.J.; DESCH, A.; BELL, V.; ERSTS, P. 2001. Tropical deforestation in the Bolivian Amazon. *Environ. Conserv.* 28, 127–134.
- TOWNSHEND, J.; JUSTICE, C; GURNEY, C.; MCMANUS, J. 1992. "The impact of misregistration on change detection" *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* Vol. 30, no. 5, pp. 1054–1060.
- VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J.M. 1997. Human domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494–499.
- VOLANTE, J.N.; ALCARAZ-SEGURA, D.; MOSCIARO, M.J.; VIGLIZZOD, E.F.; PARUELO, J.M. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154 (2012) 12- 22.
- WARDLOW B. D.; EGBERT S. L.; KASTENS J, H. 2007. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for Crop Classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment* 108:3, pp. 290-310.
- XIUWAN, C. 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *Int. J. Remote Sens.* 23(1): 107-124.
- ZAK M. R.; CABIDO, M.; HODGSON, J. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina have a future? *El-sevier, Biological Conservation*, 120. (2004) 589-598.

Sensibilidad a fungicidas *in vitro* de micelios de *Drechslera siccans* aislada a partir de trigo

TONIN, R.B.¹; REIS, E.M.^{1,2}; GÓMEZ, D.E.³

RESUMEN

La principal mancha foliar del trigo es la mancha amarilla causada por *Drechslera tritici-repentis* (Dtr). Durante las últimas campañas los productores indicaron la baja eficacia del control químico de esta enfermedad. En la búsqueda de información a fin de esclarecer la falla en el control, se organizó una recolección de aislamientos de Dtr y se identificó una nueva especie del género, *D. siccans* (Ds) asociada a los síntomas de la mancha amarilla. Los acontecimientos pueden ser atribuidos a alteraciones en la sensibilidad de Dtr o a una menor sensibilidad de Ds a los fungicidas usados. El objetivo de este trabajo fue determinar la sensibilidad micelial de Ds, aislada de trigo, a fungicidas en experiencias *in vitro*. Se analizaron los fungicidas inhibidores de la desmetilación de esteroides (IDMs) (ciproconazol, epoxiconazol, propiconazol, prothioconazol y tebuconazol) y los inhibidores de la quinona externa (IQEs) (azoxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina y trifloxistrobina) utilizando siete concentraciones (0.00; 0.01; 0.10; 1.00; 10.00; 20.00 e 40.00 mg/L de i.a. - ingrediente activo) y cinco aislamientos del hongo. El crecimiento micelial fue evaluado midiendo diámetro de las colonias en un medio agarizado. Los porcentajes de inhibición del crecimiento micelial fueron sometidos a análisis de regresión logarítmica y se calculó la CI_{50} . Los resultados mostraron variación de la fungitoxicidad entre los ingredientes activos, desde altamente fungitóxicos a atóxicos para los aislados de *D. siccans*. Los fungicidas IDMs presentaron las CI_{50} más bajas comparados con los IQEs, con valores entre $< 0,1$ y $0,66$ mg/L. Los valores de la CI_{50} para IQEs se situaron entre $0,84$ a $72,90$ mg/L. En los aislamientos estudiados se registró una baja sensibilidad del hongo a los ingredientes activos azoxistrobina, picoxistrobina y trifloxistrobina.

Palabras claves: *Triticum aestivum*, mancha amarilla, fungitoxicidad, CI_{50} .

ABSTRACT

The main leaf blight of wheat is yellow leaf spot caused by *Drechslera tritici-repentis* (Dtr). During the last growing seasons, producers noted the low rate of chemical control achieved its control. A new species of fungus, *D. siccans* (Ds), was identified when seeking to clarify the causes of failure in the control of Dtr isolates. It was found that Ds is associated to the yellow leaf spot symptoms in wheat. The events can be attributed to alterations in the sensitivity of Dtr or to the lowest sensitivity of Ds to fungicides. The objective of this study was to determine the *in vitro* mycelial sensitivity of Ds, isolated from wheat, to the fungicides. We tested demethylation inhibitor fungicides (DMIs) (cyproconazole, epoxiconazole, propiconazole, tebuconazole and prothioconazole) using seven concentrations (0.00; 0.01; 0.10; 1.00; 10.00; 20.00 e 40.00 mg/L of i.a. - active ingredient) and five isolates of the fungus. The mycelial growth was evaluated measuring the diameter of the colonies on an agarized medium. The percentages of inhibition of mycelial growth were subjected to logarithmic regression analysis and the CI_{50} was calculated. The results showed variation of fungitoxicity between the active ingredients, from highly fungitoxic to atoxic for the isolates of *D. siccans*. The DMIs presented the lowest CI_{50} compared with the IQEs, with values between $< 0,1$ and $0,66$ mg/L. The CI_{50} values for IQEs were between $0,84$ to $72,90$ mg/L. In the studied isolates a low sensitivity of the fungus to the active ingredients azoxystrobin, picoxystrobin and trifloxystrobin was registered.

¹Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria, Departamento de Fitosanidad, Universidad de Passo Fundo - UPF, 99001, Passo Fundo, RS, Brasil.

²Profesor de FAMV/PPGAgro/UPF.

³Investigador del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA Sáenz Peña.

Autor para correspondencia: rosanetonin@yahoo.com.br

zole) and quinone outside inhibitors (Qols) (azoxystrobin, picoxystrobin, pyraclostrobin and trifloxystrobin) at seven concentrations: 0.00, 0.01, 0.10, 1.00, 10.00; 20.00 and 40.00 mg/L a.i. (active ingredient) and five fungus isolates. We evaluated mycelial growth by measuring the diameter of the colonies in agar cultures. The percentage of inhibition of mycelial growth was subject to logarithmic regression analysis and we calculated the IC_{50} . The data shows a variation in the fungitoxicity in *D. siccans* isolates, ranging from nontoxic to highly fungitoxic. IDM fungicides presented the lowest IC_{50} (< 0.1 to 0.66 mg/L.) when compared to Qols. The IC_{50} values for Qol ranged from 0.84 to 72.90 mg/L. A low sensitivity of the fungus is reported for the active ingredients azoxystrobin, trifloxystrobin and picoxystrobin in the studied isolates.

Keywords: *Triticum aestivum*, yellow leaf spot, fungitoxicity, IC_{50} .

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el principal cultivo de invierno en términos de áreas para su crecimiento, volumen de producción e importancia económica en el sur de Brasil. De acuerdo con la Compañía Nacional de Abastecimiento (Conab, 2012), la producción nacional de trigo para la temporada de crecimiento 2011/12 fue de 5.788.000 toneladas, mientras que el consumo fue de 11 millones de toneladas.

Entre los factores que afectan negativamente la producción de trigo se encuentran las enfermedades causadas principalmente por hongos, que incluyen las manchas en las hojas, que dañan los cultivos si no se controlan adecuadamente.

La mancha amarilla del trigo causada por el hongo *Drechslera tritici-repentis* (Dtr) (Died.). Shoemaker es una enfermedad foliar común en la mayor parte de la producción de trigo, especialmente en aquellos cultivos obtenidos por monocultivo y siembra directa. La mancha amarilla del trigo está presente en más de 21 países, se considera una enfermedad cosmopolita (Metha, 1993). El daño causado por la mancha foliar amarilla del trigo puede determinarse usando la ecuación $Y = 1,000 - 6.005 LI$ (y = rendimiento de grano normalizado a 1.000 kg.ha⁻¹; LI = incidencia foliar) (Reunião, 2011).

En las muestras de hojas de trigo analizados en la Universidad de Passo Fundo, durante la temporada de crecimiento de 2008, se observó un hecho nuevo. Se identificó y cuantificó la presencia de una nueva especie, *Drechslera siccans* (Drechsler) Shoemaker, un agente etiológico asociado con la mancha foliar amarilla del trigo (Tonin y Reis, 2009).

El hongo *D. siccans* (Ds) ataca principalmente al raigrás (*Lolium multiflorum* L. y *L. perenne* L.) (Schubiger y Boller, 2009). En la literatura también hay reportes de otras gramíneas que funcionan como hospedadores (Shoemaker, 1962; Ammon, 1963; Latch, 1966; Mäkelä, 1971; Ellis, 1971). El patógeno está distribuido a lo largo de las regiones templadas de Europa, Australia y América del Norte. Causa patologías principalmente en especies del género *Lolium* y *Festuca* (Schubiger, 2009). Según Araujo (1976) el raigrás es una de las mejores pasturas para pastos de in-

vierno y se ha convertido actualmente en un cultivo perenne en los parques, terrenos baldíos y a lo largo de caminos, rutas y granjas del sur de Brasil.

Por lo tanto, dos hongos similares desde el punto de vista sistemático están relacionados con la etiología de la mancha amarilla del trigo: Dtr y ahora Ds. Ambos causan síntomas generales.

El manejo de esta patología se realiza a través de prácticas integradas como cultivares resistentes/tolerantes, semillas sanas, tratamientos de semillas con fungicidas, siembra en épocas correctas, rotación de cultivos y aplicación de fungicidas en los órganos aéreos (Reis y Casa, 2007).

El uso de fungicidas es uno de los principales métodos para controlar las enfermedades en plantas, pero su uso constante puede conducir a la selección de cepas de hongos resistentes, que ponen en peligro la eficiencia del método (Ghini y Kimati, 2000).

Luego de la temporada de cultivo de trigo de 2008 en adelante, se han registrado quejas sobre la baja eficiencia de las mezclas de fungicidas para el control de la mancha amarilla. La hipótesis para este hecho estuvo relacionada con la aparición de la población Dtr y la reducción/pérdida de sensibilidad a los fungicidas. Por lo tanto se organizó la recolección de diferentes aislamientos de Dtr de diferentes lugares y cultivares de trigo, para encontrar pruebas de este evento. En esta etapa se encontró una alta frecuencia e incidencia de Ds en las hojas de trigo.

Este estudio se llevó a cabo con el fin de determinar la sensibilidad micelial *in vitro* de Ds, aislado a partir de trigo, a los fungicidas inhibidores de la desmetilación de esteroides (IDMs) y a los inhibidores de la quinona externa (IQEs) para echar luz sobre la dificultad de controlar la mancha amarilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron conducidos en el Laboratorio de Fitopatología-Micología, Facultad de Agronomía y Ve-

terinaria de la Universidad de Passo Fundo, Passo Fundo/RS, Brasil.

Para los bioensayos de sensibilidad micelial de *D. siccans* a fungicidas se usó la técnica para incorporar fungicidas al medio de cultivo agarizado, similar al método descrito por Russel (2004)

Aislamientos de hongos

Las cepas de *D. siccans* fueron aisladas a partir de hojas con síntomas de mancha amarilla, recogidas en granjas de trigo. Los cultivos monospóricos de cinco aislamientos seleccionados fueron almacenados en tubos de ensayo con agar papa dextrosa (APD) en heladera a 5 °C.

Fungicidas

Para los test de sensibilidad en aislamientos de Ds se usaron cinco fungicidas pertenecientes a la familia de inhibidores de la desmetilación de esteroides (IDMs) o grupo triazol (ciproconazol, epoxiconazol, propiconazol, protioconazol y tebuconazol) y cuatro fungicidas inhibidores de la quinona externa (IQEs), o el grupo químico estrobilurina

(azoxistrobina, pycoxystrobina, piraclostrobina trifloxistrobina) Se recomiendan estos fungicidas (mezcla de IDM más IQE) para el control de mancha amarilla en cultivos de trigo (Reunião, 2011). Un nuevo fungicida, protioconazol, fue comparado en las pruebas.

Crecimiento micelial *in vitro* en agar modificado con fungicidas

Se analizaron siete concentraciones de cada fungicida: 0.00, 0.01, 0.10, 1.00, 10.00, 20.00 y 40.00 mg/L de ingrediente activo. La concentración de 0.00 mg/L representó el control en cada experimento.

Las alícuotas de fungicidas fueron transferidos a matraces que contenían agua destilada-esterilizada (ADE), y se llevó a suspensiones de volumen final de 100 ml. Se transfirió luego 1 ml de esta suspensión, junto con 99,0 ml de ADE, a otro matraz aforado (segunda dilución). Después se añadió la suspensión resultante a los volúmenes requeridos de APD deshidratado (39 g/L de agar papa dextrosa - Himedia Laboratorios Pvt, Mumbai, India) para alcanzar las concentraciones deseadas. Los matraces fueron agitados y se vertió el contenido en placas de Petri plásticas (tamaño 90x15 mm.) previamente esterilizadas con vapor

Aislamiento	Cultivar de trigo	Región	Designación
01	Fundacep 30	Lagoa Vermelha	01/F30
02	Raíces	Panambi	02/RZ
03	Safira	Coxilha	03/SF
04	Fundacep 52	Vacaria	04/F52
05	Vaqueano	Passo Fundo	05/VQ

Tabla 1. Identificación de aislamientos de *Drechslera siccans*.

Fungicida	Formulación comercial	Concentración de ingrediente activo (g/L)	Mecanismo de acción
Ciproconazol	Alto 100 SC	100 g/L	IDM
Epoxiconazol	Opus SC	125 g/L	IDM
Propiconazol	Tilt EC	250 g/L	IDM
Protioconazol	ProlineEC	250 g/L	IDM
Tebuconazol	Folicur 200 EC	200 g/L	IDM
Azoxistrobina	Priori SC	250 g/L	QoI
Picoxistrobina	Acapela SC	250 g/L	QoI
Piraclostrobina	Comet EC	250 g/L	QoI
Trifloxistrobina	Twist CE	125 g/L	QoI

Tabla 2. Fungicidas analizados para determinar la sensibilidad *in vitro* de aislamientos de *Drechslera siccans*.

Fuente: AGROFIT, 2012.

de formaldehído en una campana de flujo laminar en condiciones asépticas.

Se tomaron discos miceliales de 5 mm de diámetro de cada aislamiento, del área del borde de las colonias, tras siete días de crecimiento y se colocaron en el centro de cada placa de Petri. Las placas contenían el sustrato suplementado con las concentraciones de los fungicidas a analizar.

Las placas se incubaron en una cámara de crecimiento a una temperatura de 25 ± 2 °C, fotoperíodo 12 h (proporcionado por tres lámparas fluorescentes, 40 W, colocadas 50 cm por encima de las placas). Se evaluó la inhibición del crecimiento (CI) del micelio por la limitación en la obtención de esporas de Ds, tanto para fungicidas IDM como IQE.

Determinaciones

Se usó un calibre digital (Mitutoyo - Digimatic caliper) para determinar el diámetro de la colonia en dos direcciones perpendiculares, cuando el crecimiento del micelio en el tratamiento de control alcanzó el borde de la placa.

El diseño experimental fue factorial completo aleatorizado (fungicidas x aislamientos) con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental fue representada por una placa de Petri.

Análisis de datos

Los experimentos se repitieron dos veces y para el análisis estadístico se utilizaron los promedios de dos ensayos. Se analizaron los datos de porcentaje de inhibición de crecimiento micelial y, por regresión logarítmica, se calculó la concentración que inhibe el 50% el crecimiento del micelio (CI_{50}) usando el programa estadístico Costat. La CI_{50} para

el crecimiento del micelio se calculó a través de las ecuaciones generadas.

RESULTADOS

Las tablas 3, 4, 5, 6 y 7 muestran los valores calculados de concentración inhibitoria (CI_{50}) para cada fungicida y para los cinco aislamientos.

La sensibilidad de los aislamientos se puede clasificar en base a Edgington *et al.* (1971), modificada por las siguientes criterios: insensible (I) cuando $CI_{50} > 50$ mg/L; baja sensibilidad (BS) cuando CI_{50} tiene valores entre 10 y 50 mg/L; sensibilidad moderada (SM) cuando CI_{50} se encuentra entre 1 y 10 mg/L; y alta sensibilidad (AS) cuando $CI_{50} < 1$ mg/L.

Los mismos autores clasifican la fungitoxicidad de compuestos químicos: los que presentan una $CI_{50} < 1$ mg/L son considerados altamente fungitóxicos; aquellos con CI_{50} entre 1 y 50 mg/L son moderadamente fungitóxicos, y aquellos con $CI_{50} > 50$ mg/L son considerados no tóxicos.

En lo que respecta al aislamiento 01/F30, el coeficiente de determinación R^2 varió entre 0,90 y 0,99, y el CI_{50} para IDM fue entre 0,22 y 0,66 mg/L, mientras que para IQEs se encontró entre 1,17 y 69,33 mg/L (tabla 3). El aislamiento 01/F30 mostró una alta sensibilidad ($CI_{50} < 1,0$ mg/L) para ciproconazol, epoxiconazol, propiconazol, protioconazol y tebuconazol. Para fungicidas IQE el aislamiento fue considerado como insensible para azoxistrobina (CI_{50} 69.33 mg/L), picoxistrobina (CI_{50} 59.89 mg/L) y trifloxistrobina (CI_{50} 55.56 mg/L). Sin embargo este aislamiento mostró una sensibilidad moderada a la piraclostrobina (CI_{50} 1.17 mg/L).

Para el aislamiento 02/RZ, el coeficiente de determinación (R^2) osciló entre 0.87 y 0,99, mientras que CI_{50} para IDM fue $< 0,1$ a 0,51 mg/L y para IQE de 1.94 a 72.90 mg/L

Fungicida	Ecuación de regresión*	R ²	CI ₅₀ ^y	S ^z
Ciproconazol	y = -11.2 Ln (x) + 38.65	0.95	0.36	HS
Epoxiconazol	y = -10.5 Ln (x) + 36.56	0.96	0.28	HS
Propiconazol	y = -10.7 Ln (x) + 37.88	0.96	0.32	HS
Protioconazol	y = -10.6 Ln (x) + 34.16	0.90	0.22	HS
Tebuconazol	y = -10.3 Ln (x) + 45.74	0.97	0.66	HS
Azoxistrobina	y = -3.42 Ln (x) + 82.71	0.96	69.33	I
Picoxistrobina	y = -4.28 Ln (x) + 76.64	0.98	59.89	I
Piraclostrobina	y = -9.23 Ln (x) + 51.43	0.98	1.17	MS
Trifloxistrobina	y = -5.04 Ln (x) + 75.28	0.99	55.56	I

Tabla 3. Fungicida, ecuación, coeficiente de determinación (R²), concentración para inhibir el 50% del crecimiento micelial de *Drechslera siccans* (CI₅₀), y sensibilidad (S) del aislamiento 01/F30.

*= porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, x= concentración fungicida; y= concentración calculada con la ecuación (mg/L); ^z= sensibilidad de *Drechslera siccans* al fungicida: AS (alta sensibilidad), SM (sensibilidad moderada), I (insensibilidad). Promedio de dos experimentos.

(tabla 4). Este aislamiento fue AS para tebuconazol (CI_{50} 0.49 mg/L), ciproconazol (CI_{50} 0.47 mg/L), epoxiconazol (CI_{50} 0.28 mg/L), propiconazol (CI_{50} 0.51 mg/L) y protioconazol ($CI_{50} < 0,1$ mg/L) Para fungicidas IQE el aislamiento fue considerado I para azoxistrobina (CI_{50} 72.90 mg/L), picoxistrobina (CI_{50} 64.78 mg/L) y trifloxistrobina (CI_{50} 53.96 mg/L), y SM para piraclostrobina (CI_{50} 1,94 mg/L).

Para la cepa 03/SF, el coeficiente de determinación (R^2) tuvo valores entre 0.90 y 0.99, mientras que CI_{50} para IDM fue entre 0.26 y 0.65 mg/L y para IQE de 1.50 a 67.49 mg/L (tabla 5). Este aislamiento fue AS para tebuconazol, ciproconazol, epoxiconazol, propiconazol y protioconazol. Los fungicidas IQE azoxistrobina, picoxistrobina y trifloxistrobina (CI_{50} 67.49, 65.09, y 58.60 mg/L) fueron no tóxicos para

el aislamiento analizado, y el aislamiento fue considerado SM para piraclostrobina (CI_{50} 1.50 mg/L).

El CI_{50} para los aislamientos 04/F52 estuvo en el rango entre 0.25 y 0.61 mg/L para IDM y entre 0.84 y 62.66 mg/L para IQE (tabla 6). El coeficiente de determinación (R^2) tuvo valores entre 0.89 y 0.98. Este aislamiento fue AS a IDMs e insensible a azoxistrobina (CI_{50} 62.66 mg/L), picoxistrobina (CI_{50} 55.73 mg/L), SM para trifloxistrobina (CI_{50} 5.31 mg/L) y AS para piraclostrobina (CI_{50} 0.84 mg/L).

Con respecto al aislamiento 05/VQ el coeficiente de determinación (R^2) estuvo entre 0.86 y 0.98, mientras que el CI_{50} para IDM fue entre 0.14 y 0.44 mg/L, y para IQE estuvo entre 1.26 a 62.71 mg/L (tabla 7). Este aislamiento fue AS

Fungicida	Ecuación de regresión ^x	R ²	CI ₅₀ ^y	S ^z
Ciproconazol	y = -11.6 Ln (x) + 41.32	0.97	0.47	HS
Epoxiconazol	y = -10.2 Ln (x) + 36.98	0.98	0.28	HS
Propiconazol	y = -11.8 Ln (x) + 42.15	0.98	0.51	HS
Protoconazol	y = -8.74 Ln (x) + 28.61	0.87	< 0.1	HS
Tebuconazol	y = -9.93 Ln (x) + 42.98	0.95	0.49	HS
Azoxistrobina	y = -3.26 Ln (x) + 85.66	0.99	72.90	I
Picoxistrobina	y = -3.70 Ln (x) + 79.26	0.98	64.78	I
Piraclostrobina	y = -8.82 Ln (x) + 55.85	0.98	1.94	MS
Trifloxistrobina	y = -5.24 Ln (x) + 74.46	0.98	53.96	I

Tabla 4. Fungicida, ecuación, coeficiente de determinación (R^2), concentración para inhibir el 50% del crecimiento micelial de *Drechslera siccans* (CI_{50}), y sensibilidad (S) del aislamiento 02/RZ.

^x= porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, x= concentración fungicida; y= concentración calculada con la ecuación (mg/L); ^z= sensibilidad de *Drechslera siccans* al fungicida: AS (alta sensibilidad), SM (sensibilidad moderada), I (insensibilidad). Promedio de dos experimentos.

Fungicida	Ecuación de regresión ^x	R ²	CI ₅₀ ^y	S ^z
Ciproconazol	y = -11.0 Ln (x) + 37.38	0.93	0.32	HS
Epoxiconazol	y = -11.7 Ln (x) + 39.35	0.94	0.40	HS
Propiconazol	y = -10.5 Ln (x) + 37.19	0.95	0.30	HS
Protioconazol	y = -11.0 Ln (x) + 35.17	0.90	0.26	HS
Tebuconazol	y = -11.4 Ln (x) + 45.05	0.95	0.65	HS
Azoxistrobin	y = -3.49 Ln (x) + 81.14	0.99	67.49	I
Picoxistrobina	y = -3.70 Ln (x) + 79.57	0.97	65.09	I
Piraclostrobina	y = -8.64 Ln (x) + 53.53	0.99	1.50	MS
Trifloxistrobina	y = -4.74 Ln (x) + 77.14	0.98	58.60	I

Tabla 5. Fungicida, ecuación, coeficiente de determinación (R^2), concentración para inhibir el 50% del crecimiento micelial de *Drechslera siccans* (CI_{50}), y sensibilidad (S) del aislamiento 03/SF.

^x= porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, x= concentración fungicida; y= concentración calculada con la ecuación (mg/L); ^z= sensibilidad de *Drechslera siccans* al fungicida: AS (alta sensibilidad), SM (sensibilidad moderada), I (insensibilidad). Promedio de dos experimentos.

Fungicida	Ecuación de regresión*	R ²	CI ₅₀ ^y	S ^z
Ciproconazol	y = -11.5 Ln (x) + 40.47	0.98	0.44	HS
Epoxiconazol	y = -10.9 Ln (x) + 37.67	0.96	0.32	HS
Propiconazol	y = -10.5 Ln (x) + 37.26	0.96	0.30	HS
Protioconazol	y = -10.9 Ln (x) + 34.87	0.89	0.25	HS
Tebuconazol	y = -11.4 Ln (x) + 44.34	0.96	0.61	HS
Azoxistrobina	y = -4.43 Ln (x) + 79.99	0.95	62.66	I
Picoxistrobina	y = -5.08 Ln (x) + 75.60	0.98	55.73	I
Piraclostrobina	y = -10.2 Ln (x) + 48.17	0.98	0.84	HS
Trifloxistrobina	y = -7.50 Ln (x) + 62.52	0.98	5.31	MS

Tabla 6. Fungicida, ecuación, coeficiente de determinación (R2), concentración para inhibir el 50% del crecimiento micelial de *Drechslera siccans* (CI₅₀), y sensibilidad (S) del aislamiento 04/F52.

*= porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, x= concentración fungicida; y= concentración calculada con la ecuación (mg/L); ^z= sensibilidad de *Drechslera siccans* al fungicida: AS (alta sensibilidad), SM (sensibilidad moderada), baja sensibilidad (BS) I (insensibilidad). Promedio de dos experimentos.

para IDMs e insensible para azoxistrobina y picoxistrobina, BS para trifloxistrobina y SM para piraclostrobina (tabla 7).

Tomando en cuenta las medias globales (tabla 8) no hubo diferencias en la sensibilidad entre los aislamientos que presentan CI₅₀ entre 0.31 (aislamiento 05/VQ) y 0.38 mg/L (aislamientos 03/SF y 04/F52). En lo que respecta a los fungicidas, el protioconazol mostró la CI₅₀ media más baja (0.21 mg/L), mientras que el ciproconazol, el propiconazol y el epoxiconazol mostraron un CI₅₀ intermedio y el tebuconazol presentó el CI₅₀ más alto (0.57 mg/L).

El fungicida IDM protioconazol mostró la CI₅₀ más baja para los cinco aislamientos y presenta entonces la inhibición de crecimiento micelial más alta (tabla 8). Los valores oscilaron entre < 0.1 y 0.26 mg/L. A una concentración de

10 mg/L el crecimiento micelial fue inhibido en un 100%. En promedio, se encontraron los valores más altos de CI₅₀ (menos fungitóxicos) para el fungicida tebuconazol, que van desde 0.44 a 0.66 mg/L, mostrando que *in vitro* los aislamientos son menos sensibles a este fungicida.

Hubo diferencias en la sensibilidad entre los aislamientos de fungicidas IQE. El más sensible fue 04/F52 (CI₅₀: 31.13 mg/L), seguido por 05/VQ (CI₅₀: 37.72 mg/L), y los aislamientos eran menos sensibles fueron 02/RZ (CI₅₀= 48.39 mg/L), 03/SF (CI₅₀: 48.17 mg/L) y 01/F30 (CI₅₀: 46.49 mg/L). En cuanto a los fungicidas, la CI₅₀ para la piraclostrobina fue 1.34 mg/L, para la azoxistrobina 66.19 mg/L, picoxistrobina 61.64 mg/L y para la trifloxistrobina fue 40.35 mg/L. Para piraclostrobina estos aislamientos fueron SM, excepto por

Fungicida	Ecuación de regresión*	R ²	CI ₅₀ ^y	S ^z
Ciproconazol	y = -11.0 Ln (x) + 36.38	0.92	0.29	HS
Epoxiconazol	y = -11.8 Ln (x) + 39.27	0.93	0.40	HS
Propiconazol	y = -10.5 Ln (x) + 37.21	0.94	0.30	HS
Protioconazol	y = -9.73 Ln (x) + 31.07	0.86	0.14	HS
Tebuconazol	y = -12.0 Ln (x) + 40.21	0.94	0.44	HS
Azoxistrobina	y = -4.46 Ln (x) + 76.04	0.98	58.59	I
Picoxistrobina	y = -3.79 Ln (x) + 77.54	0.98	62.71	I
Piraclostrobina	y = -9.01 Ln (x) + 52.05	0.97	1.26	MS
Trifloxistrobina	y = -6.18 Ln (x) + 70.66	0.96	28.31	LS

Tabla 7. Fungicida, ecuación, coeficiente de determinación (R2), concentración para inhibir el 50% del crecimiento micelial de *Drechslera siccans* (CI₅₀), y sensibilidad (S) del aislamiento 05/VQ.

*= porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, x= concentración fungicida; y= concentración calculada con la ecuación (mg/L); ^z= sensibilidad de *Drechslera siccans* al fungicida: AS (alta sensibilidad), SM (sensibilidad moderada), baja sensibilidad (BS) I (insensibilidad). Promedio de dos experimentos.

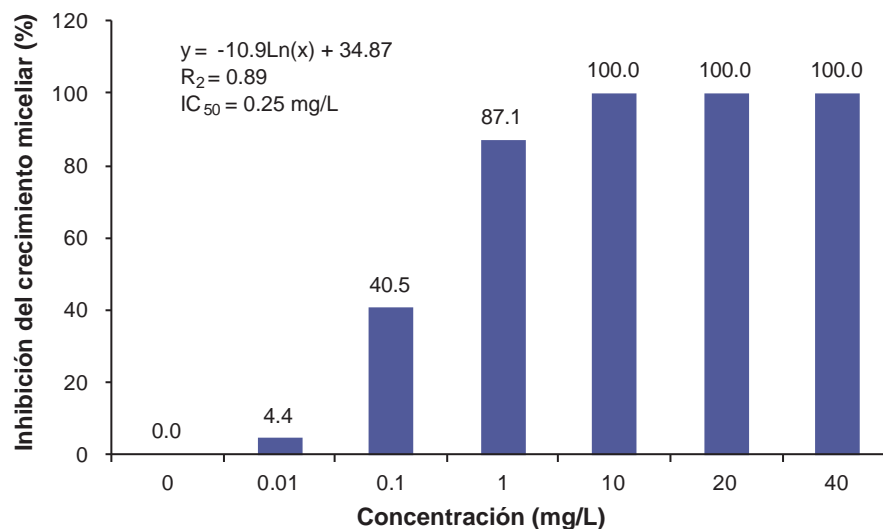


Figura 1. Inhibición *in vitro* del crecimiento de micelios (%) de *Drechslera siccans*, aislamiento de trigo 04/F52, con siete concentraciones de protioconazol [y: crecimiento micelial; x: concentración fungicida; CI_{50} : concentración (mg/L) para inhibir el 50% del crecimiento micelial].

Fungicida	Aislamiento (CI_{50} mg/L)					Media
	01/F30	02/RZ	03/SF	04/F52	05/VQ	
Cyproconazol	0.36 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.37 b
Epoxiconazol	0.28	0.28	0.40	0.32	0.40	0.33 b
Propiconazol	0.32	0.51	0.30	0.30	0.30	0.34 b
Protioconazol	0.22	< 0.1	0.26	0.25	0.14	0.21 c
Tebuconazol	0.66	0.49	0.65	0.61	0.44	0.57 a
Media	0.36	0.37	0.38	0.38	0.31	

Tabla 8. Concentraciones para inhibir el 50% el crecimiento micelial (CI_{50}) de cinco aislamientos de *Drechslera siccans* por cinco fungicidas IDM.

^{ns} no significativo. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias en la prueba de Tukey a 5%. Las letras minúsculas comparan las medias de la columna y las superiores en la línea. Medias de dos experimentos.

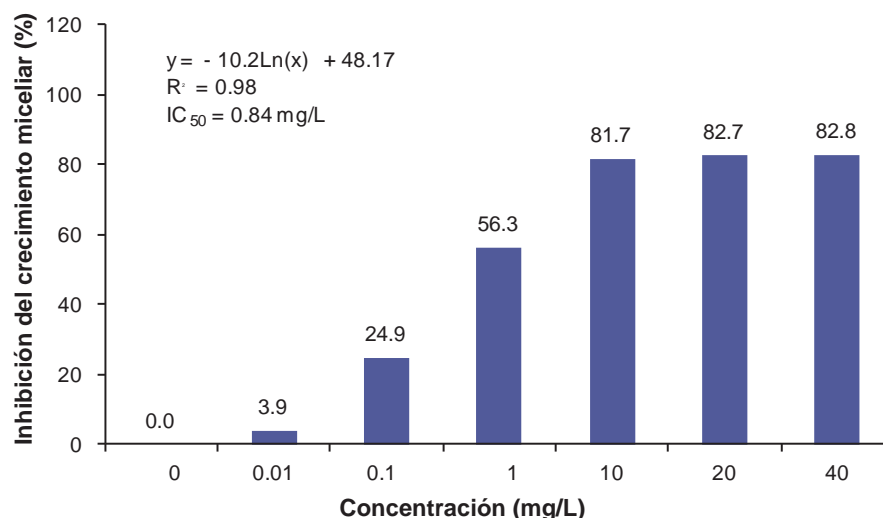


Figura 2. Crecimiento micelial (%) *in vitro* de *Drechslera siccans*, aislamiento de trigo 04/F52, a siete concentraciones de piraclostrobina [y= crecimiento micelial; x= concentración fungicida; CI_{50} = concentración (mg/L) para inhibir 50% del crecimiento micelial].

Fungicida	Aislamientos (CI_{50} mg/L)					Media
	01/F30	02/RZ	03/SF	04/F52	05/VQ	
Azoxistrobina	B 69.33 a	A 72.90 a	C 67.49 a	D 62.66 a	E 58.59 b	66.19 a
Picoxistrobina	D 59.89 b	B 64.78 b	A 65.09 b	E 55.73 b	C 62.71 a	61.64 b
Piraclostrobina	C 1.17 d	A 1.94 d	B 1.50 d	D 0.84 d	BC 1.26 d	1.34 d
Trifloxistrobina	B 55.56 c	C 53.96 c	A 58.60 c	E 5.31 c	D 28.31 c	40.35 c
Media	46.49 c	48.39 a	48.17 b	31.13 e	37.72 d	
CV (%)	0.20					

Tabla 9. Concentraciones para inhibir el 50% del crecimiento micelial (CI_{50}) de cinco aislamientos de *Drechslera siccans* por cinco fungicidas IQE.

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias en la prueba de Tukey a 5%. Las letras minúsculas comparan las medias de la columna y las superiores en la línea. Medias de dos experimentos.

04/F52 que era sensible (CI_{50} 0.84 mg/L). Los valores de CI_{50} para IQEs variaron entre 0.84 y 72.90 mg/L, respectivamente (tabla 9). Los fungicidas azoxistrobina y picoxistrobina fueron no tóxicos en los aislamientos analizados.

DISCUSIÓN

Stolte (2006) encontró que para Dtr los valores de CI_{50} eran < 0.1 mg/L para los fungicidas propiconazol, epoxiconazol y ciproconazol, mientras que la CI_{50} era superior (0.54 mg/L) para tebuconazol. En nuestra investigación encontramos resultados similares. La alta sensibilidad al ingrediente activo propiconazol fue también reportada por Sartori y Maringoni (2008) que trabajaron con *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. Y Magn.) Scrib., con valores de $CI_{50} < 1$ mg/L.

El fungicida azoxistrobina fue considerado como no tóxico ($ED_{50} > 50$ mg/L) para *Amphobotrys ricini* (Buchwald) Hennebert (Chagas, 2009). También Kimura *et al.* (2001) evaluaron la sensibilidad *in vitro* a varios fungicidas de *Botrytis cinerea* Pers. ex. Fr, aislado de viveros de eucalipto, y observaron una baja sensibilidad a la azoxistrobina tanto para el crecimiento micelial como para la germinación de esporas.

Los fungicidas IQE no detuvieron el crecimiento micelial en todos los aislamientos, aún a concentraciones de 40 mg/L. El ingrediente activo piraclostrobina presentó la acción fungicida más potente en comparación con otros IQEs analizados, con valores de CI_{50} entre 0.84 y 1.94 mg/L. Gullart (2009) y Sartorato (2006) clasificaron aislamientos de *Colletotrichum lindemuthianum* como altamente sensibles a este fungicida.

