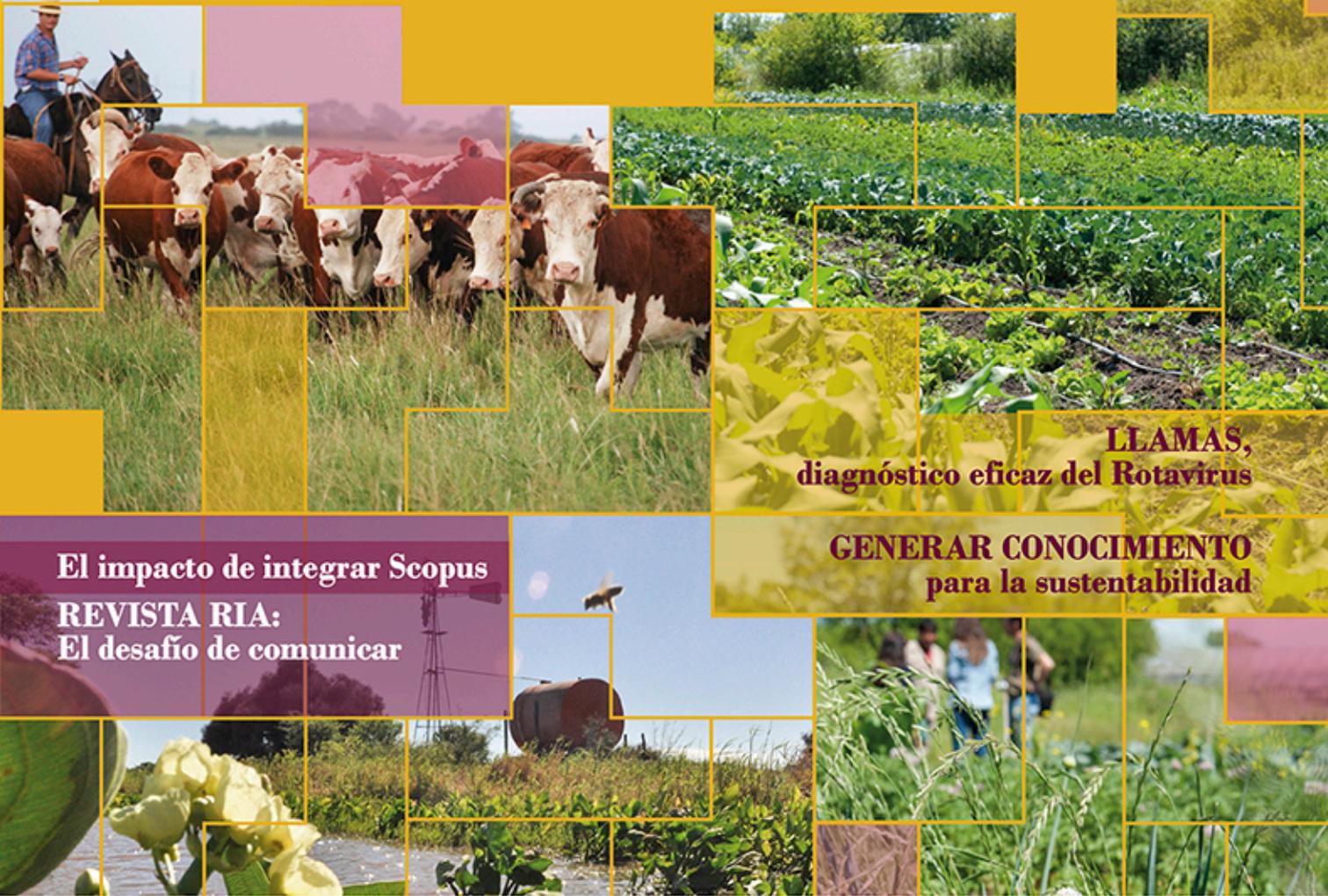


AGROECOLOGÍA Una alternativa viable



El impacto de integrar Scopus

REVISTA RIA:
El desafío de comunicar

LLAMAS,
diagnóstico eficaz del Rotavirus

GENERAR CONOCIMIENTO
para la sustentabilidad

INTA | Ediciones



ISSN 0325-8718
ISSN 1669-2314

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Cuatrimestral

Vol. 42 N.º 3
Diciembre 2016, Buenos Aires, Argentina

Propiedad Intelectual
Propiedad Intelectual N.º 5231354

SEDE EDITORIAL

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

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

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

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

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

Impreso en Gráfica Latina S.A.
en el mes de diciembre de 2016
info@graficalatina.com.ar www.graficalatina.com.ar

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidente:

Méd. Vet. Amadeo Nicora

Vicepresidente:

Ing. Mariano Miguel Bosch

Consejeros Nacionales:

Méd. Vet. Daniel Gustavo Garello - MinAgro
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. Héctor Espina

Directores Nacionales Asistentes:

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

DNA de Relaciones Institucionales
Dra. Ana Cipolla

DNA Planificación, Seguimiento y Evaluación
Dra. Susana Mirassou

DNA Organización y RR.HH.
Dra. Hebe Julián

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

DNA Administración CPN
Lic. Rosendo Tarsetti

DNA de Innovación
Ing. Agr. Enrique Bedascarrasbure

Coordinadores Nacionales:

CN de Transferencia y Extensión
Ing. Ftal. Diego Ramilo

CN de Investigación y Desarrollo
Dr. Fernando Fernández

CN de Vinculación Tecnológica
Ing. Adolfo Luis Cerioni

STAFF

Dirección:

Dra. Norma Pensel
Lic. Máximo Bontempo

Coordinación editorial:

Periodista Giselle Miquet

Asistente editorial:

Lic. y Mg. Clarisa Campora
Lic. Mario Migliorati

COMITÉ EDITORIAL

Presidente:

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

Vocales:

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

Dr. Roberto J. Fernández Aldúncin. Universidad de Buenos Aires (UBA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

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

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

Dr. Marcelo Rosmini. Universidad Nacional del Litoral (UNL). Argentina

Dr. Carlos Hernán Moscuza. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Argentina

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

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

COMITÉ ASESOR

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

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

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

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

Lic. Gabriela Marina Iturrioz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina

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

Lic. Marta Zulema Galván. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina

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

Producción Editorial:

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

Diseño y Edición:

Comunicación Visual, Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional

Fotografía:

Audiovisual, Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional

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



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

Agroecología

Cuando en 2007 y 2009 Miguel Altieri visitó el INTA, en su presentación recordó las primeras gráficas publicadas por Stephen Gliessman -en 1998- acerca de la transición agroecológica, pero también enfatizó en la importancia de los fundamentos de la biodiversidad como herramienta fundamental para afrontar estos procesos de cambio y conversión. En publicaciones posteriores estos conceptos de diversidad de hábitats y manejo orgánico del suelo (Altieri, Nicholls, 2007) abrían un nuevo camino en quienes, espacialmente y temporalmente, buscaban diseñar nuevos agro-ecosistemas bajo la aplicación de principios de la Agroecología y sus sinergias.

El proceso de institucionalización de la Agroecología también se manifestó. Ejemplo de ello es el reconocimiento a la existencia de los sistemas agroecológicos en la encuesta de grandes consorcios internacionales de ciencia tecnología y desarrollo, tales como IAASTD (2005-2008). Este informe destaca la importancia de las agriculturas alternativas, que plantean la Agroecología como un enfoque integrador de principios y manejo de recursos naturales -agua, suelo, biodiversidad-. En esta trayectoria, la FAO organizó en 2014 en Roma el primer Simposio Internacional sobre Agroecología para la Soberanía Alimentaria y la Nutrición, del cual se desprendieron importantes acciones y grupos de trabajo en África, Asia y Latinoamérica.

Desde los grupos de investigación, docentes, productores, movimientos sociales, agentes de cambio, innovadores, llegaban nuevos conocimientos y viejos saberes, que se documentaban desde la visión de la Agroecología. Estos mostraban un movimiento emergente con deseos de introducir otras concepciones epistemológicas, metodológicas, basadas en los principios de la agroecología, surgidas del consenso, la reflexión colectiva y la necesidad de consideración de un campo de conocimiento trans-disciplinario. Estos aportes, cada vez más, recibieron influencias de las ciencias agrarias, ciencias ambientales, biología, ecología y ciencias sociales. En Agroecología la investigación con un enfoque de sistemas es importante, ya que la misma analiza "datos" -hechos y valores- de distintas dimensiones del sistema, en el contexto en que "viven" -realidad- donde es posible comprender y manejar los procesos que en él ocurren (Balzarini, 2007).

La Agroecología estableció su status frente a las ciencias de "frontera de conocimiento", con una posición a favor de la integración, siendo lo trans-disciplinario y la co-construcción de conocimientos su meta; en contraposición a la alta especialización, que llevaba a la significación de compartimentar los esfuerzos.

Este enfoque de horizontalidad de la Agroecología como ciencia, que demuestra que muchos principios y efectos contribuyen de modo igual y con sinergia, en la expresión holística del todo, es bien contrapuesto al enfoque convencional y disruptivo de causa-efecto.

En agroecología lo inter-disciplinario permite ver cómo avances en algunas áreas del conocimiento pueden traccionar a otros de forma complementaria y cómo el aporte de varios procesos genera bondades en la solución de problemas locales y regionales.

Pero los desafíos mayores estaban en aplicar los principios agroecológicos a casos reales observacionales y demostrar cómo las vías de la regulación funcional de los agro-ecosistemas podían ser ponderadas por herramientas de evaluación de los sistemas de producción de forma agroecológica. Es decir, a medida que el paradigma convencional cambiaba o se convertía, era necesario también de forma participativa, crear capacidades en los territorios en la evaluación de fincas agroecológicas. Los componentes funcionales de la biodiversidad, productiva, auxiliar, asociada, elaborada (Vázquez, 2015) se convertían así en componentes multivariados que demostraban cada vez más la complejidad de los sistemas agroecológicos.

Este nuevo ensamblado y complejidad de estructuras y funciones en las dimensiones del paisaje, fincas, diseños, prácticas agroecológicas, y capital humano en el espacio de gestión y participación, vuelven la biodiversidad productiva y ecológica herramientas principales durante el proceso de rediseño agroecológico, aspecto en que debemos aprender a desempeñarnos en el futuro de los agro-ecosistemas.

Según André Maurois: "Cultura es lo que queda después de haber olvidado lo que se aprendió". La cita es muy pertinente, ya que a veces es necesario olvidar lo aprendido para incorporar nuevas ideas frente a un proceso de cambios con búsqueda de modelos resilientes.

Cabría preguntarse, en este contexto, ¿cómo organizamos esta gran tarea en el quehacer diario del INTA? En 2012 ya advertimos en la mirada de muchos proyectos, que la Agroecología se había instalado como un término-sinónimo de un enfoque inter-disciplinario y aplicable a diferentes escalas territoriales, capaz de generar una mayor diversidad y adaptabilidad local y nuevos diseños socios-productivos. En qué medida este enfoque, ciencia o corpus de conocimiento también podía ser una vía alternativa en la mejora de los problemas de la investigación actual, al contribuir en una investigación de largo plazo con compromiso de integración, abarcar interacciones complejas de los agro-ecosistemas, su relación con valores de la sociedad que los contiene y con las prácticas de los actores humanos. Como resultado y parte de esta contribución a ese todo, nuestro gran aporte en marcha es un Programa Nacional con el enfoque RED, lo que permite la aplicación de los principios agroecológicos, a una escala mayor en la planificación junto con otros programas nacionales y territoriales en la conjunción de nuevos intereses frente a un nuevo paradigma.

Actualidad en I+D

Editorial

222 Agroecología

Su institucionalización permite reconocer el término en proyectos desde un enfoque inter-disciplinario y aplicable a distintas escalas territoriales.

Notas

226 Agroecología, una alternativa viable

Este enfoque es una opción frente al cambio climático para generar más alimentos con sustentabilidad ambiental y una oportunidad para la agricultura actual.



234 Llamas: diagnóstico eficaz del Rotavirus

Investigadores argentinos desarrollaron un kit basado en nanoanticuerpos VHH para detectar la principal causa de la diarrea neonatal en niños.

239 Generar conocimiento para la sustentabilidad

Las innovaciones tecnológicas son factores clave que definirán el futuro de la productividad sostenible. El INTA trabaja sobre las problemáticas de las regiones y potencia el desarrollo agroindustrial y marca el futuro en investigación.

244 Revista RIA: el desafío de comunicar

El ingreso de la publicación del INTA a Scopus permite analizar en la entrevista las nuevas perspectivas en evaluación y la producción científica nacional.



250 Pastillas

Un breve resumen de las noticias más sobresalientes.

Trabajos

Revisión

252 Pestivirus emergente

Pecora, A.; Pérez Aguirreburualde, M.S.; Malacari, D.A.; Zabal, O.; Bauermann, F.; Ridpath, J.; Dus Santos, M.J.

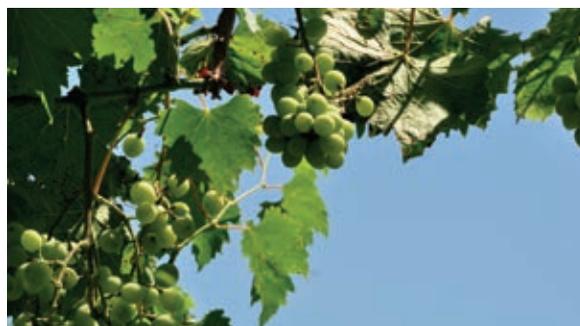
258 Técnicas de análisis

Di Benedetto, A.; Tognetti, J.

Artículos

283 Aspectos de la vid

Del Barrio, R.A.; Gallo, S.L.; Martín, D.M.



291 Atmósferas controladas

Candan, A.P.; Calvo, G.

300 Plantaciones tabacaleras

Rodriguez, S.O.; Zamar, M. I.

307 Ovinos de la Argentina

Mueller, J.P.; Vozzi, P.A.; Giova nini, N.; Álvarez, J.M.