El Protiocanazol fue el más potente entre los IDMs para inhibir el crecimiento micelial de *D. siccans*, mientras que la piraclostrobina lo fue entre los IQEs. Tebuconazol, azoxistrobina y picoxistrobina presentaron el menor crecimiento micelial menos con los valores más altos de CI_{50} .

Aunque los fungicidas IDMs pertenecen al mismo grupo químico y tienen el mismo mecanismo de acción (in-

hibidores de desmetilación) mostraron comportamientos diferentes para el mismo hongo (Ds), siendo tebuconazol el menos fungitóxico y protioconazol el más fungitóxico. El mismo comportamiento se observó en los IQEs, donde los menos fungitóxicos fueron azoxistrobina, picoxistrobina y trifloxistrobina, mientras que la mayor acción fungitóxica se observó con piraclostrobina. Al momento no tenemos ninguna explicación para este comportamiento diferente, en términos de fungitoxicidad, entre fungicidas que tienen el mismo modo de acción bioquímico.

Los resultados presentados en este trabajo no son suficientes para confirmar la hipótesis de que la baja eficiencia para controlar la mancha amarilla del trigo (de 2008 en adelante) está solamente relacionada con la presencia de una nueva especie y su menor sensibilidad a los fungicidas IQE. Por lo tanto, se está realizando una investigación similar y adicional con aislamientos Dtr y los mismos fungicidas.

CONSIDERACIONES FINALES

Entre los grupos químicos estudiados, los IDM mostraron la mayor fungitoxicidad para *D. siccans*.

Entre los IDM el protioconazol fue el más potente para inhibir el crecimiento micelial de *D. siccans*, mientras que tebuconazol presentó la menor potencia, con los valores más altos de CI_{50} entre los triazoles.

Entre los fungicidas IQEs, la piraclostrobina fue el más potente.

BIBLIOGRAFÍA

AGROFIT (Base de datos de productos agrotóxicos e fitosanitarios). 2012. Secretaria de Defesa Agropecuária/ Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília.

AMMON, H.U. 1963. Übereinige Arten aus den Gattungen *Pyrenophora* Fries und *Cochliobolus* Drechsler mit *Helminthosporium* als Nebenfruchtform. Phytopathologische Zeitschrift 47: 244-300.

- ARAUJO, A.A. 1976. Melhoramento das pastagens - Agrostologia Rio-Grandense, Porto Alegre, Livraria Editora Sulina, 4ª edição, 208p.
- CHAGAS, H.A. 2009. Controle de mofo-cinzeno (*Amphobotrys ricini*) da mamoneira (*Ricinus communis* L.) por métodos químico, biológico e com óleos essenciais. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 67p.
- CONAB - (Companhia Nacional de Abastecimento). 2012. Acompanhamento de safra brasileira: Último levantamento, janeiro/2012. Disponível em: www.conab.gov.br/.
- EDGINGTON, L.V.; KHEW, K.L.; BARROW, G.L. 1971. Fungitoxic spectrum of benzimidazole compounds. *Phytopathology* 61:42- 44.
- ELLIS, M.B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey England: 608 p.
- GHINI, R.; KIMATI, H. 2000. Resistência de fungos a fungicidas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 78 p.
- GULART, C.A. 2009. Sensibilidade *in vitro* e *in vivo* de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* (SACC y MAGN.) BRIOSI y CAV., a fungicidas sistêmicos. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil.
- KIMURA, M.K.; SOUZA, P.E.; CASTRO, H.A. 2001. Sensibilidade *in vitro* de *Botrytis cinérea* a fungicidas. *Ciência e Agrotecnologia* 25 (5):1150-1160.
- LATCH, G.C.M. 1966. Fungus diseases of ryegrasses in New Zealand: I. Foliage diseases. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 9 (2):394-409.
- MÄKELÄ, K. 1971. Some graminicolous species of *Helminthosporium* in Finland. *Karstenia*. 12 (1): p. 5-35.
- METHA, Y.R. 1993. Manejo integrado de enfermidades del trigo. Imprenta Landivar, Santa Cruz de La Sierra, Bolivia, 319 p.
- REIS, E. M.; CASA, R.T. 2007. Doenças dos cereais de inverno: diagnose, epidemiologia e controle. 2ed. Lages: Graphel, 176 p.
- REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 5., 2011, Dourados. Informações técnicas para trigo e triticales - safra 2012. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 204 p.
- RUSSEL, P.E. 2004. Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management. FRAC Monograph n° 3, Cambridge CB2 5AN, UK.
- SARTORATO, A. 2006. Sensibilidade *in vitro* de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* a fungicidas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36 (3): 211-213.
- SARTORI, J.E.; MARINGONI, A.C. 2008. Effect of fungicides on colony growth of *Colletotrichum lindemuthianum* (SACC.y MAGN.) SCRIB. *Journal of Plant Protection Research*. vol. 48, no. 2, p. 203-214.
- SHOEMAKER, R.A. *Drechslera* lto. 1962. *Canadian Journal of Botany* 40: p. 809-836.
- STAUB, T.; SOZZI, D. 1984. Fungicide resistance. *Plant Disease*, 68 (12): 1026-1031.
- SCHUBIGER, F.X. *Drechslera siccans*. Hofenstrasse. Männedorf, 2009. Disponível em: www.pflanzenkrankheiten.ch
- SCHUBIGER, F.X.; BOLLER, B. 2009. Blattfleckenkrankheiten der Gräser in der Schweiz. *Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART)*, Reckenholzstrasse 191, Zürich.
- STOLTE, R.E. 2006. Sensibilidade de *Bipolaris sorokiniana* e de *Drechslera tritici-repentis* a fungicidas *in vitro*. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade de Passo Fundo/UPF. Passo Fundo/RS.
- TONIN, R.B.; REIS, E.M. 2009. Incidência de *Drechslera* sp. em folhas de trigo. In: XLII Congresso Brasileiro de Fitopatologia. *Tropical Plant Pathology* 34 (Suplemento), Resumo 490 (Epidemiologia).

Estimación del volumen sin corteza en *Eucalyptus grandis* utilizando modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas de plantaciones de la Mesopotamia argentina

BOCA, R.T.¹; KELLER, A.E.²; MASTRANDREA, C.³; CRECHI, E.H.²; BARTH S.R.²; WINCK, R.A.²; FASSOLA, H.E.²; FERRERE, P.⁴

RESUMEN

En este trabajo se ajustaron modelos de predicción de volumen total sin corteza (*vtsc*) y volumen total con corteza (*vtcc*) de árboles individuales en forma simultánea. El *vtcc* se ajustó en función de la altura del árbol (*h*) y del diámetro a la altura del pecho (*dap*), y en forma simultánea se ajustó el *vtsc* a los predichos de *vtcc*. Esta causalidad simultánea podría originar un sesgo en los coeficientes estimados con métodos tradicionales que aplican mínimos cuadrados ordinarios (*ordinary least squares* OLS), que puede ser eliminado utilizando modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas (*two-stage least squares* 2SLS). En este artículo se compararán las metodologías convencionales aplicadas en el área con el método 2SLS. Se trabajó con datos de plantaciones de *Eucalyptus grandis* pertenecientes a cuatro zonas agroclimáticas distintas de la Mesopotamia argentina. Los resultados mostraron que es posible lograr modelos de ajustes con baja correlación en los errores y que cumplan con los supuestos requeridos para la implementación de esta metodología.

Palabras clave: regresión, variables instrumentales, *Eucalyptus*, Mesopotamia.

ABSTRACT

For this work, total volume under bark (*vtsc*) and total volume over bark (*vtcc*) prediction models for individual trees were adjusted simultaneously. The total *vtcc* was adjusted based on the tree's height (*h*) and diameter at breast height (*dbh*), and the total *vtsc* was simultaneously adjusted based on *vtcc* predictions. This simultaneous causality could create a bias in coefficients using traditional estimation methods with ordinary least squares (OLS), which could be removed resorting to two-stage least squares (2SLS) regression models. This work compares conventional methodologies used in the area and 2SLS methods. The data used comes from *Eucalyptus grandis* plantations set in four different agroclimatic zones in the Argentine Mesopotamia region. Results show that it is possible to achieve adjustment models with low correlation in residuals and complying with the assumptions necessary to implement this methodology.

Keywords: prediction model, instrumental variables, Argentinian Mesopotamia.

¹Instituto de Clima y Agua, INTA, Castelar, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: boca.teresa@inta.gov.ar

²EEA INTA Montecarlo. Misiones, Argentina.

³EEA INTA Concordia. Entre Ríos, Argentina.

⁴AER INTA 9 de Julio EEA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus* es uno de los más utilizados en las plantaciones forestales, es ampliamente comercializado y empleado en la industria para una amplia variedad de productos. Consecuentemente es necesario contar con ecuaciones de volumen que permitan predecir con la mayor exactitud posible y a través de variables de fácil relevamiento, las existencias maderables de los árboles del rodal. Estos procedimientos se basan en métodos destructivos, los que, conjuntamente con el volteo de los árboles, tienen un alto costo operativo (Vanclay, 1994, Bravo *et al.*, 2011). Por lo tanto, obtener modelos de predicción de volumen total sin corteza (*vtsc*) de árboles individuales a partir del volumen con corteza (*vtcc*) tiene interés debido a la relativa facilidad para estimar este último en función del anterior. Tradicionalmente los modelos de volumen con corteza y sin corteza han sido ajustados en forma independiente mediante métodos de ajuste por mínimos cuadrados ordinarios (OLS) que no contemplan la correlación existente entre el volumen con y sin corteza, como los presentados para *Eucalyptus grandis* para Misiones y NE de Corrientes (Fasola *et al.*, 2007). Existen otros antecedentes recientes en la bibliografía, como el publicado por Bonyad *et al.*, (2012), que describen metodologías para modelar las variables en estudio como el que utiliza el procedimiento propuesto por Meyer (1946); dicho estudio consiste en formular una sola ecuación que relaciona el volumen sin corteza con el volumen con corteza a través de un factor K que relaciona *vtsc* y *vtcc*, este enfoque tampoco considera la alta correlación. En la misma línea, Li y Weiskittel (2011) proponen la estimación del diámetro sin corteza utilizando como covariable el diámetro con corteza, donde nuevamente se incumpliría el supuesto de independencia entre la variable y la covariable. Estos enfoques podrían originar sesgo en los coeficientes estimados para los modelos de predicción de fracciones de volumen. Otra propuesta es utilizar modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas o *two-stage least squares* (2SLS). El cálculo del *vtcc* se puede ajustar en función del diámetro a la altura del pecho (*dap*) y de la altura del árbol (*h*) y *vtsc* se ajusta a los predichos del *vtcc*, este ajuste simultáneo elimina el sesgo de las metodologías anteriormente discutidas. Pocos estudios han recurrido al enfoque que emplea ajustes simultáneos con variables instrumentales que permiten independizar el volumen con corteza del volumen sin corteza, a pesar de que la metodología fue presentada por Border (1989) basado en el desarrollo teórico de Zellner (1962), con la ventaja de contar actualmente con paquetes de aplicación libres para utilizar en un entorno R (R Development Core Team R. 2014) desarrollados por Henningsen y Hamann (2007). Las variables dasométricas utilizadas en los modelos descritos pueden ser afectadas por la calidad de sitio del rodal (Cellini *et al.*, 2012), esta variabilidad ambiental puede modelarse utilizando variables dummy (Rucha *et al.*, 2011).

A partir de lo anteriormente descrito, los objetivos de este trabajo fueron (i) determinar si existen diferencias en las variables dasométricas de rodales de *Eucalyptus grandis* ubicadas en las cuatro principales zonas agroclimáticas

de cultivo de la región mesopotámica argentina, (ii) ajustar modelos de predicción de *vtsc* a partir de *vtcc* para árboles de *E. grandis* utilizando 2SLS, comparándolos con los procedimientos tradicionales.

METODOLOGÍA

Descripción de las zonas de estudio

Las zonas agroecológicas donde se obtuvieron las muestras se corresponden con Misiones Sur (zona 1.1.1) Misiones Norte (zona 1.1.2), Misiones Alta (zona 1.1.3); todas de clima subtropical sin estación seca y la zona templada que comprende Monte Caseros–Concordia (zona 1.2.4) (figura 1), según la clasificación realizada por Papadakis (1974). Los suelos de las tres primeras regiones son derivados de la roca basáltica y en la última son suelos arenosos resultantes de los sedimentos del río Uruguay.

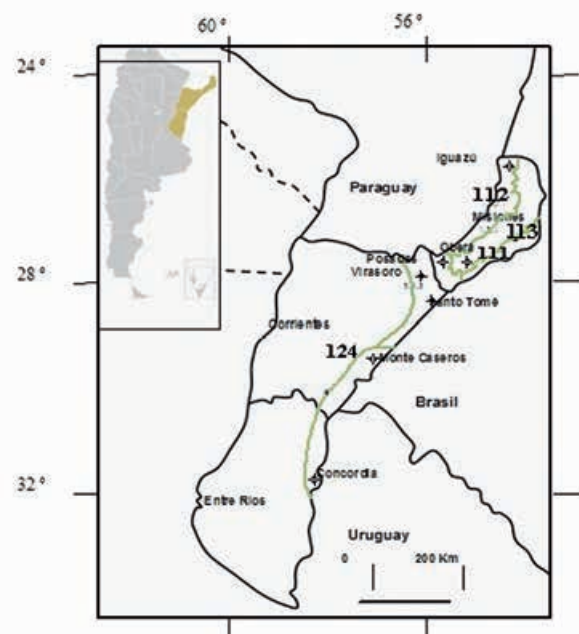


Figura 1. Zonas agroclimáticas donde se obtuvieron las muestras de *Eucalyptus grandis* para los estudios de volumetría, donde: 1.1.1: Misiones Sur; 1.1.2: Misiones Norte; 1.1.3: Misiones Alta; 1.2.4: Monte Caseros.

En la tabla 1 se resumen las principales variables agroclimáticas de la zona donde se observan las diferencias existentes que podrían determinar crecimientos diferenciados como son los mm de precipitación caídos, que van de un rango de 1478 mm para Monte Caseros a 2220 mm para Bernardo de Irigoyen. En el caso de las horas de fríos por debajo de 7 grados oscilan entre 115,9 h en Posadas a 406,1 h en Concordia, que por otro lado resultó el sitio con menor altura sobre el nivel del mar, mientras que Bernardo de Irigoyen fue el lugar más alto. Estas variables podrían impactar sobre las variables dasométricas bajo estudio (Cellini *et al.*, 2012); podrían ser necesarios, por lo tanto, ajustes de modelos de regresión diferentes para cada zona.

Localidad	Monte Caseros	Concordia	Posadas	Iguazú	Bernardo de Irigoyen
Latitud	-30,27	-30,30	-27,37	-25,73	-26,25
Longitud	-39,30	-58,02	-55,97	-54,47	-53,65
Altura s.n.m.	54,00	38,00	133,00	270,00	815,00
Temperatura máxima media °C	25,50	24,70	27,60	27,30	24,10
Temperatura mínima media °C	14,60	13,40	16,70	15,80	15,20
Temperatura media °C	20,00	19,10	22,10	21,60	19,60
Precipitación mm	1478,40	1390,40	1789,30	1885,50	2220,30
Horas de frío <7 °C	264,30	406,10	115,90	142,00	196,20

Tabla 1. Caracterización agroclimática de las localidades pertenecientes a las distintas zonas agroecológicas.

Variable	Zona	Mínimo	Mediana	Media	Máximo	Desviación estándar
dap	1.2.4	12,00	21,05	22,41	40,00	7,11
	1.1.1	8,00	36,50	35,92	65,00	10,61
	1.1.2	17,20	35,80	34,78	54,60	12,12
	1.1.3	4,50	39,47	38,05	75,00	24,20
h	1.2.4	16,40	24,80	26,06	37,30	5,07
	1.1.1	10,00	37,30	36,22	48,00	7,40
	1.1.2	19,70	36,25	32,99	42,80	8,41
	1.1.3	11,30	39,80	34,24	57,30	17,17
vtcc	1.2.4	0,09	0,37	0,52	1,85	0,44
	1.1.1	0,02	1,65	1,76	4,94	1,01
	1.1.2	0,19	1,51	1,51	3,58	1,08
	1.1.3	0,01	1,97	2,58	6,83	2,63
vtsc	1.2.4	0,08	0,34	0,46	1,66	0,40
	1.1.1	0,02	1,49	1,63	4,75	0,97
	1.1.2	0,17	1,40	1,40	3,39	1,01
	1.1.3	0,01	1,68	2,27	6,14	2,31
edad	1.2.4	6,00	18,00	12,66	19,00	6,27
	1.1.1	2,00	15,00	15,17	23,00	5,12
	1.1.2	5,00	10,00	10,00	15,00	4,20
	1.1.3	3,00	27,00	23,41	50,00	15,59

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las variables en estudio en cm.

Datos

Para el estudio se apeó un total de 234 árboles de *Eucalyptus grandis* provenientes de rodales de diferentes edades, 158 ejemplares en la zona 1.1.1, 18 en la zona 1.1.2, 17 en la zona 1.1.3 y 41 árboles en la zona 1.2.4. En cada árbol apeado se efectuaron cortes a distintas alturas: 0,30 m, 0,70 m, 1,30 m y luego en trozas de aproximadamente 3 m de largo hasta el ápice. En los extremos de cada troza se procedió a tomar los diámetros con y sin corteza máximo y mínimo. La cubicación de cada troza fue realizada siguiendo el método de Smalian (Clutter *et al.*, 1983) y la

sumatoria de los volúmenes parciales permitió obtener los volúmenes totales con y sin corteza.

Variables analizadas

Las variables analizadas que surgieron de las tareas de cubicación fueron: diámetro a la altura del pecho en centímetros (*dap*), altura del árbol en metros (*h*), edad en años, volumen del árbol con corteza en metros cúbicos (*vtcc*), volumen del árbol sin corteza en metros cúbicos (*vtsc*). Todas las variables mostraron mayor variabilidad en la zona 1.1.3., coincidentemente con un mayor rango de edad de los árboles (tabla 2).