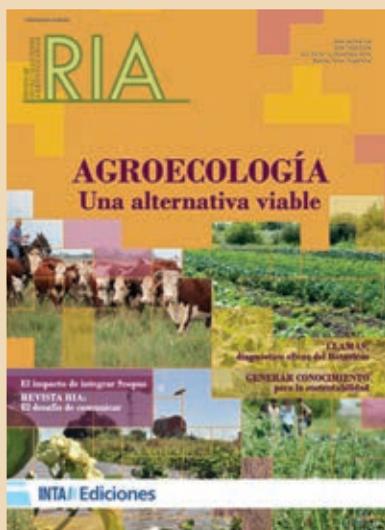


317 Pasturas defoliadas

Insúa, J.R.; Agnusdei, M.G.; Machado, C.F.; Berger, H.

324 Huella de carbono

Bongiovanni, R.; Tuninetti, L.; Garrido, G.



Agroecología, una alternativa viable

En el INTA los debates vigentes sobre las contribuciones de la agroecología se orientan en generar conocimiento sobre la posibilidad de alcanzar una intensificación sostenible de la agricultura. En diálogo con el ordenamiento territorial, los especialistas la consideran una opción frente al cambio climático para generar más alimentos con sustentabilidad ambiental. Representa una oportunidad para la agricultura familiar y una alternativa a las problemáticas de la agricultura actual.

Esta disciplina integra conceptos, herramientas y técnicas que permiten conceptualizar desde la escala de parcela hasta una escala de paisaje.

(Actualidad en I+D p. 226)



Llamas: diagnóstico eficaz del Rotavirus

Investigadores argentinos diseñaron un método diagnóstico para detectar Rotavirus, principal causa de la diarrea neonatal, que afecta a niños menores de cinco años. Surgido de la articulación pública entre el INTA y el Instituto Malbrán –con apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva–, el test basado en nanoanticuerpos VHH se presenta como una alternativa rápida y confiable para reemplazar la importación. Como caso líder en el mercado nacional e internacional recibió el Premio Innovar 2016 y, como parte del reconocimiento, fue distinguido por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.

(Actualidad en I+D p. 234)

Generar conocimiento para la sustentabilidad

El mundo dispone sólo de 0,24 hectáreas agrícolas por persona para alimentar a sus 7 mil millones de habitantes con una proyección de crecimiento para 2050 que alcanzará los 9 mil 200 millones de humanos. Entonces, ¿cómo seremos capaces de enfrentar este desafío?

De acuerdo con los especialistas, la implementación de innovaciones tecnológicas será un factor clave. En especial, en aquellas regiones con la ventaja de poder extender sus superficies y rendimientos como son Asia, África y América Latina. En este contexto, el trabajo del INTA en investigación científica y tecnológica busca mejorar la competitividad nacional.

(Actualidad en I+D p. 239)

Revista RIA: el desafío de comunicar

Los integrantes del Comité Editorial de la Revista RIA del INTA, Carlos Di Bella y Miguel Taboada, consideran el impacto que tiene el ingreso de la principal publicación del INTA a Scopus, la mayor base de resúmenes y referencias bibliográficas de literatura científica revisada por pares. Además, en la entrevista se refieren al desarrollo, evolución y tendencias en investigación y publicación científica.

Frente a estos nuevos escenarios, los investigadores analizan las nuevas perspectivas en evaluación de publicaciones científicas. Un universo que reúne a más de 2 mil editoriales y donde RIA, vigente desde 1947, se consolida a nivel internacional.

(Actualidad en I+D p. 244)

Pestivirus emergentes

Los virus HoBi son un grupo de Pestivirus emergentes que afectan tanto a bovinos como a bubalinos y son contaminantes muy comunes de productos biológicos. Luego de ser identificados por primera vez en Alemania a partir de muestras brasileras en el año 2004, han sido reportados numerosos aislamientos de virus HoBi en varios países como Brasil, Italia y algunos países asiáticos. De este modo, este patógeno ha generado mucha preocupación en médicos veterinarios y en productores de rodeos bovinos y bubalinos al haber estado involucrado en eventos de varios cuadros respiratorios severos en abortos y en animales persistentemente infectados.

(Trabajos p. 252)

Cultivos intensivos

La descripción del crecimiento de una planta o de un cultivo, a lo largo de su ciclo de vida o de producción, así como la evaluación de tratamientos capaces de modificar la acumulación de biomasa de un vegetal requieren indicadores objetivos que puedan ser validados estadísticamente. Las técnicas de análisis del crecimiento son herramientas útiles para estos fines. Pueden aplicarse en múltiples situaciones, pero su empleo en cultivos intensivos presenta aspectos particulares y precauciones a ser tenidos en cuenta, acerca de los cuales la información disponible es relativamente escasa y dispersa. En este trabajo se describen los estimadores del crecimiento.

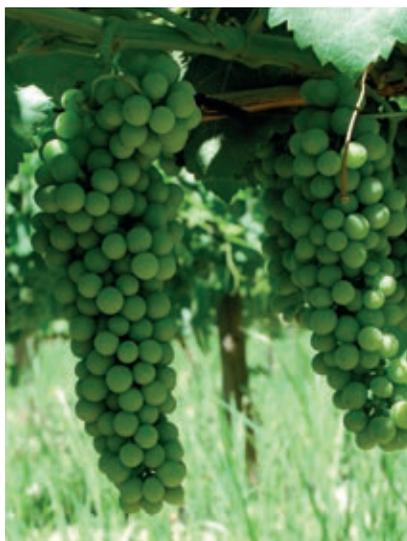
(Trabajos p. 258)



Aspectos de la vid

El cultivo de vid (*Vitis vinifera* L.) con destino a uva para vinificar tuvo una expansión importante en los últimos años en la región norpatagónica Argentina. En Río Negro, el valle de Viedma (40°48' S y 63°05' O) se ha incorporado como una nueva zona de producción vitivinícola tanto para mercado interno como externo. Se determinó la aptitud agroclimática regional para la satisfacción de las exigencias bioclimáticas del cultivo de vid para vinificar. Se utilizaron estadísticas climáticas de la EEA Valle Inferior (INTA-RN) e información fenológica –método de Baggiolini– correspondiente al período 2004-2011 de seis variedades de vid.

(Trabajos p. 283)



Atmósferas controladas

El potencial de almacenamiento de las peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph es muy bueno, pero se ve limitado principalmente por la escaldadura superficial (ES). Ante las restricciones de uso de los antiescaldantes tradicionales, resulta clave encontrar una tecnología que permita el control de este desorden satisfaciendo los requerimientos de inocuidad exigidos. En peras la aplicación del 1-metilciclopropano (1-MCP) controla la ES, pero puede impedir la maduración de los frutos; razón por la cual las atmósferas controladas dinámicas (ACD) cobran interés en esta especie. Fueron almacenadas en frío convencional (FC), en atmósfera controlada (AC).