Procedimientos estadísticos

Para determinar si existían diferencias en el crecimiento en volumen para cada una de las zonas especificadas se realizaron primeramente análisis de varianza para modelos lineales con el logaritmo natural de $vtcc$ y $vtsc$ como variables respuestas, la altura y la edad como variables explicatorias y las zonas como variables categóricas. En función de los resultados del análisis de varianza mencionado en el párrafo anterior, se ajustaron modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas (2SLS). Se asumieron modelos lineales entre el logaritmo natural de $vtcc$ y $vtsc$ y las variables explicatorias altura y edad. Los modelos utilizados tienen la forma general de $y=X\beta+\varepsilon$, donde para predecir $\ln(vtcc)$, y es el vector ($n \times 1$) correspondiente al logaritmo natural del valor observado de $vtcc$, β es el vector de coeficientes ($k \times 1$) y X es la matriz ($k \times 1$) que contiene las variables exógenas $\ln(dap)$ e $\ln(h)$. Para predecir $\ln(vtsc)$ y es el vector ($n \times 1$) correspondiente al logaritmo natural del valor observado de $vtsc$, β es el vector de coeficientes ($k \times 1$) y X la matriz ($k \times 1$) que contiene la variable exógena predichos de $\ln(vtcc)$. En ambos casos ε corresponde al error aleatorio. El predicho $\ln(vtcc)$ que define una de las columnas en X se encontraba correlacionado con el error aleatorio. Esta causalidad simultánea podría originar un sesgo en los coeficientes estimados que fue eliminado utilizando modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas (Zellner, 1962). Llamamos endógenas a aquellas variables que se encuentren correlacionadas con ε y exógenas a aquellas que no estén correlacionadas con ε . Por lo tanto $\ln(vtcc)$ e $\ln(vtsc)$ son las variables endógenas e $\ln(h)$, $\ln(dap)$ y los predichos de $vtcc$. Las variables exógenas predichas de $vtcc$ y la *edad* fueron las variables instrumentales. A fines comparativos se ajustaron los modelos utilizando la metodología descrita en el párrafo anterior, *two-stage least squares* (2SLS) y la metodología convencional que aplica *ordinary least squares* (OLS). Por otro lado para determinar si las variables instrumentales de cada ecuación del enfoque 2SLS no estaban correlacionadas con los términos de error de las otras ecuaciones, lo que indicaría que están especificadas, se aplicó la prueba de Hausman (1978). Finalmente para comparar los modelos se calcularon los estadísticos más frecuentemente utilizados, como la diferencia media absoluta (DMA), cuadrado medio del error de predicción (CMEP) y coeficiente de determinación (R^2). Para las ecuaciones obtenidas, dado que se empleó

la transformación logarítmica, se le estimó un factor de corrección para obtener los predichos en las unidades originales según la ecuación $K=e^{(\sigma^2/2)}$ a los efectos de eliminar la asimetría en la distribución inherente al proceso de transformación aritmética (Meyer, 1946; Baskerville, 1972), donde: K =coeficiente de corrección de la discrepancia logarítmica y σ^2 = varianza de predicción.

Los cálculos fueron realizados en un entorno R (R 2014), utilizando el paquete *System fit: Estimating Systems of Simultaneous Equations in R* (Henningesen y Hamann, 2007) y *nlme* (Pinheiro *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza de los modelos de regresión con variables categóricas determinó que existían diferencias significativas entre zonas para los coeficientes de los modelos. Para los modelos de $\ln(vtcc)$ y $\ln(vtsc)$ los valores p de la interacción (*zona*dap*) e interacción (*zona*h*) fueron menores al nivel de significancia del 5% lo que justificó el ajuste de modelos de forma independiente entre las zonas (tabla 3).

Los resultados del ajuste de los modelos 2SLS por zona determinaron coeficientes de los modelos significativamente distintos de cero, dado que los valores p de las pruebas t de Student fueron menores al nivel de significancia del 5%, lo que significa que los modelos son útiles para predecir la variable respuesta en cuestión. Los valores estimados de los coeficientes por ambos métodos dentro de una misma zona mostraron diferencias (tabla 4). Pero lo más destacable es que los estimadores 2SLS presentaron residuales no correlacionados a diferencias de los predichos de los modelos OLS, las correlaciones entre los residuales de los modelos para $vtcc$ y $vtsc$ fueron de 0,94 para OLS y 0,27 para 2SLS para la zona 1.2.4 (ver figura 2). Las otras zonas mostraron comportamientos similares entre los residuales (gráficos no publicados). En la utilización de estos modelos debe tenerse en cuenta que árboles de *dap* muy bajos podrían determinar estimaciones negativas; autores como Dolph (1989) proponen forzar a los modelos a ajustar al origen, aunque sería suficiente utilizar estos modelos con precaución, cuando se trabaja con árboles pequeños (Skovsgaard y Vanclay, 2008).

Por otro lado las variables instrumentales de los modelos del procedimiento 2SLS resultaron no correlacionadas con

Factor	log(vtcc)		log(vtsc)	
	F	Valor p	F	Valor p
log(dap)	28080,49	<2.2e-16	23420,85	<2.2e-16
log(h)	857,03	<2.2e-16	664,71	<2.2e-16
zona	0,04	0,83	3,33	0,07
log(dap):zona	23,01	2.904e-06	22,01	4.663e-06
log(h):zona	3,98	0,04	0,48	0,48

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de las variables en estudio en cm.

Zona	Modelos de volumen con corteza						Modelos de volumen sin corteza			
	$\hat{\beta}_o$		$\hat{\beta}_{ln(h)}$		$\hat{\beta}_{ln(dap)}$		$\hat{\beta}_o$		$\hat{\beta}_{pred(ln(Vtcc))}$	
	OLS	2SLS	OLS	2SLS	OLS	2SLS	OLS	2SLS	OLS	2SLS
1.2.4	-10,12	-10,00	1,77	2,12	1,16	0,80	-0,11	-0,11	1,03	1,01
1.1.1	-10,11	-9,43	1,78	2,38	1,16	0,37	-0,10	-0,10	1,03	1,03
1.1.2	-9,96	-9,67	1,72	1,96	1,16	0,84	-0,10	-0,08	1,03	1,01
1.1.3	-9,79	-8,90	1,67	2,24	1,16	0,33	-0,14	-0,17	1,03	1,03

Tabla 4. Valores estimados de los distintos parámetros de los modelos propuestos y sus coeficientes de ajuste.

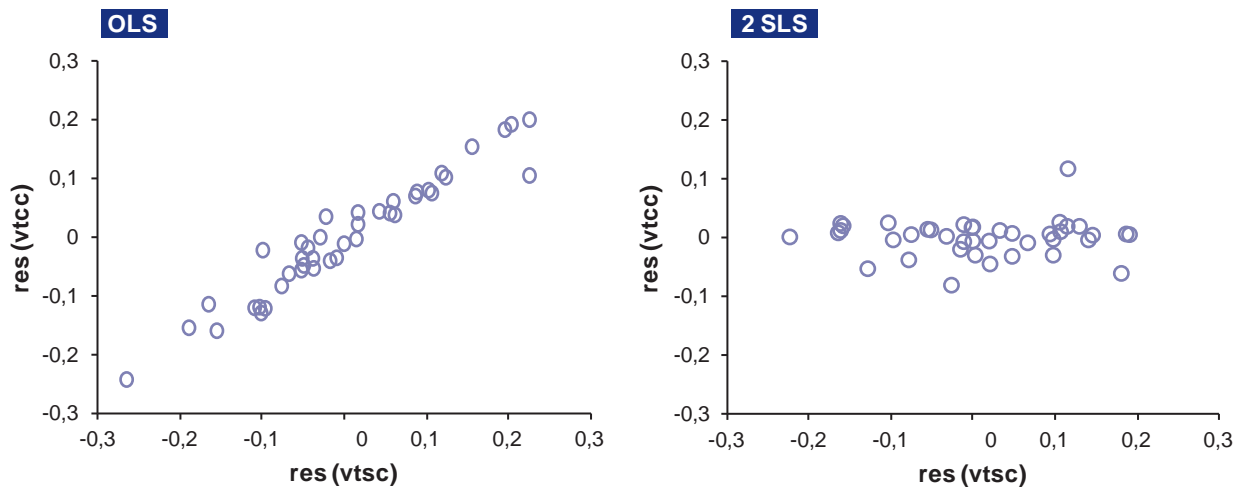


Figura 2. Residuales de los modelos OLS y 2SLS para la zona 1.2.4.

Zona	vtcc K	vtsc K
1.2.4	1.008514	1.000388
1.1.1	1.012329	1.000388
1.1.2	1.003139	1.000150
1.1.3	1.018123	1.002911

Tabla 5. K Factores de corrección.

	Zonas	DMA		CMEP	
		OLS	2SLS	OLS	2SLS
vtcc	1.2.4	0,0866	0,0866	0,0157	0,0158
	1.1.1	0,0856	0,0843	0,0078	0,0065
	1.1.2	0,0459	0,0458	0,0027	0,0025
	1.1.3	0,1091	0,1407	0,0202	0,0195
vtsc	1.2.4	0,0973	0,0288	0,0164	0,0007
	1.1.1	0,0881	0,0330	0,0093	0,0011
	1.1.2	0,0410	0,0222	0,0035	0,0002
	1.1.3	0,1075	0,0456	0,0233	0,0051

Tabla 6. Coeficientes diagnósticos del modelo.

los términos de error, según el estadístico de Hausman, que tuvo un valor p menor al 0,05, lo que indica la correcta especificación de las variables instrumentales. Los valores predichos por los distintos modelos, llevados a la escala original según los factores de corrección de la tabla 5, mostraron leves diferencias (figura 3) ya que los índices de ajustes medidos a través de los valores de R² oscilaron entre 0,95 y 0,99.

Otro indicador a favor de los ajustes por el método 2SLS en comparación con OLS fueron los resultados de los coeficientes diagnósticos DMA y CMEP, que tendieron a ser menores para los modelos ajustados bajo el enfoque 2SLS (tabla 6).

A partir de los resultados encontrados puede verse que es posible obtener estimación del volumen sin corteza de forma no destructiva, pero a diferencia de lo propuesto por

Bonyad *et al.*, (2012) aplicando estimaciones simultáneas se logra corregir la correlación entre los residuales de los modelos, esta corrección mejora al agregar las variables instrumentales. Por lo tanto el punto más importante a destacar con el proceso de estimaciones a partir del enfoque 2SLS es que se garantizan las buenas propiedades de los estimadores utilizados, obteniendo resultados consistentes. Los modelos generados en este estudio proporcionan estimaciones fiables y no destructivas del volumen sin corteza para plantaciones de *Eucalyptus grandis* de

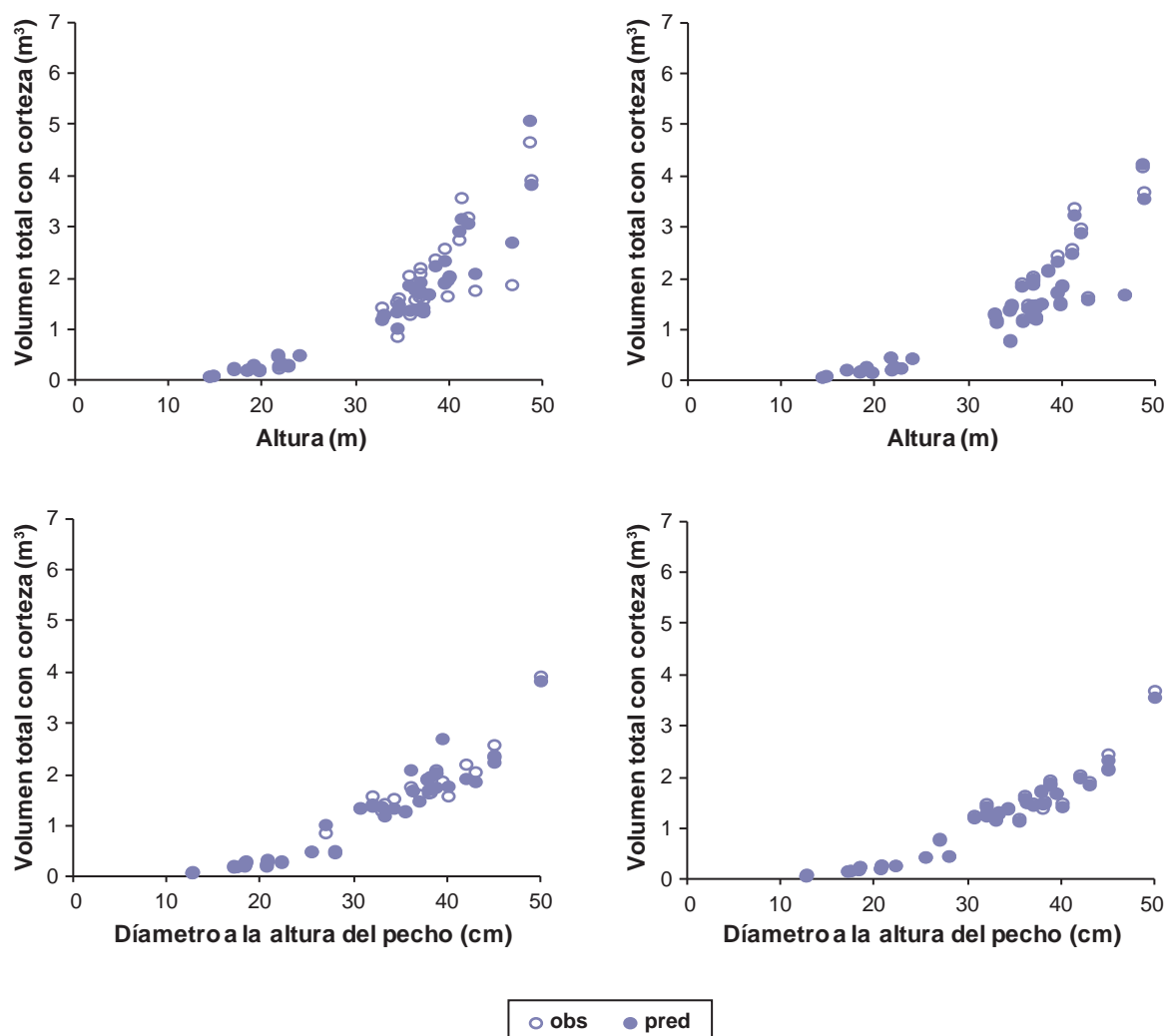


Figura 3. Valores observados y predichos del volumen con y sin corteza para la zona 1.2.4.

la Mesopotamia argentina. Li y Weiskittel (2011) publican para coníferas metodologías de ajuste a través de modelos mixtos que permiten obtener estimadores insesgados basados en procedimientos en la misma línea de los aquí planteados, pero a diferencia de los propuestos para *Eucalyptus*, estos modelos utilizan observaciones a lo largo del fuste, debido a la forma geométrica de las coníferas, esta información habitualmente no es registrada en los inventarios forestales. Sugerimos a los investigadores emplear el método de ajuste 2SLS para obtener resultados confiables que puedan aplicarse a la planificación y gestión de bosques.

CONCLUSIONES

En este trabajo se encontró que los modelos de estimación de volumen sin corteza para *Eucalyptus grandis* están influenciados por las características agroclimáticas específicas de las zonas analizadas.

Los estimadores encontrados y el análisis de supuestos muestran que la naturaleza de las variables observadas permite aplicar una metodología no tradicional en el área forestal con buenos resultados. El ajuste de modelos en forma simultánea indicando variables instrumentales logró estimar el *vtsc* de forma sencilla a partir del *vtcc* corrigiendo la inconsistencia en los estimadores obtenidos al aplicar metodologías convencionales.

Sería fructífero poder profundizar estos estudios y generalizar los resultados a otras condiciones y especies.

BIBLIOGRAFÍA

BONYAD, A.E.; SIMA, A.; BAKHSHANDEH, A.; DADRAS, H. 2012. Evaluation of non-destructive Meyer method for determination of bark volume of beech (*Fagus orientalis Lipsky*) in different geographical aspects. *Caspian J. Env. Sci* 10 (1):67-73.

BORDERS, B.E. 1989. Systems of equations in forest stand modeling. *Forest Science*, 35(2): 548-556.

- BRAVO, F.; ÁLVAREZ, J. G.; GONZÁLEZ, M.D.; RÍO, M.; BARRIO, J.A.; BONET LLEDOS, A.; BRAVO OVIEDO, J.; VÁZQUEZ PIQUÉ. 2011. Growth and yield models in Spain: historical overview, contemporary examples and perspectives. *Forest Systems*, 20 (2): 315-328.
- CELLINI, J.; GALARZA M., BURNS, S.L.; MARTINEZ-PASTUR, G.J. y LENCINAS, M.V. 2012. Equations of bark thickness and volume profiles at different heights with easy-measurement variables. *Forest Systems* 21(1): 23-30.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. 1983. *Timber management: a qualitative approach*. Ed. John Wiley & Sons. 333 p.
- DOLPH, K.L. 1989. Nonlinear equations for predicting diameter inside bark at breast height for young-growth red fir in California and southern Oregon. USDA For. Serv., Pac. S.W. For. Range Exp. Stn., Berkeley, CA. Res. Pap. PSW-409. 4 p.
- FASSOLA, H.E.; CRECHI, E.H.; KELLER, A.E.; BARTH, S.R.; FERNANDEZ, T.E. 2007. Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado. PAN 571 Región Mesopotámica, *Pinus elliotii* y *Eucalyptus grandis*, Parcial para *Pinus taeda*. Informe técnico N.º 61. INTA EEA Montecarlo. 103 p.
- HAUSMAN, J. 1978. Specification Test in Econometrics. *Econometrica*, 46, 1251:1272.
- HENNINGSEN, A.; HAMANN, J.D. 2007. Systemfit: A package for estimating systems of simultaneous equations in R. *Journal of Statistical Software*, 23(4), 1-40.
- LI, R.; WEISKITTEL, A.R. 2011. Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. *European Journal of Forest Research*, 130(2): 219-233.
- MEYER, H.A. 1946. Bark volume determination in trees. *Journal of Forestry*. 44: 1067-1070
- PAPADAKIS, J. 1974 *Ecología. Posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. Fascículo 3. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Ed. ACME. 86 p.
- PINHEIRO, J.; BATES, D; DEBROY, S.; SARKAR, D.2011. The R Development Core Team. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-102.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM R. 2014: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- RUCHA, A.; SANTOS, A.; CAMPOS, J.; ANJOS, O.; TAVARES, M. 2011. Two methods for tree volume estimation of *Acacia melanoxylon* in Portugal. *Floresta* 41(1): 169-178
- SKOVSGAARD, J.P.; VANCLAY, J.K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1): 13-31.
- VANCLAY, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. *School of Environmental Science and Management Papers* 537 p.
- ZELLNER, A. 1962 An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, N.º 298, pp. 348-368.

Producción de plantines de petunia (*Petunia híbrida*) en sistema flotante

BARBARO, L.A.¹; DELUCCHI, G.²; KARLANIAN, M.A.³

RESUMEN

El sistema flotante es un tipo de producción hidropónica de plantines muy utilizado en el sector tabacalero argentino, pero en el sector florícola es nuevo y no está muy estudiado y difundido. Este sistema permite reducir la mano de obra y el uso de agua con respecto a otros sistemas de cultivo. Por otra parte, las plantas de petunia (*Petunia hybrida*) son muy cultivadas y requieren plantines de calidad. Por lo tanto, evaluar el sistema flotante con esta especie y lograr un plantín adecuado constituye un aporte valioso para el sector. El objetivo del presente trabajo fue producir plantines de petunia en sistema flotante como alternativa al sistema convencional. Se realizaron dos ensayos, en uno se comparó el sistema flotante frente al convencional con tres dosis de fertilizante (19-19-19): 71,5; 31,5; 59,4 mg L⁻¹ de N-P-K, 143; 62,9; 118,7 mg L⁻¹ de N-P-K y 286; 125,8; 237,4 mg L⁻¹ de N-P-K, y en otro se compararon diferentes tipos y volúmenes de bandejas de siembra: 228 celdas de 10 cm³, 216 celdas de 15 cm³, 288 celdas de 10 cm³ y 288 celdas de 17cm³. Al finalizar ambos ensayos se midió por separado la masa seca de la parte aérea, radicular y total. Como resultado, se observó que los plantines obtenidos en el sistema flotante lograron mejor desarrollo que en el sistema convencional. Los plantines lograron un mayor desarrollo fertilizados con 143; 62,9; 118,7 mg L⁻¹ ppm de N-P-K. El tamaño adecuado de bandeja fue de 228 celdas de 10 cm³. En este trabajo se logró obtener el manejo apropiado para producir plantines de petunia en sistema flotante.

Palabras clave: hidroponía, cultivo sin suelo, floricultura.

ABSTRACT

*The floating system is a type of hydroponic seedling production system widely used in Argentina's tobacco industry, but this system is new and it has not been very studied and disseminated in the flower industry. This system reduces the hand labor and the water used compared to other cropping systems. On the other hand, the plants of petunia (*Petunia hybrida*) are very cultivated and require of quality seedlings. Therefore, to evaluate the floating system with this species and to achieve adequate seedlings is a valuable contribution to the sector. The aim of this study was to produce seedlings of petunia in a floating system as an alternative to the conventional system. Two trials were conducted, one compared the floating system vs. the conventional with three doses of fertilizer (19-19-19): 71,5; 31,5; 59,4 mg L⁻¹ of N-P-K, 143; 62,9; 118,7mg L⁻¹ of N-P-K and 286; 125,8; 237,4 mg L⁻¹ of N-P-K; and in the other were compared different types and volumes of seed trays: 228 cells of 10 cm³, 216 cells of 15 cm³, 288 cells of 10 cm³ y 288 cells of 17cm³. When both of these essays were finished, the dry mass of aerial part, root and total dry mass were separately measured. As a result, it was*

¹Instituto de Floricultura. Centro Nacional de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Correo electrónico: barbaro.lorena@inta.gob.ar

²Universidad Católica Argentina – Facultad de Ciencias Agrarias.

³Instituto de Floricultura. Centro Nacional de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

observed that the seedlings obtained in the floating system achieved better development than in the conventional system. The seedlings fertilized with 143; 62,9; 118,7 mg L⁻¹ ppm of N-P-K achieved greater development. The appropriate size of the seed tray was 228 cells of 10 cm³. In this work was possible to obtain the proper management to produce petunia seedlings in floating system.

Keyword: hydroponics, soilless, floriculture.

INTRODUCCIÓN

Un rubro importante en el sector florícola es la producción de plantines, ya que de este depende la producción de plantas en maceta. En la producción de plantas en maceta la especie floral más cultivada es la petunia (*Petunia híbrida*) seguida por alegría del hogar (*Impatiens walleriana*), begonia (*Begonia* sp.), salvia (*Salvia splendens*), copete (*Tagete* sp.) y clavelina (*Dianthus chinensis*) (Hamrick, 2005). Los plantines de estas especies son producidos en forma convencional, cuyo sistema consta de realizar la siembra en bandejas multiceldas cargadas con un sustrato para siembra. Estas bandejas se colocan sobre mesadas, luego se riegan y fertilizan en forma manual o mecánica según la tecnología empleada. En general, las bandejas que más se utilizan son de 128, 288 y 338 celdas según la especie (Styer y Koranski, 1997).

La producción de plantines en forma convencional no siempre es eficiente, y en muchos casos se obtienen plantines desuniformes y de reducido desarrollo aéreo y radical. Esto se observa principalmente en establecimientos que no cuentan con equipamientos adecuados, por ejemplo, cuando el riego y la fertilización se realizan en forma manual. Este manejo podría causar que los plantines reciban exceso o déficit hídrico o nutricional (Lardizabál, 2007).

Otra técnica de producción de plantines es la del sistema flotante o bandejas flotantes, el cual es un método hidropónico sencillo y confiable; requiere de poca mano de obra, es de fácil manejo, cómodo que permite obtener plantas uniformes y de calidad (Biaggi *et al.*, 2003). Consiste en la utilización de bandejas de poliestireno expandido rellenas con sustratos, las cuales flotan sobre una pileta con la solución nutritiva desde la siembra hasta el trasplante (Barbaro *et al.*, 2011).

Esta técnica fue introducida en el sector tabacalero en la producción de plantines de tabaco en países como Estados Unidos, Brasil, España, Italia, Chile y Argentina (Biaggi *et al.*, 2003; Carrasco y Izquierdo, 2005; Frantz y Welbaum, 1998; Sandri y Sandri, 1996). Actualmente, también es utilizada para la producción de plantines hortícolas como tomate, pimiento (Verdial *et al.*, 1998; Verdial *et al.*, 1999) y principalmente para hortalizas de hojas (D'Anna *et al.*, 2003; Frantz *et al.*, 1998). Este sistema también fue evaluado con algunas especies ornamentales como lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) (Barbaro *et al.*, 2009), iris (*Iris hollandica*) (Niedziela *et al.*, 2005), liatris (*Liatris spicata* L.) y

gladiolo (*Gladiolus hybridus* Hort.) (Zanin *et al.*, 2003), con buenos resultados. Pero aún falta evaluarlo con otras especies florales ya que la información es escasa con respecto a la obtenida para la producción de plantines de tabaco y especies hortícolas.

Al optar por un sistema de producción también se debería conocer el tipo de bandeja adecuada y la dosis de fertilización óptima para el desarrollo de los plantines. En este sentido, es importante la correcta elección del tamaño de celda de las bandejas ya que existe una relación directa entre este y el tamaño del plantín (Leskovar, 2001). Además, el desarrollo del sistema radical y la partición de fotoasimilados entre distintas partes de la planta puede ser diferente de acuerdo al grado de restricción en el ambiente radical (Xu y Kafafi, 2001). En cuanto a la fertilización, es importante usar la dosis adecuada evitando excesos y desperdicios, lo que conlleva a la contaminación del suelo y del agua.

El sistema flotante facilita las prácticas de riego y de fertilización respecto al sistema convencional de siembra en bandejas multiceldas y en almácigos (Barbaro *et al.*, 2011). Por lo tanto, podría ser una opción interesante para los productores que no cuentan con la tecnología adecuada para obtener plantines uniformes y de calidad.

A partir de lo mencionado, el objetivo del trabajo fue evaluar el sistema flotante como alternativa al sistema convencional para la producción de plantines de petunia. Para abordar este objetivo se realizaron dos ensayos, cuyos objetivos específicos fueron por un lado, comparar el sistema flotante frente al sistema convencional con diferentes dosis de fertilizante y por el otro, definir el tipo de bandeja adecuada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Primer ensayo

En este ensayo se evaluó el desarrollo de los plantines de petunia producidos con el sistema flotante frente al sistema convencional con tres dosis de fertilización.

En ambos sistemas evaluados se utilizaron bandejas de polietileno expandido de 2,4 cm x 2,4 cm x 6,2 cm (alto) con 288 celdas de 17 cm³. Cada bandeja se llenó con una mezcla de 50% de sustrato comercial (Grownmix "tabaco S2" de Terrafertil) compuesto por turba *sphagnum*, ver-

miculita, perlita y compost de corteza de pino y 50% de perlita expandida. El sustrato formulado tuvo las siguientes características: pH 5,5; conductividad eléctrica de 0,3 dS m⁻¹; densidad aparente 120 kg m⁻³; capacidad de retención de agua de 36% y, porosidad de aireación de 58%.

La siembra se realizó con semillas de *Petunia hybrida Ultra Plum*, pelletizada (Syngenta Flowers), con un poder germinativo de 97%.

Las bandejas del sistema flotante se pusieron a flotar en una batea con agua de ósmosis inversa sobre una mesada y las del sistema convencional se colocaron directamente sobre la mesada. Ambos sistemas se instalaron en un mismo sector bajo un invernáculo. El sistema convencional se regó con agua de ósmosis inversa con regadera.

En ambos sistemas, la fertilización se realizó a los 10 días de la germinación de las semillas, con un fertilizante soluble (Haifa Poly-Feed®) 19-19-19 (N-P₂O₅-K₂O). Para el sistema flotante se emplearon tres soluciones nutritivas preparadas con las siguientes dosis: 0,37g L⁻¹ (baja: 71,5; 31,5; 59,4 mg L⁻¹ de N-P-K), 0,75 L⁻¹ (media: 143; 62,9; 118,7 mg L⁻¹ de N-P-K) y 1,5 g L⁻¹ (alta: 286; 125,8; 237,4 mg L⁻¹ de N-P-K).

Para fertilizar los plantines del sistema convencional se tuvo en cuenta las etapas del ciclo del plantín: etapa 1: emergencia de la radícula; etapa 2: salida de la radícula hasta la expansión de los cotiledones; etapa 3: expansión de los cotiledones hasta el desarrollo del primer par de hojas verdaderas y etapa 4: aparición del primer par de hojas verdaderas hasta el trasplante. Se preparó un litro de solución con la dosis correspondiente y agua de ósmosis inversa por cada bandeja y se regó con regadera. Según cada etapa, las dosis de fertilización evaluadas fueron: dosis baja: etapa 1: 25; 11; 20,7 mg L⁻¹ de N-P-K una vez/semana; etapa 2: 25; 11; 20,7 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana; etapa 3: 50; 22; 41,5 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana; etapa 4: 100; 44; 83 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana. Dosis media: etapa 1: 50; 22; 41,5 mg L⁻¹ de N-P-K una vez/semana; etapa 2: 50; 22; 41,5 mg L⁻¹ de N-P-K 2 veces/semana; etapa 3: 100; 33; 62,3 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana; etapa 4: 150; 66; 124,5 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana. Dosis alta: etapa 1: 100; 44; 83 mg L⁻¹ de N-P-K una vez/semana; etapa 2: 75; 33; 62,3 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana; etapa 3: 150; 66; 124,5 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana; etapa 4: 200; 88; 166 mg L⁻¹ de N-P-K dos veces/semana. La dosis media fue la recomendada por Styer y Koranski (1997).

Durante el ensayo se midió semanalmente la temperatura del sustrato y del ambiente. Al finalizarlo se midió, a 10 plantines al azar por repetición, la materia seca de la parte aérea y radical (secado en estufa a 60 °C hasta peso constante) expresado en unidades de masa. El ensayo inició el 15/06/2012 y finalizó el 16/08/2012 cuando los plantines tenían 4 a 5 pares de hojas verdaderas.

Las temperaturas mínimas y máximas en el invernáculo durante los meses en que se realizó el ensayo fueron: en junio 3 °C y 40 °C; en julio 3 °C y 38 °C; en agosto 8 °C y 42 °C.

Segundo ensayo

En este experimento se evaluaron diferentes tipos de bandejas de siembra para producir plantines de petunia con el sistema flotante.

Este consistió de los siguientes tratamientos: 1) bandeja de poliestireno expandido de 2,3 cm x 2,3 cm x 3,4 cm (alto), con 228 celdas de 10 cm³; 2) bandeja de poliestireno expandido de 2,5 cm x 2,3 cm x 5,5 cm (alto), con 216 celdas de 15 cm³; 3) bandeja de poliestireno expandido de 1,7 cm x 1,7 cm x 5,6 cm (alto), con 288 celdas de 10 cm³; 4) bandeja de poliestireno expandido de 2,4 cm x 2,4 cm x 6,2 cm (alto), con 288 celdas de 17 cm³.

Cada bandeja se llenó con el mismo sustrato utilizado en el primer ensayo y se sembró con semillas de *Petunia hybrida Ultra Plum*, pelletizada (Syngenta Flowers). Las bandejas se pusieron a flotar en una batea con agua de ósmosis inversa sobre una mesada bajo un invernáculo. La fertilización se realizó con la dosis que dio mejor resultado en el primer ensayo.

Al finalizar el ensayo se midió, a 10 plantines al azar por repetición, la materia seca de la parte aérea y radical (secado en estufa a 60 °C hasta peso constante) expresado en unidades de masa. El ensayo inició el 22/08/2012 y finalizó el 11/10/2012 cuando los plantines tenían 4 a 5 pares de hojas verdaderas.

Las temperaturas mínimas y máximas en el invernáculo durante los meses en que se realizaron los ensayos fueron: en agosto 8 °C y 42 °C; en septiembre 8 °C, y 45 °C; y en octubre 10 °C y 43 °C.

Análisis estadístico

En el primer ensayo se evaluaron dos sistemas de producción (flotante y convencional) y tres dosis de fertilización (alta, media y baja) en un arreglo factorial (2x3). Cada sistema tenía tres repeticiones por cada dosis de fertilización.

En el segundo ensayo se evaluaron cuatro tratamientos (diferentes tipos de bandejas de polietileno expandido) con tres repeticiones cada uno.

La unidad experimental en ambos ensayos fue de una bandeja de polietileno expandido y el diseño experimental fue completamente aleatorizado.

Con las variables medidas en ambos ensayos se realizaron análisis de varianza y Test de Tukey para comparación de medias, gráficos de líneas con los valores de temperatura y de barras 100% apiladas con los valores de masa seca. El software estadístico utilizado fue el programa InfoStat versión 2009.

RESULTADOS

Primer ensayo

Los plantines de petunia desarrollados en el sistema flotante con las tres dosis de fertilización tuvieron mayor masa seca aérea diferenciándose significativamente (p<0,05) de

los tratamientos en sistema convencional (figura 1). No hubo diferencias ($p < 0,05$) entre los tratamientos en la variable masa seca radical (figura 1). En cuanto a la masa seca total, los plantines desarrollados en el sistema flotante con la dosis alta alcanzaron el mayor valor, y se diferenciaron con los plantines desarrollados en sistema convencional con la dosis baja; entre los restantes tratamientos no hubo diferencias ($p < 0,05$) (figura 1).

Los plantines de todos los tratamientos alcanzaron 4-5 hojas verdaderas al finalizar el ensayo, pero las hojas eran de mayor tamaño en los tratamientos del sistema flotante, esto se confirma por la mayor masa seca aérea que presentaron.

Las temperaturas registradas en el sustrato del sistema convencional fueron superiores y se diferenciaron significativamente ($p < 0,05$) de las temperaturas registradas en el sustrato y solución nutritiva del sistema flotante durante

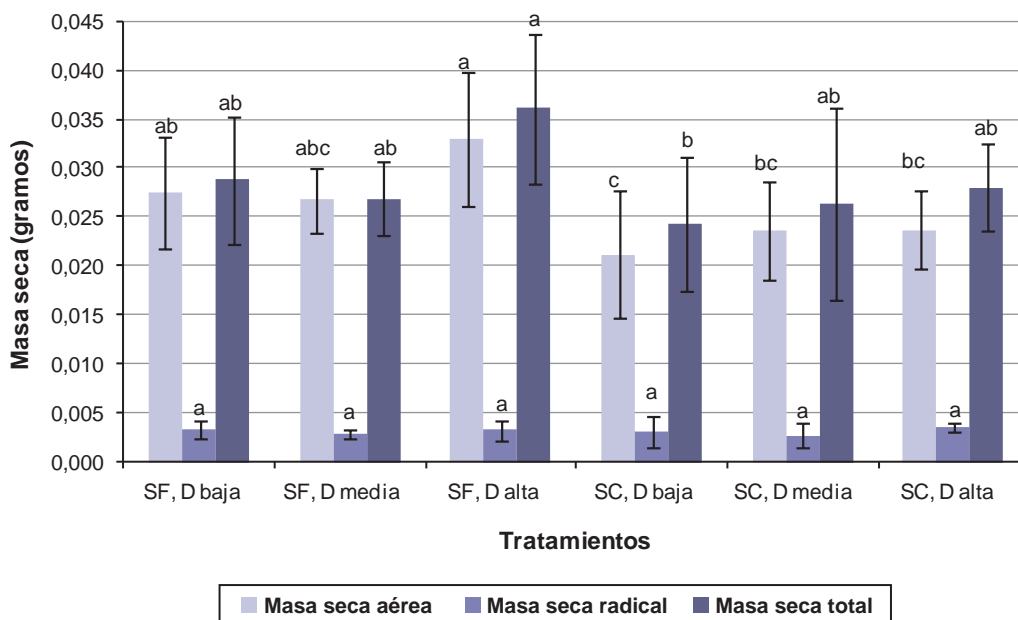


Figura 1. Masa seca aérea, radical y total de los plantines de petunia producidos en sistema flotante y convencional con tres dosis de fertilización. SF: Sistema flotante, SC: Sistema convencional, D: Dosis. Letras distintas entre barras de un mismo color indican diferencias significativas para la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Barras verticales en cada punto indican intervalo de confianza de 95%.