(Trabajos p. 291)

Plantaciones tabacaleras

El objetivo del presente trabajo fue establecer el tamaño muestral para el seguimiento poblacional de tisanópteros en el cultivo de *Nicotiana tabacum* L. var. *virginica* (C. Agardh) Comes, "tabaco virginia". Se diseñó un muestreo al azar de hojas (órganos cosechables), de frecuencia quincenal y en dos establecimientos productivos, ubicados en el departamento El Carmen provincia de Jujuy, Argentina, durante las campañas 2012/2013 y 2013/2014. Sobre la base de los muestreos del primer año y al aplicar los parámetros calculados de la ecuación de Taylor, se determinó el número mínimo de hojas a muestrear para conseguir errores inferiores o iguales al 20%.

(Trabajos p. 300)



Progreso genético

Se analizó el beneficio económico del mejoramiento genético observado en plantales de las razas Merino Astado, Corriedale e Ideal que utilizan el servicio de evaluación. Con estadísticas poblacionales y parámetros reproductivos de sistemas de producción de referencia de cada raza se calculó el número de corderos descendientes de carneros producidos en los plantales. Con metodologías de flujo génico se calcularon las expresiones genéticas de cada cordero a través de su vida útil y de sus descendientes. El beneficio de 10 años de mejora genética en los plantales, acumulado por 20 años resultó ser de 7,70, 0,93 y 0,12 millones de dólares.

(Trabajos p. 307)

Pasturas defoliadas

El trabajo desarrolla un modelo de simulación de calidad foliar de pasturas, de base morfogenética, para integrar el efecto de la edad y el largo foliar sobre la digestibilidad en relación con el manejo de la defoliación. El modelo se construyó y calibró con datos de morfogénesis foliar, fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad de la FDN (DFDN) y digestibilidad *in vitro* de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.). Luego se lo validó con datos observados en pasturas manejadas a dos alturas de forraje remanente con similar producción de biomasa. El modelo predijo la calidad nutritiva de las pasturas.

(Trabajos p. 317)

Huella de carbono

El objetivo general de este trabajo de estudio es realizar la Huella de Carbono de la producción, procesamiento y transporte del maní en la provincia de Córdoba, Argentina, para evaluar la contribución de las emisiones de CO₂ equivalente en las diferentes etapas del ciclo de vida de la cadena de valor del maní; estudiar la performance ambiental de esta cadena y proponer alternativas de mejora a los sistemas de producción, transporte y procesamiento en esa provincia, como así también optimizar los procesos agroindustriales para el logro de mejoras ambientales. Este estudio intenta generar resultados que puedan ser comunicados públicamente a diferentes audiencias.

(Trabajos p. 324)



AGRICULTURA SUSTENTABLE

AGROECOLOGÍA, una alternativa viable

La institucionalización de este enfoque en el INTA conlleva avances y desafíos para lograr un desarrollo territorial sostenible. En diálogo con el ordenamiento territorial, es una opción frente al cambio climático para generar más alimentos con sustentabilidad ambiental. Representa una oportunidad para la agricultura.

Por Mario Migliorati

La definición de la agroecología está enmarcada en las tensiones propias de todo campo de desarrollo disciplinar. Reconocida por la literatura científica en los años 30 -del siglo pasado-, surge en el continente americano en los '70 como expresión de una nueva manera de hacer agricultura -asociada a la sustentabilidad de los sistemas y sus impactos ambientales como en la salud humana-.

En los '80, aparece ligada a movimientos sociales y campesinos en Centroamérica, hasta llegar, no sin controversias y con debates en plena vigencia, a ocupar un lugar destacado en la agenda institucional de organismos de ciencia y tecnología.

La institucionalización alcanza a "organismos como el Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia (INRA), la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) de Brasil, o, el INTA en Argentina", señala Pablo Tittonell, coordinador del Programa Nacional Recursos Naturales, Gestión Ambiental y Ecorregiones (PNNAT) del INTA.

En este último, la agroecología plantea una serie de debates a su interior y desafíos en innovación tecnológica y organizativa, con aportes desde "la gestión ambiental, la biodiversidad, el estudio del clima y el ordenamiento territorial", reconoce el PNNAT.

En un escenario de crecimiento demográfico, cambio climático y degradación de los ecosistemas naturales, la agroecología constituye una alternativa que permite generar más alimentos y hacerlo de manera sustentable.

Al respecto, es necesario conocer ¿qué es para el INTA la agroecología? Según Tittonell: "Lo que tratamos de mostrar en el trabajo diario es que, en realidad, la agroecología ofrece elementos muy importantes para la agricultura en pequeña y a gran escala".

Se trata de una disciplina que integra una serie de conceptos, herramientas y técnicas que permiten conceptualizar desde la escala de parcela hasta una escala de paisaje.

"Es una oportunidad de integrar distintas dimensiones: ecológica, social, económica, política y tecnológica en el desarrollo del territorio. También un valioso aporte para pensar la sustentabilidad de las ciudades, cómo se alimentarán en el siglo XXI y cómo contribuirá a la resiliencia de los asentamientos humanos", explica Beatriz Giobellina, coordinadora del Proyecto Específico Soporte Técnico y Capacitación en Procesos de Ordenamiento Territorial Rural del PNNAT del INTA.

Maximiliano Pérez, del Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar (IPAF) Región Pampeana del INTA, la caracteri-

za como "una herramienta que permite a los productores aumentar los niveles de autonomía". Llevándolos a reducir los niveles de dependencia que "hoy les plantea la agricultura y la tecnología". Otro factor importante "es el aumento de la diversidad", ya que hay distintas formas de practicarla.

"Ciencia, práctica y movimiento"

Diferentes teóricos -como Alexander Wezel- definen a la agroecología como una disciplina científica, como un sistema de prácticas agropecuarias y como un movimiento social-político de agricultores, científicos, organizaciones de base y consumidores. Es

"ES UNA OPORTUNIDAD DE INTEGRAR DISTINTAS DIMENSIONES: ECOLÓGICA, SOCIAL, ECONÓMICA, POLÍTICA Y TECNOLÓGICA EN EL DESARROLLO DEL TERRITORIO". (BEATRIZ GIOBELLINA)



**“UNA HERRAMIENTA
QUE PERMITE A LOS
PRODUCTORES AUMENTAR
LOS NIVELES
DE AUTONOMÍA”.**
(MAXIMILIANO PÉREZ)



decir: “ciencia, práctica y movimiento”. Y aun así “hay distintas posiciones”, dice Tiftonell, tras afirmar que, sobre todas las cosas, “la agroecología es agronomía de alto nivel”.

“La agricultura del futuro será agroecológica”, enfatiza Miguel Altieri, docente en la Universidad de California -Estados Unidos- y referente internacional en la materia. En esa línea, manifiesta que “la agroecología debería considerarse como política de Estado, debido a que permite instaurar otro esquema que corte los circuitos hegemónicos entre productores y consumidores y actúe como bypass hacia un sistema alimentario local y justo”.

Para Tiftonell, investigador repatriado por el Programa Raíces del Ministerio de Ciencia y Tecnología, no debe de sorprender que la agroecología “observe a la agronomía de alto nivel o sofisticada, como la que practican tradicionalmente en el país los productores de punta de los grupos CREA -Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola-”.