Figura elaborada para la presente edición.

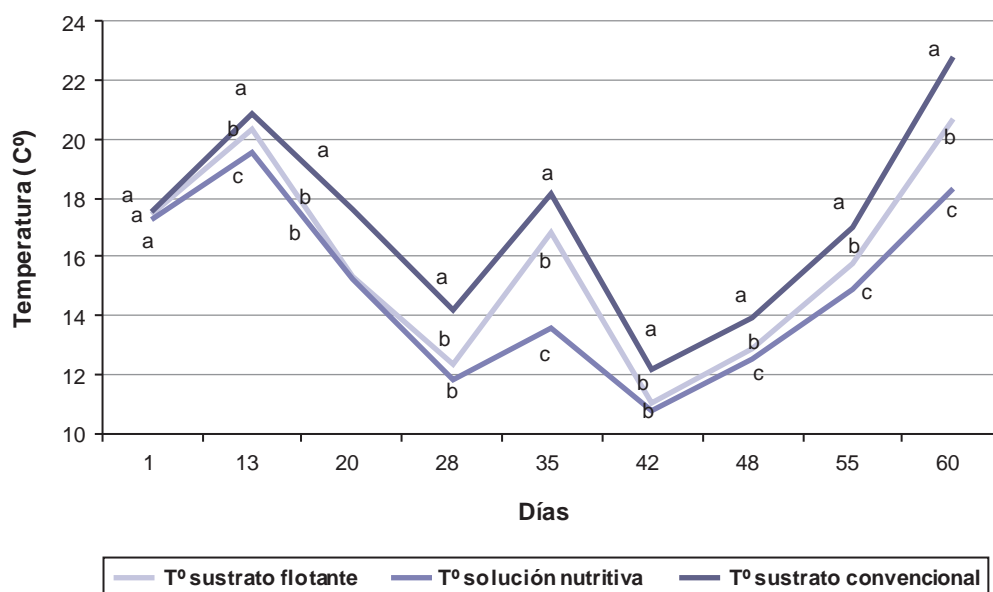


Figura 2. Temperatura promedio del sustrato de cada sistema y de la solución nutritiva del sistema flotante. Letras distintas entre líneas de distinto color en un mismo punto indican diferencias significativas para la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Figura elaborada para la presente edición.

todo el ensayo, excepto el primer día, momento en que se instaló el ensayo (figura 2).

Segundo ensayo

Los plantines de petunia producidos en la bandeja de 216 celdas de 15 cm³ tuvieron menor masa seca aérea y total, diferenciándose con los restantes tratamientos ($p < 0,05$). La masa seca radical de los plantines producidos en la bandeja de 228 celdas de 10 cm³ fue mayor con respecto a los demás tratamientos. La bandeja de 228 celdas de 10 cm³ se destacó por lograr plantines de petunia con mayor masa seca aérea, radical y total en valores absolutos (figura 3).

DISCUSIÓN

Evaluación del sistema flotante frente al convencional con tres dosis de fertilización

En ensayos realizados por Fernandes *et al.* (2004) con albacá, Enciso Garay *et al.* (2015) con tomate y Barbaro *et al.* (2009) con *lisianthus* también se logró una mayor masa seca aérea de los plantines desarrollados con el sistema flotante, superando a los desarrollados con el sistema convencional. Este resultado podría ser atribuido a que el sistema flotante tiene como beneficio la rápida y constante disponibilidad de agua y nutrientes que ascienden por capilaridad a través de los orificios de las bandejas de polietileno expandido de manera uniforme. En cambio, el sistema convencional es desfavorecido con respecto al sistema flotante debido al lavado de los nutrientes por ac-

ción del riego (Sao José, 1994). Posiblemente para lograr plantines similares a los obtenidos en el sistema flotante la dosis de fertilización en el sistema convencional deba ser más alta que la mayor dosis evaluada.

Similares resultados se obtuvieron en un ensayo con petunia y begonia en un sistema de subirrigación, donde al evaluar diferentes dosis de fertilización las plantas de petunia tuvieron un mayor desarrollo con dosis más altas (350, 75, 290 mg L⁻¹ de N-P-K respectivamente) que las requeridas por las begonias (255, 55, 210 mg L⁻¹ de N-P-K respectivamente) que también obtuvieron mayor desarrollo (James y Van Iersel, 2001). En cambio, Chaveza *et al.* (2008) obtuvieron resultados que mostraron que fertilizar con dosis altas de nitrógeno (400 mg L⁻¹) disminuía la masa seca de las plantas de petunia en todos los sustratos utilizados.

La bandeja de polietileno expandido ejerce un efecto amortiguante logrando mantener la temperatura del agua y el sustrato del sistema flotante menor a la del ambiente (Fortnum *et al.*, 2000; Barbaro *et al.*, 2009). Esto permite prevenir o disminuir los daños causados por diversas enfermedades. En este sentido, Fortnum *et al.* (2000) demostraron que el efecto de la enfermedad causada por *Pythium myriotylum* en plantines de tabaco se correlacionó con la temperatura del agua del sistema flotante ($R^2=0,99$); al mantener el agua a 15, 20, 25 y 30 °C; el nivel más bajo de necrosis radical resultó a 15 °C. Además, existen especies sensibles a las altas temperaturas que podrían ser producidas en sistema flotante para comprobar si se obtienen plantines de calidad, como por ejemplo el *lisianthus* o el *delphinium*, ya que al exponer los plántines a temperaturas superiores a 25 °C se demostró

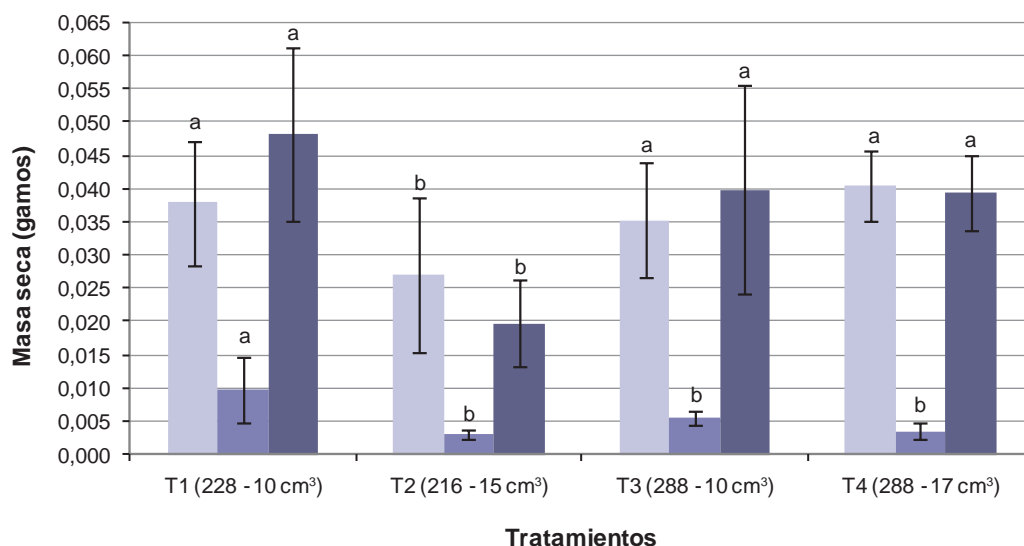


Figura 3. Masa seca aérea, radical y total de los plantines de petunia producidos en cada bandeja evaluada. T: tratamiento, entre paréntesis el primer número es la cantidad de celdas y el segundo el volumen por celda de la bandeja. Letras distintas entre barras de un mismo color indican diferencias significativas para la prueba de Tuckey ($p < 0,05$). Barras verticales en cada punto indican intervalo de confianza de 95%.

Figura elaborada para la presente edición.

que estimula la formación de roseta, el cual es un desorden fisiológico donde las plantas desarrollan hojas basales muy juntas y entrenudos cortos y se retrasa el desarrollo en altura del cultivo (Katsutani *et al.*, 2002; Ohkawa *et al.*, 1991).

Evaluación de diferentes bandejas de siembra en sistema flotante

La bandeja de 228 celdas de 10 cm³ cada una fue la de menor altura de celda y junto con la bandeja del tratamiento 3, la de menor volumen. Según Carrasco y Izquierdo (2005) las bandejas de mayor volumen por celda se emplean para plantines con un sistema radical abundante. En el caso de los plantines de petunia, el desarrollo de las raíces no es abundante por lo que las bandejas con menor volumen serían más adecuadas, tal como se destacó en el ensayo.

Según Styer y Koranski (1997) en el sistema convencional el tamaño más pequeño de celda es el más vulnerable a las fluctuaciones de humedad, nutrientes, oxígeno, pH y sales solubles del sustrato; en cambio, las celdas más grandes tienen mayor espacio aéreo, lo cual mejora el drenaje, la lixiviación de sales y la aireación, produciendo más raíces y pelos absorbentes. En el caso del sistema flotante, es posible que estas fluctuaciones fueran menos frecuentes ya que la presencia de agua y fertilizante era constante y homogénea en todas las celdas. Además, al utilizar un sustrato con una relación de poros con aire y agua adecuada para el sistema no hubo problemas por falta de aire. Esto permitió que las bandejas de celdas más pequeñas hayan sido más aptas que las de mayor tamaño.

Por otro lado, utilizar bandejas de celdas de menor volumen permite un menor requerimiento de sustrato, insumo que actualmente tiene un costo elevado. En este sentido, la bandeja de 228 celdas de 10 cm³ que obtuvo los mejores resultados requiere 2,3 litros de sustrato y las demás bandejas evaluadas entre 2,9 y 4,9 litros de sustrato.

CONCLUSIONES

El sistema flotante es un método de producción viable para el cultivo de plantines de petunia, logrando obtener plantines de mayor calidad que los desarrollados en el sistema convencional.

Es un sistema de producción simple y de baja inversión inicial que podría ser incorporado en sistemas productivos de pequeña escala, especialmente, aquellos alejados de las zonas tradicionales de producción de flores (Buenos Aires), que tienen una gran dificultad para conseguir plantines de calidad en el momento deseado.

BIBLIOGRAFÍA

BARBARO, L. A.; KARLANIAN, M.A.; MORISIGUE, D.E. 2009. El sistema flotante como alternativa para la producción de plantines de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum L.)* Agriscientia XXVI (2), 63-69.

BARBARO, L.A.; KARLANIAN, M.A.; MATA, D.A.; MORISIGUE, D.E. 2011. Producción de plantines florales en sistema flotante. Ediciones INTA. Buenos Aires. 16 p.

BIAGGI, M.C.; KRYVENKY, M., MAYOL, M.; SOSA, D.A.; VALEIRO, A. 2003. *Manual de producción de plantas de tabaco en bandejas flotantes, Proyecto Prozono: alternativas al bromuro de metilo*. Buenos Aires, AR, Ediciones INTA. 139 p.

CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J. 2005. *Almaciguera flotante para la producción de almácigos hortícolas*. Manual Técnico. Universidad de Talca. FAO. Chile. 37 p.

CHAVEZA, W.; DI BENEDETTO, A., LAVADO, R. 2008. Alternative soilless media for growing *Petunia x hybrida* and *Impatiens wallerana*: Physical behavior, effect of fertilization and nitrate losses. *Bioresource Technology* (99), 8082-8087.

D'ANNA, F.; MICELI, A.; VETRANO, F. 2003. First results of floating system cultivation of *Eruca sativa L.* *Acta Horticulturae* 609, 361-364.

ENCISO GARAY, C.R.; BOGARIN GONZÁLEZ, N.B.; OVIEDO SANTACRUZ, V.R. 2015. Producción de mudas de tomate en el sistema flotante. *Investigación Agraria* 16 (2): 129-135.

FERNANDES, P.C.; FACANALI, R.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; MARQUES, M.O.M. 2004. Cultivo de manjeriço em hidroponia em diferentes substratos sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 22 (2): 260-264.

FORTNUM, B.A.; RIDEOUT, J.; MARTIN, S.B.; GOODEN, D. 2000. Nutrient solution temperature affects *Pythium* root rot of tobacco in greenhouse float systems. *Plant Dis.* 84: 289-294.

FRANTZ, J.M.; WELBAUM, G.E. 1998. Producing horticultural crops using hydroponic tobacco transplant system. *Hortechology* 8 (3), 392-395.

FRANTZ, J.M.; WELBAUM, G.E.; SHEN, Z.; MORSE, R. 1998. Comparison of cabbage seedling growth in four transplanted production system. *Hortechology* 33 (6), 977-979.

HAMRICK, D. 2005. Ornamental bedding plant industry and plug production. En: MCDONALD, M.B.; KWONG, F.Y. (Eds.) *Flower seeds: biology and technology*. Cambridge, EE.UU. pp. 27-38.

JAMES, E.C.; VAN IERSEL, M.W. 2001. Fertilizer Concentration Affects Growth and Flowering of Subirrigated *Petunias* and *Begonias*. *Hortscience* 36(1), 40-44.

KATSUTANI, N.; KAJIHARA, S.; HARA, H. 2002. Environmental factors affecting rosette formation of *Elatum* hybrids of *Delphinium*. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 71 (2), 272-276.

LARDIZABÁL, R. 2007. *Manual de producción de plántulas en bandejas*. MCA-Honduras/EDA. 20 p.

LESKOVAR, D.I. 2001. *Producción y ecofisiología del transplante hortícola*. Texas A y University. 24 p.

NIEDZIELA, C.A.; MULLINS, D.C.; REED, T.D.; SWALLOW, W.H.; EVERLY, E. 2005. Comparison of four production system for Dutch Iris in a tobacco transplanted greenhouse. *Hortechology* 15 (1), 173-176.

OHKAWA, K.; KANO A.; KANEMATSU K.; KORENAGA M. 1991. Effects of air temperature and time on rosette formation in seedlings of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Scientia horticulturae* 48 (1), 171-176.

STYER, R.C.; KORANSKI, D.S. 1997. *Plug y Transplant Production*. Ediciones Ball. Illinois. 1 ed. 215 p.

SANDRI, G.; SANDRI, A. 1996. Il float system per la produzione di piantine di tabacco. *L'Informatore Agrario* 52 (3), 63-68.

SÃO JOSÉ, A.R. 1994. A cultura do maracujá: produção e mercado. Vitória da Conquista: DFZ/UESB. 255 p.

VERDIAL, M.F.; IWATA, A.Y.; DE LIMA, M.S.; TESSARIOLI NETO, J. 1998. Influência do sistema floating no condicionamento mudas de pimentão (*Capsicum annum L.*). *Scientia Agricola* 55, 25-28.

VERDIAL, M.F.; IWATA, A.Y.; DE LIMA, M.S.; TESSARIOLI NETO, J.; TAVARES YM. 1999. Influência do sistema de "floating"

no condicionamento do crescimento mudas de tomateiro (*Lycopersicon esculentum Mill.*). *Revista de Agricultura* 74, 107-115.

XU, G.; KAFKAFI, U. 2001. Nutrient supply and container size effects on flowering, fruiting, assimilate allocation and water relation of sweet pepper. *Acta Horticulturae* 554, 113-120.

ZANIN, G.; SAMBO, P.; GIANQUINTO, G.; PIMPINI, F. 2003. First attempt to force *Gladiolus* and *Liatrix* in a Floating System. *Acta Horticulturae* 614, 227-234.

Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi

BASANTA, M.¹; ALVAREZ, C.²

RESUMEN

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en la región central de Córdoba es la disponibilidad hídrica, por lo que toda práctica de manejo que favorezca la captación, almacenamiento y conservación del agua en el suelo redundará en productividades y rendimientos más elevados de los cultivos. En un ensayo de larga duración sobre un suelo Haplustol del centro de la provincia de Córdoba (EEA INTA Manfredi) se evaluó el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo sobre el rendimiento de soja y maíz, el agua útil inicial, el aporte de residuos y el stock de carbono. El rendimiento de soja para el periodo 1997 a 2014 fue en siembra directa en la rotación soja-maíz (SM-SD) y el menor fue en labranza reducida en monocultivo (SS-LR) con diferencias significativas entre tratamientos. El rendimiento de maíz fue significativamente más elevado ($p < 0,05$) en siembra directa (SD) que en labranza reducida (LR) y en siembra directa con cultivo de cobertura (SDcc), no difiriendo estos dos últimos sistemas entre sí. El agua útil inicial a la siembra de soja fue significativamente mayor en los tratamientos de siembra directa con gramíneas en la secuencia (SM-SDcc, SM-SD y SS-SDcc). El stock de carbono también mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayor en siembra directa en la secuencia SM (SM-SD y SM-SDcc). Estos resultados permitieron comprobar que en la región central de Córdoba la siembra directa es un sistema de manejo que contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y el stock de carbono del suelo, lo cual se asocia con la mejora en la condición hídrica del suelo.

Palabras clave: siembra directa, rendimiento, soja, maíz, stock C, agua útil.

ABSTRACT

The main environmental limiting factor for rainfed agriculture in the central region of Córdoba is water availability, so that any management practice promoting soil water captation, storage and conservation will result in higher crop productivity and yields of the soil-crop system. A long term field trial on a Haplustoll soil in the center of Córdoba province was sampled to evaluate the effect of different tillage and crop sequence systems on soybean and maize yields, initial available soil water, crop residues and soil carbon stocks. Mean soybean yields for the 1997-2014 period was significantly higher under no-tillage with soybean-corn sequence, and lower under monocropping and reduced tillage. Maize yield was significantly higher under no-tillage (SD) than

¹INTA EEA Rafaela, Ruta 34 Km 227 (2300), Rafaela, Santa Fe, Argentina. basanta.maria@inta.gov.ar

²INTA EEA Manfredi, Ruta Nac. N.º 9 km 636 (5988), Manfredi, Córdoba, Argentina. alvarez.carolina@inta.gov.ar

under reduced tillage (LR) and under no-tillage with cover crop (SDcc), with no differences between the last. Under soybean initial soil available water was significantly higher in no-tillage treatments including grasses in crop sequences (SM-SDcc, SM-SD and SS-SDcc). The carbon stock was significantly higher under no-tillage and the SM sequence (SM-SD and SM-SDcc). Results show that in the central region of Córdoba no-tillage contributes to increase crop yields and soil carbon stock, which is associated to a better soil water condition.

Keywords: no tillage, yield, soybean, maize, soil C stock, available soil water.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas productivos de la región central de Córdoba (RCC) presentan una gran difusión de la agricultura continua (AC) bajo siembra directa (SD), con predominio de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] en monocultivo, en doble cultivo con trigo (*Triticum aestivum* L.) o en rotación con gramíneas como maíz (*Zea mays* L.) o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench].

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en la RCC es la disponibilidad hídrica debido a la limitada cantidad de precipitaciones anuales y al régimen de tipo monzónico que concentra la mayor cantidad de lluvias en el periodo octubre-marzo. La oferta de agua para los cultivos estivales de secano es incierta en términos de oportunidad, cantidad o frecuencia, de manera particular hacia el comienzo del ciclo (De la Casa y Ovando, 2006). La fecha de inicio del periodo lluvioso es muy errática, puede ocurrir entre los meses de septiembre y diciembre, lo cual condiciona la fecha de siembra de los cultivos. A pesar de que el 80% de las precipitaciones se concentran en el periodo primavero-estival, la elevada demanda atmosférica determina que dicho periodo sea el de mayor déficit hídrico, promediando unos 252 mm de déficit (Casagrande y Vergara, 1996). En las regiones semiáridas, los cultivos de secano están sujetos a condiciones de estrés hídrico en alguna etapa de su desarrollo, lo cual causa disminución del rendimiento o pérdida total del cultivo (Unger, 2002) por lo que el contenido de agua inicial del suelo se torna crítico para la producción de los cultivos (Hatfield *et al.*, 2001).

Toda práctica de manejo que favorezca la captación y conservación del agua en el suelo redundará en una mayor productividad primaria del sistema suelo-cultivo. En este sentido, la SD ha permitido la intensificación de los sistemas de cultivo en las regiones semiáridas debido a la mejora de la eficiencia en el uso del agua en comparación con la labranza convencional (Hatfield *et al.*, 2001). Lenssen *et al.* (2007) han observado que en SD los barbechos previos a la siembra del cultivo estival a menudo presentan mayor cantidad de agua en el suelo comparado con los sistemas convencionales, aun bajo condiciones de sequía.

Han sido extensamente documentados los beneficios de la SD sobre la captura de C en el suelo frente a la liberación de CO₂ hacia la atmósfera que ocurre en suelos laborados, debi-

do a la ruptura de los agregados y la oxidación de la materia orgánica (Balesdent *et al.*, 2000; Abril *et al.*, 2005). En general, los sistemas bajo SD presentan mayores contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) y mayor proporción de las fracciones jóvenes de COS que los sistemas con labranzas (Basanta *et al.*, 2010; Irizar *et al.*, 2013; Alvarez *et al.*, 2014).

Para contribuir a una mayor sustentabilidad de los sistemas de producción bajo SD algunos autores sugieren incluir gramíneas que aporten rastrojos voluminosos y de lenta degradación. Una opción es la inclusión de cereales de invierno como cultivos de cobertura (CC) los cuales representan un aporte de biomasa incrementando la captura de carbono en el suelo (Upendra *et al.*, 2005, 2007; Ghiotti y Basanta, 2008). Además, los CC invernales mejoran la eficiencia de uso del agua en los sistemas de agricultura continua, ya que reducen la duración de los barbechos en los cuales el agua del suelo está sujeta a pérdidas por drenaje (Salado-Navarro y Sinclair, 2009) y por evaporación (Salado-Navarro *et al.*, 2013). Sin embargo, el consumo de agua del CC puede reducir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Andriulo y Cordone 1998; Salas *et al.*, 2006; Caviglia *et al.*, 2012). El efecto del consumo de agua por parte del CC, respecto a una disminución efectiva el rendimiento del cultivo de renta, dependerá de las lluvias durante el barbecho posterior al secado del CC y de las lluvias durante el ciclo de crecimiento. Un CC sembrado a inicios de otoño llega a encañazón en agosto o septiembre, previo al comienzo de las lluvias de primavera. Por lo tanto, la interrupción del crecimiento del CC en ese estado fenológico permitiría la recarga del perfil hasta la siembra del cultivo siguiente (Basanta, 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo sobre el rendimiento de soja y maíz, el agua útil inicial, el aporte de residuos y el stock de carbono del suelo en un Haplustol del centro de la provincia de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se realizaron en un ensayo de larga duración iniciado en 1995 en INTA EEA Manfredi (31,5° LS, 63,5° LO). El suelo es un Haplustol éntico (serie Oncativo), profundo, bien drenado, con una capacidad de almacenamiento de agua disponible de 307 mm hasta los 200 cm de profundidad. El horizonte superficial es franco

limoso (arcilla 167 g kg⁻¹, limo 687 g kg⁻¹ y arena 146 g kg⁻¹) (Jarsun *et al.*, 1987). El promedio anual de lluvias es de 757 mm con el 80% concentrado en primavera-verano. La temperatura media anual es de 16,6 °C, la media del mes más frío es de 9,5 °C y la media del mes más cálido es de 23,4 °C.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial de tratamientos, con dos factores: secuencia de cultivos (Factor S) con dos niveles (SS: soja en monocultivo y SM: rotación soja-maíz) y sistemas de labranza (Factor L) con tres niveles (LR: labranza reducida, SD: siembra directa con barbecho químico y SDcc: siembra directa con cultivo de cobertura (CC), con tres repeticiones para SS y dos para SM. La combinación de ambos factores resulta en seis tratamientos: SS-LR, SS-SD, SS-SDcc; SM-LR, SM-SD y SM-SDcc. Las unidades experimentales tuvieron 110 m de largo y 35 m de ancho (3850 m²). El tratamiento LR constó de una rastra de disco como labor primaria y vibrocultivador previo a la siembra. En SD las malezas fueron controladas con herbicida durante el barbecho. En SDcc el cultivo de cobertura fue triticale (X Triticosecale), el cual se sembró después de soja (todos los años en SS-SDcc y año por medio en SM-SDcc) hasta 2010. A partir de 2011 se sembró también después de maíz en SM-SDcc. El crecimiento del CC se suprimió con aplicación de herbicida entre inicio y plena encañazón (Z3.0-Z3.5 de la escala Zadoks), lo que sucedió entre agosto y septiembre, dependiendo de la fecha de siembra y de las condiciones ambientales de cada año.

Los cultivos de soja y maíz se sembraron, dependiendo de la condición de humedad del suelo, entre octubre y diciembre. La siembra se realizó con sembradora Agrometal MXY con distancia entre surcos de 0,52 m. La densidad de siembra de la soja fue de 25 semillas m⁻¹ y del maíz 4 semillas m⁻¹. La fertilización con fósforo se manejó con criterio de reposición y mantenimiento, utilizando superfosfato triple o fosfato diamónico para mantener los niveles de fósforo en suelo por encima de 20 ppm (Rubio *et al.*, 2004). Para la fertilización nitrogenada en maíz se utilizó el método del balance en función de un rendimiento objetivo fijado anualmente (IPNI, 2015).

En el periodo 1997-2014 se midió anualmente por gravimetría el agua útil inicial (AUi) hasta 200 cm de profundidad (tomando dos muestras por parcela) previo a la siembra. Se evaluaron los rendimientos de maíz y soja, los cuales se expresaron en materia seca (0% de humedad). El aporte anual de carbono (C) al sistema se estimó considerando todos los aportes de residuos vegetales, es decir los rastrojos de soja y maíz y los restos del cultivo de cobertura. En maíz y soja la biomasa de rastrojo se estimó a partir del rendimiento y del índice de cosecha, 0,45 para maíz (Echarte y Andrade, 2003) y 0,40 para soja (Vega *et al.*, 2000) y el aporte de biomasa del triticale se midió anualmente. Se tuvo en cuenta también el C derivado de las raíces, considerando que el aporte de biomasa radical representa el 20% de la biomasa aérea. Se estimó el aporte anual de C considerando que este representa el 40% de la biomasa.

En 2008 se evaluó el stock de carbono orgánico del suelo (COS) hasta 30 cm de profundidad. Para ello se tomaron dos muestras compuestas por parcela a 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm de profundidad. La determinación de COS se realizó por combustión en un analizador elemental LECO (LECO Corporation, St. MI, EE.UU.). Previamente se realizó la descarbonación de las muestras que contenían C de carbonatos por el método de Skjemstad y Baldock (2008). La densidad aparente fue determinada con cilindros de 100 cm³ según por el método propuesto por Burke *et al.* (1986).

Para comparar los stocks de COS (Mg ha⁻¹) se consideró la misma masa de suelo en todos los tratamientos, calculando la masa equivalente según la metodología propuesta por Neill *et al.* (1997), que puede ser expresada matemáticamente según Sisti *et al.* (2004) (ecuación 1).

$$COS = \sum_{i=1}^{n-1} COS_{T1} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] COS_{Tn} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde, COS es el stock de carbono orgánico total (Mg ha⁻¹) en el suelo a una profundidad donde la masa de suelo sea la misma que aquella observada en el perfil utilizado como referencia, $\sum_{i=1}^{n-1} COS_{T1}$ es la suma de contenido de carbono orgánico total (Mg ha⁻¹) desde la capa 1 (superficial) hasta la capa "n-1" (penúltima) del perfil de suelo del tratamiento, $\sum_{i=1}^n M_{S1}$ es la suma de la masa del suelo (Mg ha⁻¹) desde la capa 1 (superficial) a la "n" (última capa) del perfil de suelo de referencia, $\sum_{i=1}^n M_{T1}$ es la suma de la masa de suelo (Mg ha⁻¹) en la capa 1 (superficial) a "n" (última capa) en el perfil de suelo del tratamiento, "M_{Tn}" es la masa de suelo de la última capa del perfil del tratamiento y "COS_{Tn}" es el contenido de COS de la última capa del perfil del tratamiento (Mg Mg⁻¹ suelo), y la concentración de carbono de la última capa del perfil de suelo del tratamiento.

Las variables Rdto y AUi fueron analizadas con ANVA usando un modelo mixto donde las secuencia de cultivo, los sistemas de labranzas y la interacción entre ambos fueron considerados efectos fijos y el factor año como efecto aleatorio. El stock de COS se analizó a través de ANVA utilizando un modelo de efectos fijos. En ambos modelos, se comprobaron los supuestos de normalidad, independencia de las observaciones y homogeneidad de varianzas para las distintas variables analizadas. Ante la existencia de diferencias significativas se aplicó el test de comparación de medias LSD de Fisher (P≤0,05) (Di Rienzo *et al.*, 2015). Además, para rendimiento se analizó la probabilidad empírica, es decir la probabilidad estadística asociada a cada sujeto individual, la cual mide las verdaderas posibilidades reales individuales, en comparación al resto de sujetos de la muestra (Di Rienzo *et al.*, 2015). Gráficamente se relacionan los valores observados de la variable Rdto (eje X) con la función de distribución empírica evaluada en cada uno de los puntos observados (eje Y).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos promedio de soja para el periodo 1997 a 2014 no mostraron interacción significativa de los factores secuencia y labranza para la variable rendimiento (figura 1). El mayor Rdto promedio fue en siembra directa en rotación (SM-SD) y el menor en labranza reducida en monocultivo (SS-LR); dentro de cada secuencia hubo un orden decreciente de Rdto: SD>SDcc>LR, aunque SM-SD y SM-SDcc no difirieron estadísticamente. En ambas secuencias se evidenció la disminución de Rdto en los tratamientos con CC (SDcc), en relación con su testigo sin CC (SD). El desvío estándar entre años fue de 750 kg (p -valor<0,05), el que es atribuible a la variabilidad ambiental de los 18 años de ensayo.

Observando la distribución empírica de los rendimientos de soja (figura 2 a y b) se puede ver que un rendimiento de 2800 kg ha⁻¹ se supera en SD (SD y SDcc) en 5 de

cada 10 años, mientras que en LR en 3 de cada 10 años. Analizando las secuencias de cultivo, un rendimiento de 2800 kg ha⁻¹ se supera en uno de cada cinco años en SM y en cuatro de cada cinco años en la secuencia SS. En la figura 3 se observan los rendimientos promedio del cultivo de maíz para el periodo 1997 a 2014. El Rdto según sistema de labranza presentó el siguiente orden decreciente: SD>SDcc=LR, que es en SD 27% superior que en el resto de los tratamientos. Nuevamente se observó que los beneficios de la siembra directa sobre la condición del suelo y la conservación del agua se traducen en rendimientos más altos. Analizando la distribución empírica del rendimiento de maíz (figura 4) se observa que un rendimiento de 7000 kg ha⁻¹ se supera en 5 de cada 10 años en SD mientras que en LR y SDcc en 3 de cada 10 años.

Ha sido ampliamente documentado que el almacenamiento de agua del suelo en regiones semiáridas se incre-

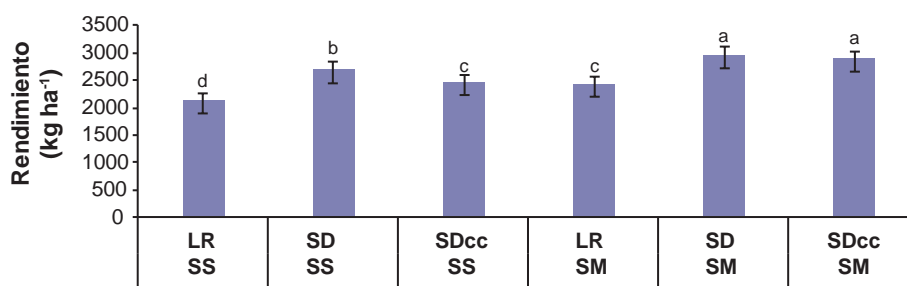


Figura 1. Rendimiento de soja (1997 a 2014). Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p \leq 0,05$). SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

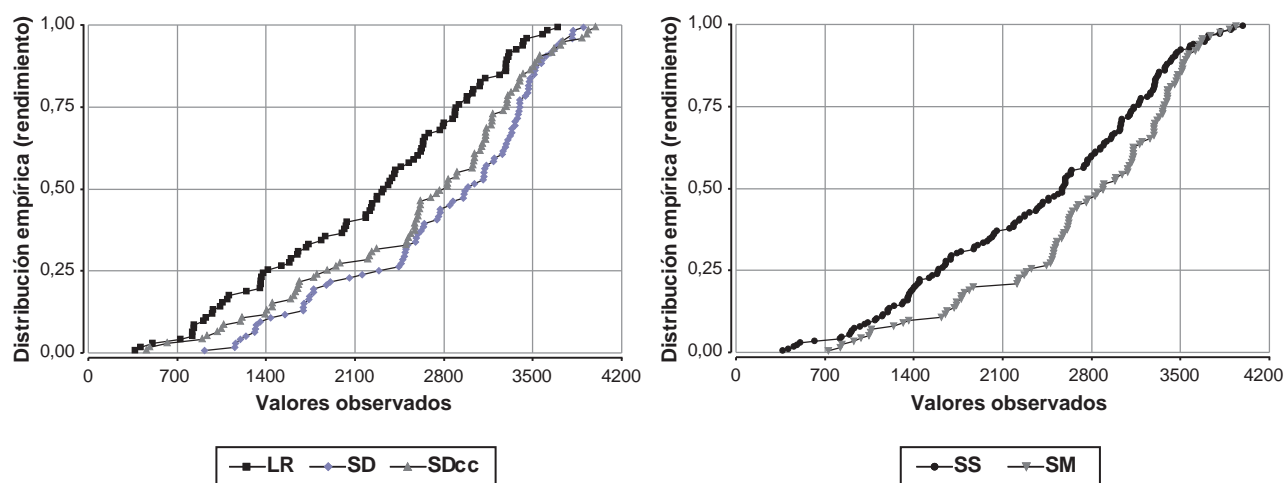


Figura 2. Distribución empírica de los rendimientos de soja (a) el factor labranza y (b) el factor secuencia. SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

menta con la cantidad de residuos mantenidos en superficie (Unger *et al.*, 1991). Evaluando el agua acumulada en el suelo (AUi) previo a la siembra del cultivo de soja (figura 5) y de maíz (figura 6) se observó que los sistemas bajo

SD resultaron ser más eficientes en el almacenamiento de agua en el suelo que el sistema con laboreo (LR). Además en soja, el AUi fue superior en la rotación soja-maíz (SM) respecto al monocultivo (SS). Esto se debe a que el rastreo de maíz, por su mayor volumen, mejor cobertura y mayor duración, es más eficiente en la captación y conservación el agua que el rastreo de soja. En SDcc en ambas secuencias el CC disminuyó el AUi afectando significativamente el rendimiento de soja en monocultivo (figura 1) y de maíz (figura 3). En el caso del maíz, además del efecto sobre el AUi, es posible que el rendimiento haya sido afectado por la inmovilización del nitrógeno en los residuos con alta relación C/N del triticale (Vigil y Kissel, 1991; Mary *et al.*, 1996).