En su opinión, esta forma de hacer agricultura es “la antítesis de lo que se está haciendo hoy”, en cuanto a la tendencia por “simplificar las prácticas, el manejo, la diversidad biológica, tener una o dos variedades y uno

o dos paquetes tecnológicos”, dice y afirma: “Esto es la anti-agronomía”.

De acuerdo con Beatriz Giobellina, investigadora repatriada por el Programa Raíces, los agrónomos ven a la agroecología “más desde el lado de la producción, y en forma complementaria, nosotros –arquitectos y planificadores- la vemos desde el diseño de paisajes agroecológicos”.

Martín Pérez, coordinador del Proyecto Específico Dinámica territorial del uso y cobertura del suelo de la República Argentina del INTA, sostiene que “hay una total sintonía en la forma de pensar un territorio sostenible y los enfoques orientados hacia la agroecología, y aquellos que buscan visibilizar los servicios ecosistémicos”.

Por ejemplo, en la producción agrícola de interface urbano-rural “la agroecología viene a ser una propuesta sumamente enriquecedora” y, para desarrollar todo su potencial, debe ser entendida “tanto como una ciencia, como una práctica y como un cambio cultural”, aclara.

Agroecología y ordenamiento territorial

¿Dónde se encuentran la agroecología y el ordenamiento territorial (OT)? “El ordenamiento territorial

trabaja a escala de paisaje, del territorio”, argumenta Tiftonell. Es un espacio de comunión necesaria que “a mi entender, aún no existe; hay que trabajar y mucho para responder cómo el ordenamiento territorial puede orientarse a aquellos servicios ecosistémicos, que son importantes para la agroecología”.

La relación servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial es la vía para avanzar, tal como lo trabajan técnicos del INTA Balcarce. “Sabemos que los servicios ecosistémicos son importantes no sólo para el productor que vive en un territorio, en un paisaje o una microcuenca, sino también para la sociedad toda que se beneficia por ellos”, fundamenta.

**“HAY UNA TOTAL
SINTONÍA EN LA FORMA
DE PENSAR UN
TERRITORIO SOSTENIBLE
Y LOS ENFOQUES
ORIENTADOS HACIA
LA AGROECOLOGÍA”.**
(MARTÍN PÉREZ)

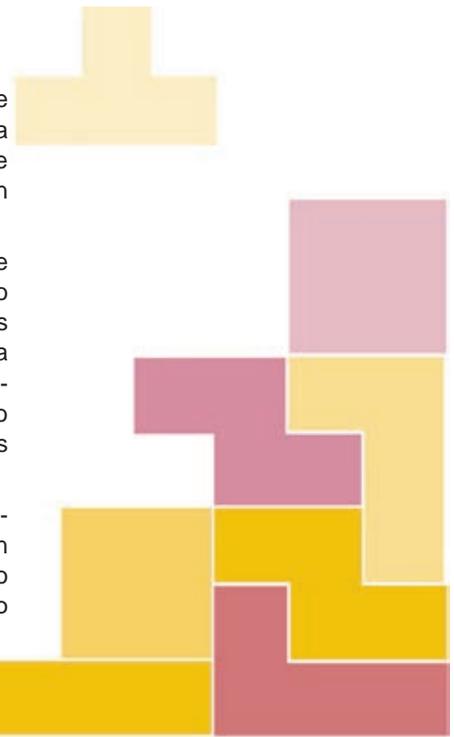
Las respuestas a las demandas específicas de OT se inscriben en contextos productivos por cambio de usos del suelo y la presión ejercida por la expansión de la frontera agropecuaria, que buscan incorporar nuevas áreas productivas en distintas regiones. En otros casos, se debe a la ausencia de planificación territorial que no incluye perspectivas de manejo sustentable de los recursos naturales.

Según Néstor Maceira, Jefe del Grupo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Área de Agronomía del INTA Balcarce e integrante del Proyecto Nacional de Ordenamiento Territorial, el OT es concebido “como un proceso social - participativo y con fuerte

base técnica”. Concepto que reúne dos componentes que son críticos: la técnica y la participación social, donde esta última le otorga “factibilidad a un plan de ordenamiento territorial”.

El componente participativo hace que el OT “sea incorporado en el modo de pensar el territorio por parte de las personas que lo habitan”, indica. Esta concepción del territorio es superadora de la visión encontrada entre lo urbano o rural, y articula ambos usos dentro una visión sistémica.

Por tanto, se distingue de las posiciones reduccionistas que lo asimilan a un mapa, a un plano con zonas o con áreas, y aporta el conocimiento



PRODUCIR EN LOS LÍMITES DE LA CIUDAD

El INTA trabaja junto con los productores en alternativas agroecológicas que permitan satisfacer sus demandas. Este acompañamiento se genera en el proceso de transición desde un sistema convencional hacia un modelo agroecológico.

El manejo agroecológico “es una opción económica viable para los horticultores, demostrado por las organizaciones con las que trabajamos”, indica Maximiliano Pérez, del IPAF Región Pampeana del INTA.

Explica que la agroecología puede “ofrecerle a los agricultores algunas herramientas para trabajar de otro modo y alcanzar tanto sus objetivos productivos como las demandas de la sociedad”.

El productor es el protagonista del cambio. En las ferias donde venden los productos agroecológicos “se puede observar la funcionalidad de este nuevo modelo de producción”.

“Ser rentables y amigables con el ambiente, es posible”, dice y, además, explica que experimentar e implementar “estas alternativas productivas” incluye la diversificación productiva, preparados naturales y otros insumos que reemplacen a los químicos, control biológico, manejo del suelo y auto producción de semillas, entre otras.

En la actualidad, la horticultura platense está conformada por unos 3 mil productores que obtienen una amplia variedad de hortalizas en predios que no superan más de 1 hectárea, con alta intensificación de insumos.

Abordar un enfoque agroecológico implica acción, conocer y poner en práctica algunas técnicas y estrategias, al tiempo que requiere fortalecer los procesos asociativos y promover el desarrollo colectivo de parcelas de base agroecológica en cada organización participante. De acuerdo con el técnico, el IPAF apoya experiencias hortícolas y agropecuarias en La Plata, Florencio Varela, Mar del Plata, Cañuelas y Arrecifes -Buenos Aires-, San Genaro y Rafaela -Santa Fe-, como así también en el campo experimental del CICVyA del INTA Castelar.

Según datos del Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires, en más de 20 distritos ya se aprobaron ordenanzas para limitar el uso de agroquímicos en las franjas periurbanas.

SER PRODUCTIVOS Y SUSTENTABLES

Los rendimientos en producciones agroecológicas extensivas “son parecidos” a los de la agricultura tradicional, y “al salirse de la dependencia de los insumos, el costo de producción es más bajo”, indica Eduardo Cerdá, asesor en agroecología.

Desde hace 25 años su trabajo consiste en asesorar en este enfoque a los productores para que decidan este camino y puedan independizarse de los insumos, o, en todo caso, ir hacia una transición agroecológica.

Para el especialista, este trabajo se basa en “fortalecer la fertilidad, asociar cultivos, policultivos, trabajar con las malezas, cambiar las fechas de siembra y las densidades, el ordenamiento y el diseño de cada cultivo y del campo”. Como asesor del establecimiento “La Aurora” en Benito Juárez, Buenos Aires, explica de que desde 1997 su dueño aplica este enfoque de producción agroecológico que le permitió disminuir el uso de insumos sintéticos y energía. “Como resultado de este manejo bajó costos y estabilizó los rendimientos”, dice.

Esta experiencia fue elegida en febrero de este año por la FAO para difundirla como modelo y, además, es utilizada por técnicos del INTA para capacitar en el tema.

De acuerdo con Cerdá, con el modelo agroindustrial los costos de producción de 1 hectárea de trigo se cuadruplicaron. Pasaron de 100 dólares, en 1990, hasta llegar a los 450 dólares en 2015, mientras que el rendimiento solo se ha duplicado.

En su opinión, esto se debe a la pérdida de fertilidad. Y, como su consecuencia, “se vieron afectados los márgenes brutos con un aumento de la dependencia de los insumos de síntesis química industrial para sostener los rendimientos, que también incrementaron los costos en los últimos años; como también lo hizo el nivel de fragilidad del sistema productivo y la situación de los productores”, explica. “Siempre pensamos en qué se puede mejorar”, dice y agrega: “Esto tiene que ver con una mirada agroecológica”. Desde esta perspectiva, argumenta que se bajan costos, se presentan rindes similares a la siembra convencional, se mejora la calidad y, fundamentalmente, no se ocasiona daño al ambiente y la salud de la población.

Actualmente asesora en 14 campos en Buenos Aires y Entre Ríos, que reúnen unas 12.500 hectáreas, y a los municipios de Guaminí y Gualeguaychú.



para adecuar los usos de la tierra y la ocupación del espacio a las aptitudes y restricciones ecológicas y sociales de cada lugar.

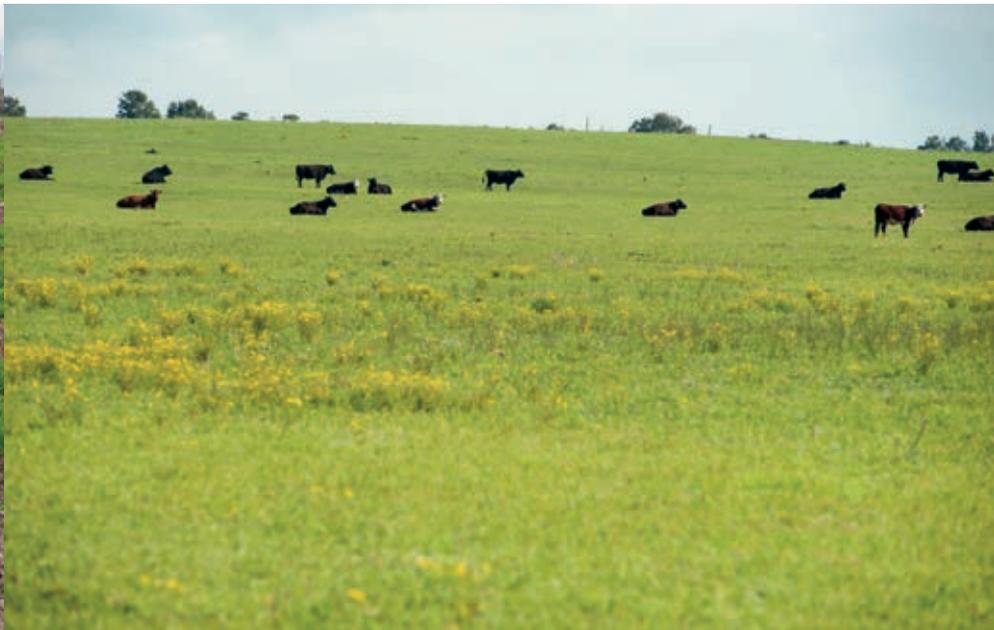
Los procesos de cambio en la estructura productiva agropecuaria en la provincia de Buenos Aires, llevaron al equipo técnico que integra Maceira a trabajar con el municipio de Balcarce en temas de OT. En los últimos 8 años y entre las distintas acciones desarrolladas, pudieron relevar problemáticas donde hubo dos recurrentes: “Las producciones intensivas y el temor al impacto de agroquímicos”.

El ordenamiento territorial, según Martín Pérez presenta “múltiples definiciones y dimensiones”. Apunta a que seamos capaces de pensar en cómo gestionar de mejor manera el territorio.

“Presenta componentes de política pública, técnicos y administrativos con el fin de articular ideas y distintas miradas para utilizar de mejor manera nuestro territorio”, indica Pérez.

Un caso particular analizado -en los últimos años- es el de la producción agropecuaria en áreas urbanas y periurbanas. Constituye un tema de creciente interés y un desafío para el INTA, dado que involucra aspectos productivos ambientales, sociales, económicos, que superan ampliamente las propuestas sectoriales tradicionales.

Y si bien estos temas se incorporan a la agenda de políticas públicas, los objetivos de gestión suelen quedar relegados por lógicas sectoriales. Y,



en ese punto, los organismos públicos tienen que superar la dificultad de trabajar por separado en el territorio y hacerlo de forma conjunta.

La realidad por sí misma expresa los síntomas de la necesidad de un OT. “Las inconsistencias que vemos en nuestra realidad presentan conflictos por el uso de algún recurso natural como puede ser el agua o el suelo, así como por actividades que entran en conflicto con otras, sean de orden industrial o residencial”, señala Martín Pérez.

El OT debe ser entendido como un proceso continuo en el tiempo y en el marco de una política pública. “Debe ir de la mano de la implementación de políticas en ese lugar o el territorio”, donde la construcción de “estas ideas tiene que ser plural, colectiva con distintos actores y donde los distintos intereses estén puestos en juego”, indica Pérez.

Se trata pues de un proceso donde es necesario armar redes, aunque resulta un desafío hacia adelante porque aún “no estamos acostumbrados del todo a este tipo de trabajo en red”, advierte el investigador y docente de la Universidad Nacional de Cuyo –Mendoza–.

El trabajo de 100 especialistas de diferentes regiones del país, permitió crear en el INTA su propia Red de Agroecología –REDAE– con el objetivo de reunir el conocimiento generado en los territorios y fomentar la investigación en esta disciplina. A través de



su laboratorio en Francia, Agriterris, el INTA incorporó esta área a los proyectos que impulsa junto con el Instituto Científico de Investigación Agronómica y el Instituto de Investigación para el Desarrollo, ambos de ese país.

Entre la parcela y el paisaje

El enfoque agroecológico representa oportunidades para la agricultura familiar y es una alternativa que no depende de la escala productiva o de una actividad. Para lograr un desarrollo territorial sostenible, desde el

INTA se acompañan experiencias de ganadería, producción de alimentos con agregado de valor y horticultura urbana, periurbana y rural.

Hay muchos productores que “son agroecológicos sin saberlo”, dice Tittonnell. Y, sin lugar a dudas, las diferencias con la agronomía –más clásica– se presentan en función de la escala, ya que se trabaja a escala de paisaje donde operan los servicios ecosistémicos.

Por su parte, Beatriz Giobellina destaca el trabajo en huertas “con movimientos agroecológicos y a nivel



“CUANDO SE GENERA LA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA, AL PRINCIPIO SE PUEDE PERDER RENDIMIENTO DEBIDO A QUE HAY QUE ADAPTARSE A UNA NUEVA FORMA DE TRABAJAR”.
(PABLO TITTONELL)

frutihortícola” pero también en “producción extensiva”. Este proceso creciente ya superó el nivel del autoconsumo y en la producción alimentos se practica la agroecología en distintas escalas. “Hoy es el consumidor quien empieza a pedir este tipo de productos”, afirma.

Como un ejemplo de esto último, la primera Feria Agroecológica de Córdoba -creada en 2013- es un espacio de encuentro entre consumidores, productores, académicos, técnicos. Más de 40 productores en transición hacia la agroecología venden sus productos cada sábado en predios de la Universidad Nacional de Córdoba.

Esta modalidad de ferias en el país estimula el surgimiento de nuevos espacios cortos de comercialización: las francas, de venta directa en la quinta, de comercio electrónico, de distribución de puntos de venta por barrios; es decir, creativas e innovadoras en las que productores y consumidores se encuentran.

El camino de la transición

Las distintas opiniones de los especialistas son coincidentes en que

la estrategia utilizada por el INTA, para trabajar la agroecología en los territorios, involucra desarrollos tecnológicos que la transforman en una alternativa económicamente viable y beneficiosa con el ambiente.

La transición comienza por un aumento de la eficiencia productiva, sigue con la diversificación y continúa por la sustitución de insumos para pasar al rediseño del sistema. Finalmente, la transición total se logra con la reconexión entre el productor y el consumidor.

Los primeros pasos “son los más fáciles de implementar para el productor grande que para el pequeño. Lo digo por la tecnología, inversiones, conocimientos y acceso a la información”, indica Tittonell.

Se comienza por la reconexión entre el pequeño productor y el consumidor, por generar mercados alternativos, por disponer de sistemas de certificación participativa, lo que obliga al productor a hacer todo el resto.

“Cuando se genera la transición agroecológica, al principio se puede perder rendimiento debido a que hay que adaptarse a una nueva forma de



trabajar, pero por otro lado bajan los costos con un margen que se mantiene o incluso es mayor y con menos riesgo”, apunta Tiltonell.

La transición es interpretada de diversas formas. “Hay productores que la ven inviable y otros encuentran la posibilidad de generar un alimento sano para ubicarlo en un mercado de cercanía”, dice Maximiliano Pérez.

Los agricultores familiares la conciben como una oportunidad para construir un “vínculo con el consumidor” y, también, para reducir costos “al prescindir de plaguicidas y al minimizar el uso de insumos”. La reconocen como “una propuesta técnica que les permite reducir los niveles de conflictividad en la sociedad sin reducir rendimientos”, en tanto “valores que se identifican con la transición agroecológica”, destaca Pérez.

El camino hacia la ley

En los países vecinos avanzan los debates sobre la agroecología. Tanto Uruguay como Chile tratan sus leyes nacionales y en Brasil la tienen hace tiempo y está asociada al Programa Hambre Cero –del 2001-. Único país

del mundo que logró dos Objetivos de Desarrollo del Milenio, terminar con el hambre y reducir la pobreza extrema.

En Argentina, mientras se espera por una normativa que destine recursos del presupuesto nacional para el desarrollo de la agroecología, ya se celebró la primera audiencia pública, en el marco de la presentación del Proyecto de Ley sobre Agroecología, que propone una participación activa de los productores, del INTA y las universidades. En sus alcances abarca el desarrollo de Sistemas de Producción Agroecológica.

Estos sistemas deben darse mediante la promoción y regulación de procesos de producción, distribución, comercialización y consumo de alimentos saludables, entendiendo estos como aquellos logrados a partir de considerar las dimensiones de sostenibilidad ambiental, económica, social y cultural. Además, en la letra del proyecto se estimula la transición hacia la producción agroecológica a nivel municipal, provincial y nacional.

La agroecología plantea la necesidad de revalorizar la alimentación saludable y de considerar el patrimonio

agrario como valioso y estratégico, ligado a la sustentabilidad de las ciudades, con el potencial para crear un sistema que pueda asegurar la soberanía alimentaria.

De manera coincidente, desde el INTA se reconoce que es el Estado quien debe generar políticas de desarrollo local, incentivos para la agricultura familiar y para los productores pequeños y medianos. Y, no menos importante, comprender las políticas culturales que rescaten saberes locales, con innovaciones que apunten a preservar la biodiversidad y reconozcan las tecnologías ancestrales.

Más información

Pablo Tiltonell
 tittonell.pablo@inta.gob.ar
 Beatriz Giobellina
 giobellina.beatriz@inta.gob.ar
 Martín Pérez
 perez.amartin@inta.gob.ar
 Néstor Maceira
 maceira.nestor@inta.gob.ar
 Maximiliano Pérez
 perez.maximiliano@inta.gob.ar
 Eduardo Cerdá
 cerda.agroecologia@gmail.com

DESARROLLO NACIONAL

Llamas: diagnóstico eficaz del Rotavirus



Investigadores argentinos diseñaron un método innovador para detectar la principal causa de la diarrea neonatal, que afecta a niños menores de cinco años. Basado en nanoanticuerpos VHH, se presenta como una opción rápida y confiable, surgida de la articulación pública entre el INTA y el Instituto Malbrán.

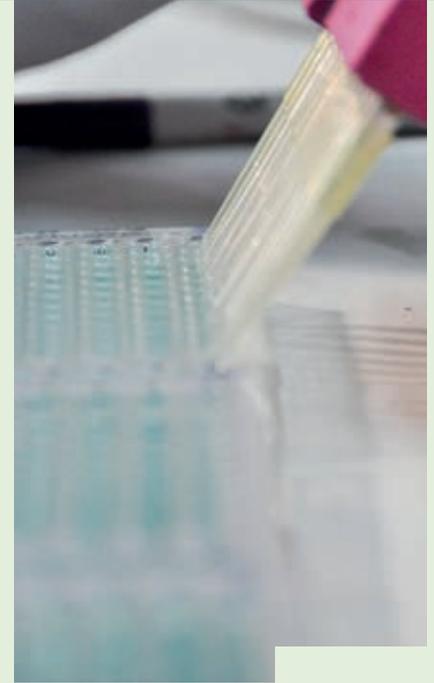
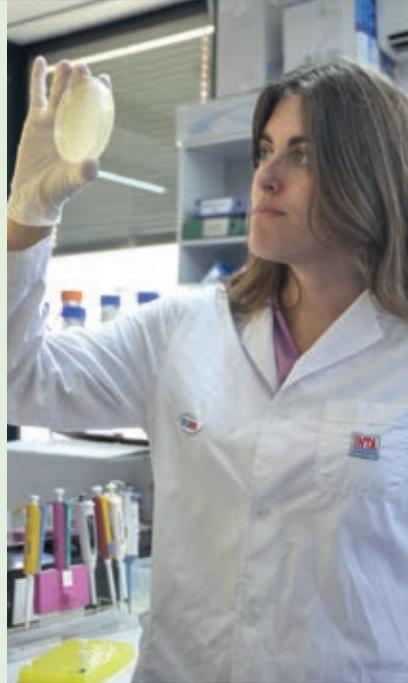
Por Camila Pía Gandía

Habitante ancestral del continente sudamericano, es un símbolo de la cultura andina y su sistema inmunológico abraza respuestas para la salud humana. La llama atesora en su genética proteínas grandiosas que permitieron, gracias al uso de técnicas en biología molecular, seleccionar **nanoanticuerpos** útiles para detectar y combatir la infección por Rotavirus (RV) en niños.

Con la propiedad de neutralizar al agente causal de la diarrea —en niños y en bovinos—, los nanoanticuerpos de esta especie de camélidos dieron lugar al desarrollo de Rotadial, el **primer kit de diagnóstico basado en la tecnología VHH**. El test es capaz de detectar el RV que afecta a los humanos y también a los animales. Celina Vega, investigadora de la plataforma

técnico-organizativa para el desarrollo de proyectos tecnológicos del INTA (INCUINTA), destacó que “no sólo reemplaza importaciones y pone en valor desarrollos del sector público, sino que complementa las políticas sanitarias vigentes en el Calendario Nacional de Vacunación”.

Las enfermedades diarreicas graves son la **segunda causa de muer-**



te entre los niños pequeños. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los Rotavirus son los agentes infecciosos más comunes. Por año afectan a 110 millones de infantes, de los cuales 2 millones requieren hospitalización y se calcula que las muertes por esta causa superan los **500.000 casos**. Si bien son tratables, el rápido diagnóstico tiene un rol estratégico para el manejo clínico del paciente pediátrico, su evolución satisfactoria y el control de brotes epidémicos.

Juan Stupka, referente de la Red Nacional de Vigilancia de Gastroenteritis Virales, aseguró que los decesos por RV “ocurren principalmente en países en desarrollo, debido a la dificultad en el acceso a los servicios de salud y representan el 10 por ciento de las muertes prevenibles en la infancia”. En tanto, “se estima que, en la Argentina, Rotavirus produce entre 80.000 y 100.000 consultas médicas por año y es responsable del **40 por ciento de las internaciones** por diarrea aguda en los menores de 5 años”, manifestó.

En cuanto a la detección, Vega explicó que, antes de este desarrollo, “se realizaba generalmente mediante el uso de **kits importados**”. Tratándose de productos originados en el mercado externo, su valor, disponibilidad y tiempos de espera para su compra

eran muchas veces factores limitantes. “Esto impactaba directamente en el **sub-diagnóstico** de los casos de diarrea aguda infantil”, expresó.

Rápido, confiable y a medida

Rotadial, el kit para el diagnóstico de RV A fue reconocido como caso líder en innovación en el mercado nacional e internacional.

Rotadial es un test ELISA –del inglés Enzyme-Linked Immunosorbent Assay– **que utiliza VHH**. De acuerdo con la investigadora, “este inmunoensayo se basa en la capacidad de esos nanoanticuerpos para reconocer RV A en muestras clínicas, **con 99 por ciento de especificidad y sensibilidad diagnósticas**”. Cuando lo identifican, se le unen con alta afinidad y “esta interacción se evidencia luego a través de una reacción colorimétrica, que puede ser detectada a simple vista y cuantificada a través de un lector de densidad óptica”, comentó.

En presencia del virus emite un color intenso característico, mientras que en su ausencia permanece incoloro. “El proceso **demora tan sólo dos horas**, desde que se toma la muestra hasta conocer el resultado de la misma, y es llevado a cabo a temperatura ambiente, lo que conduce a un diagnóstico rápido y confiable”, dijo.

En el diseño tuvieron en cuenta algunos **aspectos técnicos novedosos**. Como estos anticuerpos son muy resistentes, el kit se puede usar a temperatura ambiente, no necesita agitación ni calor y lectura visual directa. Además, generalmente estos dispositivos se comercializan con unas pipetas costosas que, en este caso, fueron reemplazadas con un sistema de goteo que lo hace más económico y facilita su utilización. Estas características permiten que se realice en cualquier punto del país, de manera sencilla y que no requiera de un equipamiento específico.

“Ha sido validado contra paneles de muestras de referencia caracterizadas

ROTADIAL, EL KIT PARA EL DIAGNÓSTICO DE ROTAVIRUS A FUE RECONOCIDO COMO CASO LÍDER EN INNOVACIÓN EN EL MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL.

**“TRABAJAMOS CON EL IDEAL DE RESOLVER UNA PROBLEMÁTICA QUE AFECTA FUNDAMENTALMENTE A NIÑOS EN SITUACIÓN DE RIESGO”.
(CELINA VEGA).**

CARACTERÍSTICAS EXTRAORDINARIAS

En el año 2005, los especialistas del INTA iniciaron la línea de investigación en la tecnología VHH. Se trata de los fragmentos correspondientes a la porción variable de los anticuerpos de camélidos, que constituyen las moléculas más pequeñas existentes en la naturaleza, con la capacidad de reconocer a un agente infeccioso y neutralizarlo. Mientras los estudios realizados hasta este momento se centraban en atacar la parte externa del virus, los VHH obtenidos se unían a una proteína interna.

La capa superficial del virus, contra la cual suelen generarse las vacunas, cambia constantemente y de especie a especie. Por ejemplo, las cepas de Rotavirus A detectadas hasta el momento poseen 35 variantes en su capa externa, por lo que para lograr vacunas efectivas se desarrollan formulaciones multivalentes que inducen anticuerpos contra los serotipos más comunes que afectan a humanos. Estas vacunas son muy costosas y no incluyen algunos de los serotipos detectados en Sudamérica, África y Asia.

Por su pequeñez y capacidad de escabullirse, los VHH reconocen la parte interna del virus. A esta característica extraordinaria se suma que, a diferencia de otras moléculas –que expuestas a altas temperaturas o a cambios en el pH, suelen modificar su estructura–, los VHH mantienen sus propiedades funcionales en pH extremos y resisten altas temperaturas.

por el Instituto Malbrán, lo que garantiza su valor diagnóstico de las cepas de Rotavirus circulantes en nuestro país, algo que no puede decirse de los kits importados”, expresó Vega. La tecnología VHH usada en este ensayo demostró ser **capaz de reconocer con alta especificidad todas las cepas que se analizaron**, “lo cual es una característica diferencial única”, consideró.

Entre sus principales ventajas sobre los métodos que se utilizan actualmente, Stupka resaltó que “es un equipo nacional de alta calidad realizado con insumos innovadores que **permitiría el reemplazo de la importación**”. Teniendo certeza en la detección, también se disminuirían los costos de

tratamiento y el uso indebido de antibióticos, que no deben indicarse en caso de diarreas virales.