Se encontró una relación lineal positiva entre el rendimiento de soja y el agua útil inicial (figura 7). Es interesante observar que los sistemas sin laboreo son los que presentan más agua útil a la siembra y eso se tradujo en mayores rendimientos. Así, dentro del monocultivo de soja, la siembra directa al conservar mejor el agua durante el barbecho permitió obtener mayores rendimientos que la labranza con rastra de discos (LR). Cuando se introdujo un cultivo de cobertura en SD entre soja y soja (SS-SDcc), ocurrió una disminución del agua útil a la siembra que redujo el rendimiento del cultivo de soja quedando en valores intermedios entre SD y LR. A su vez, en la rotación SM ocurrió algo similar si se compara SD con LR, aunque en este caso debido a que no hay cultivo de cobertura antes de la soja, los sistemas SD y SDcc no se diferenciaron.

En maíz (figura 8) el rendimiento aumentó de unos 5500 kg ha⁻¹ a más de 7000 kg ha⁻¹, como resultado de incrementos en AUi de 125 mm a 190 mm. Los rendimientos más altos se obtuvieron en SD como consecuencia de mayor AUi. El tratamiento con cultivo de cobertura previo al maíz (SDcc), presentó alta variabilidad en el AUi comportándose en algunos años como LR y en otros como SD.

Los valores anuales promedio de aportes de residuos y de C en las dos secuencias de cultivo o se incrementaron de LR a SD y la inclusión del CC en SD mejoró los niveles de aporte de C (tabla 1). El sistema con mayores aportes resultó ser la siembra directa en rotación SM con cultivo de cobertura (SS-SDcc), donde la biomasa del CC mejoró

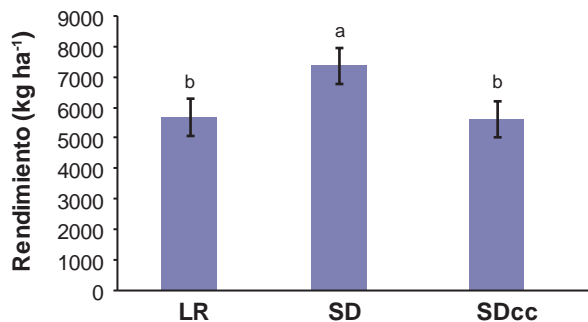


Figura 3. Rendimiento de maíz (1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas para sistemas de labranza (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

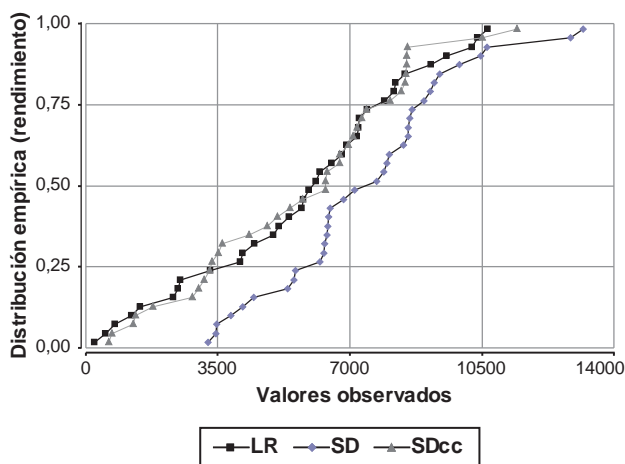


Figura 4. Distribución empírica de los rendimientos de maíz para el factor labranza. SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura; LR, labranza reducida.

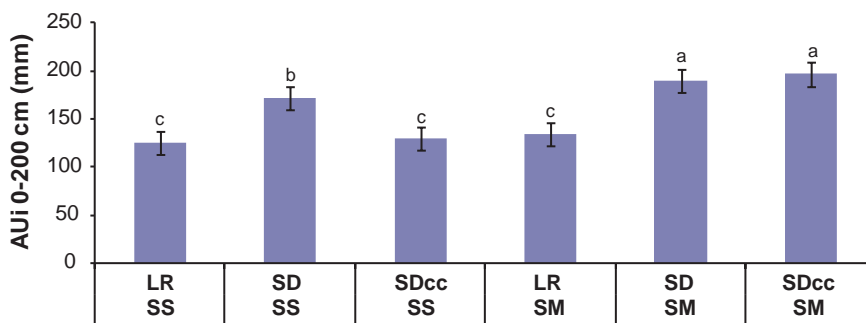


Figura 5. Agua útil inicial de soja (promedio periodo 1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

los aportes de C, aun con la disminución de la biomasa de rastrojo del maíz debido a los menores rendimientos en SDcc con respecto a SD (figura 3). En términos relativos, SM-SDcc aportó 1,4 veces más C que el sistema menos sustentable (SS-LR) y la inclusión del CC incrementó los

aportes de C con respecto a SD en 33% en SS y 21% en SM. En relación con el monocultivo de soja, Martínez *et al.* (2013) han constatado que la inclusión de una gramínea como CC mejora el balance de carbono del suelo incrementando la productividad y la sostenibilidad del sistema.

Los mayores aportes de residuos pueden resultar en mayores contenidos de carbono en el suelo. Como se observa en la tabla 2, los tratamientos de la secuencia SM en combinación con siembra directa (SM-SDcc y SM-SD) tuvieron los mayores stocks de COS, mientras que los tratamientos bajo LR (SM y SS) tuvieron los menores stocks de COS. Esto puede atribuirse al favorecimiento de la mineralización de la materia orgánica en los sistemas labrados, debido a mayor temperatura y menor protección física, provocando liberación de nutrientes y pérdidas de C como CO₂ (Abril *et al.*, 2005).

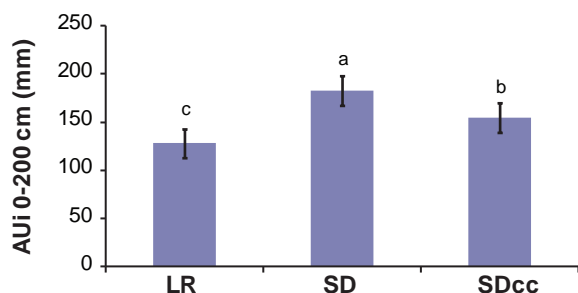


Figura 6. Agua útil inicial de maíz (promedio periodo 1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas para sistemas de labranza (LSD Fisher, $p \leq 0,05$). LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

CONCLUSIONES

El análisis de la información generada en esta experiencia de larga duración permite comprobar que la SD en la

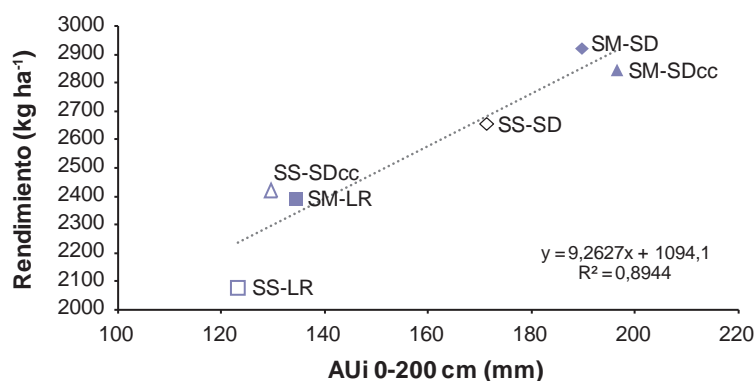


Figura 7. Rendimiento de soja en función del agua útil inicial (AUi) (1997-2014) para los tratamientos SS-SD (soja-soja en siembra directa); SS-SDcc (soja-soja en siembra directa con cultivo de cobertura), SS-LR (soja-soja en labranza reducida); SM-SD (soja-maíz en siembra directa); SM-SDcc (soja-maíz en siembra directa con cultivo de cobertura); SM-LR (soja-maíz en labranza reducida).

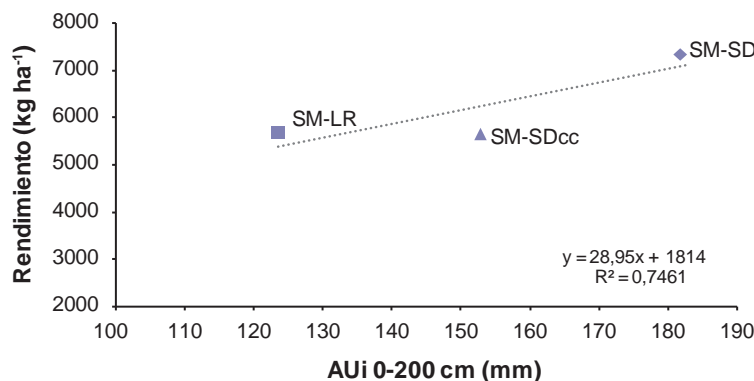


Figura 8. Rendimiento de maíz en función del agua útil inicial (AUi) (1997-2014) para los tratamientos SM-SD (soja-maíz en siembra directa); SM-SDcc (soja-maíz en siembra directa con cultivo de cobertura); SM-LR (soja-maíz en labranza reducida).

Secuencia	Labranza	Aporte de residuos (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Aporte de C (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Aporte relativo de C
SS	LR	4245	1698	100
	SD	5428	2171	128
	SDcc	7243	2897	171
SM	LR	6614	2645	156
	SD	8399	3359	198
	SDcc	10176	4070	240

Tabla 1. Aporte anual promedio de residuos y de carbono en los distintos sistemas de manejo (1997-2014).

Secuencia	Labranza	Stock COS 0-30 cm (Mg ha ⁻¹)	E.E.
SM	LR	36	b
	SD	41	a
	SDcc	42	a
SS	LR	36	b
	SD	37	b
	SDcc	39	ab
Secuencia			
SM		40	
SS		37	
Labranza			
	LR	36	
	SD	39	
	SDcc	41	
Valor p			
Secuencia x Labranza		(0.034) ^a	
Secuencia		(<0.001)	
Labranza		(<0.001)	

Tabla 2. Stock de carbono orgánico del suelo en los distintos sistemas de manejo.

^a: p-valor; test LSD Fisher (P≤0.05). Letras diferentes indican diferencias significativas para los factores o su interacción según corresponda. SM: soja-maíz, SS: soja-soja, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, SDcc: siembra directa con cultivo de cobertura. Adaptado de Alvarez *et al.*, 2014.

región central de Córdoba es un sistema de manejo que contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos, principalmente porque mejora la condición hídrica del suelo. La combinación de la rotación soja-maíz con un cereal de invierno como cultivo de cobertura en SD produjo importantes aportes de C de la biomasa vegetal que incrementaron el stock de carbono del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos de los Proyectos Nacionales PNCYO-1127032, PNSUELO-1134042 y PNSUELO-1134023 y del Proyecto Regional con Enfoque Territorial CORDO-1262205 del INTA.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, A.; SALAS, P.; LOVERA, E.; KOPP, S.; CASADO-MURILLO, N. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 23 (2):179-188.

ALVAREZ, C.; ALVAREZ, C.R.; COSTANTINI, A.; BASANTA, M. 2014. Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). *Soil & Till. Res.* 142: 25-31.

ANDRIULO, A. y Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En: Panigatti J.L., Marelli H., Buschiazzo D.y R. Gil. (Ed.). *Siembra Directa*. INTA. Hemisferio Sur. p. 65-96.

- BALESDENT, J.; CHENU, C. y BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Till. Res.* 53: 215-230.
- BASANTA, M. 2015. Cultivos de cobertura: alternativa para intensificar y diversificar los sistemas de agricultura continua. En: *Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno. Campaña 2015*. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea 129. p. 119-125.
- BASANTA, M.V.; GHIOTTI, M.L.; GIUBERGIA, J.P.; LOVERA, E. 2010. Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Disponible en CD.
- BURKE, W.; GABRIELS, D.; BOUMA, J. 1986. Soil structure assessment. A. A. Balkema. Rotterdam. 92 pp.
- CASAGRANDE, G.A. y VERGARA, G.T. 1996. Características climáticas de la región. 1996. En: Panigatti J., Buschiazzi D. y F. Babinec. (Ed.) *Labranzas en la región Semiárida Argentina*. p. 11-17.
- CAVIGLIA, O.; NOVELLI, L.; GREGORUTTI, V.; VAN OPSTAL, N.; MELCHIORI, R. 2012. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. En: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. (Ed.) *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. 1.º ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 148-157.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G. 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA*, 35 (1): 67-85.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. *InfoStat* versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ECHARTE, L.; ANDRADE, F.H. (2003) Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crop Res* 82:1-12.
- GHIOTTI, M.L.; BASANTA, M. 2008. Efecto de distintos sistemas de manejo sobre las fracciones de materia orgánica en un Haplustol del centro de la provincia de Córdoba. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. En CD.
- HATFIELD, J.L.; SAUER, T.J.; PRUEGER, J.H. 2001. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. *USDA-ARS/UNL Faculty. Paper 1341*. <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1341>.
- IPNI, 2015. [Ipni.net](https://www.ipni.net). <https://www.ipni.net/app/calculator/home>. Revisado 01/06/2015
- IRIZAR, A.; ANDRIULO, A.; MARY, B. 2013. Long-term Impact of No Tillage in Two Intensified Crop Rotations on Different Soil Organic Matter Fractions in Argentine Rolling Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7: 22-31.
- JARSUN, B.; BOSNERO, H.; LOVERA, E. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32 Oncativo. Plan Mapa de suelos. INTA. pp. 82.
- LENSSSEN, A.W.; JOHNSON, G.D.; CARLSON, G.R. 2007. Cropping sequence and tillage system influences annual crop production and water use in semiarid Montana, EE.UU. *Field Crops Res.* 100:32-43.
- MARTÍNEZ, J.P.; BARBIERI, P.A.; SAINZ ROSAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E. 2013. Inclusion of Cover Crops in Cropping Sequences with Soybean Predominance in the Southeast of the Humid Argentine Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7, (Suppl 1-M2): 3-10.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* 181: 71-82.
- NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. 1997. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in southwestern Brazilian amazon. *Ecological Applications* 7: 1216-1225.
- RUBIO, G.; CABELLO, M.J.; GUTIÉRREZ BOEM, F.H. 2004. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas Sur y Norte de la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas IPNI*, 35: 6-10.
- SALADO-NAVARRO, L.R.; SINCLAIR, T.R. 2009. Crop Rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agr. Syst.* 102:11-16.
- SALADO-NAVARRO, L.R.; SINCLAIR, T.R.; MORANDINI, M. 2013. Estimation of Soil Evaporation During Fallow Seasons to Assess Water Balances for No-Tillage Crop ROTATIOS. *JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE*, 199(1):57-65.
- SALAS, P.; LOVERA, E.; BASANTA, M.; GIUBERGIA, J.; MARTELLOTTO, E.; SALINAS, A. 2006. Disponibilidad de agua y producción de soja y maíz en función del manejo en la región central de Córdoba. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen expandido editado en CD).
- SISTI, C.P.J.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Changes in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 76, 39-58.
- SKJEMSTAD, J.O.; BALDOCK, J.A. 2008. Total and Organic Carbon. En: *Soil Sampling and method of analysis*. Second Ed. Ed.: Karter MR and Gregorich EG. Canadian Society of Soil Science. CRC press. Boca Raton, FL, US.
- UNGER, P.W.; STEWART, B.A.; PARR, J.F.; SINGH, R.P. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil & Till. Res.*, 20: 219-240.
- UNGER, P.W. 2002. Conservation Tillage for improving dryland crop yields. *Ciencia del Suelo*, 20(1):1-8.
- UPENDRA, M.S.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. 2005. Tillage, cover crop, and nitrogen fertilization effects on Cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. *Agron. J.* 97: 1279-1290.
- UPENDRA, M.S.; SCHOMBERG, H.H.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F.; TILLMAN, P.G.; LACHNICH-WEYERS, S.L. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Till. Res.* 96: 205-218.
- VEGA, C.R.C.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H.; UHART, S.A. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Ann Bot* 85:461-468.
- VIGIL, M.F.; KISSEL, D.E. 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 757-761.

***Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: edades, procedencias y densidad de la madera**
Moreno, K.; Igartúa, D.

Zeranol y metabolitos urinarios de zearalenona en bovinos para carne
Salvat, A.E.; Comerio, R.M.; Balbuena, O.; Rosello Brajovich, J.E.; Ricca, A.; Rojas, D.; Cristos, D.; Ronco, S.; Salerno, J.C.

El nabo como recurso forrajero invernal en la producción de carne
Bertín, O.D.; Camarasa, J.N.; Scheneiter, J.O.; Zuvilivia, J.P.

Resistencia de los botones florales del algodón *Gossypium hirsutum* L. a *Spodoptera frugiperda* Smith
Tcach, M.A.; Fogar, M.N.; Ríos, R.D.; Acuña, C.A.

Un nuevo método para la evaluación de la sustentabilidad agropecuaria en la provincia de Salta, Argentina
Vega, M.L.; Iribarnegaray, M.A.; Hernández, M.E.; Arzeno, J.L.; Osinaga, R.; Zelarayán, A.L.; Fernández, D.R.; Mónico Serrano, F.H.; Volante, J.N.; Seghezze, L.

Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación
Volante, J.; Mosciaro, J.; Morales Poclava, M.; Vale, L.; Castrillo, S.; Sawchik, J.; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortéz, L.; Paruelo, J.

Sensibilidad a fungicidas *in vitro* de micelios de *Drechslera siccans* aislada a partir de trigo
Tonin, R.B.; Reis, E.M.; Gómez, D.E.

Estimación del volumen sin corteza en *Eucalyptus grandis* utilizando modelos de regresión con variables instrumentales en dos etapas de plantaciones de la Mesopotamia argentina
Boca, R.T.; Keller, A.E.; Mastrandrea, C.; Crechi, E.H.; Barth S.R.; Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Ferrere, P.

Producción de plantines de petunia (*Petunia híbrida*) en sistema flotante
Barbaro, L.A.; Delucchi, G.; Karlanian, M.A.

Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi
Basanta, M.; Alvarez, C.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación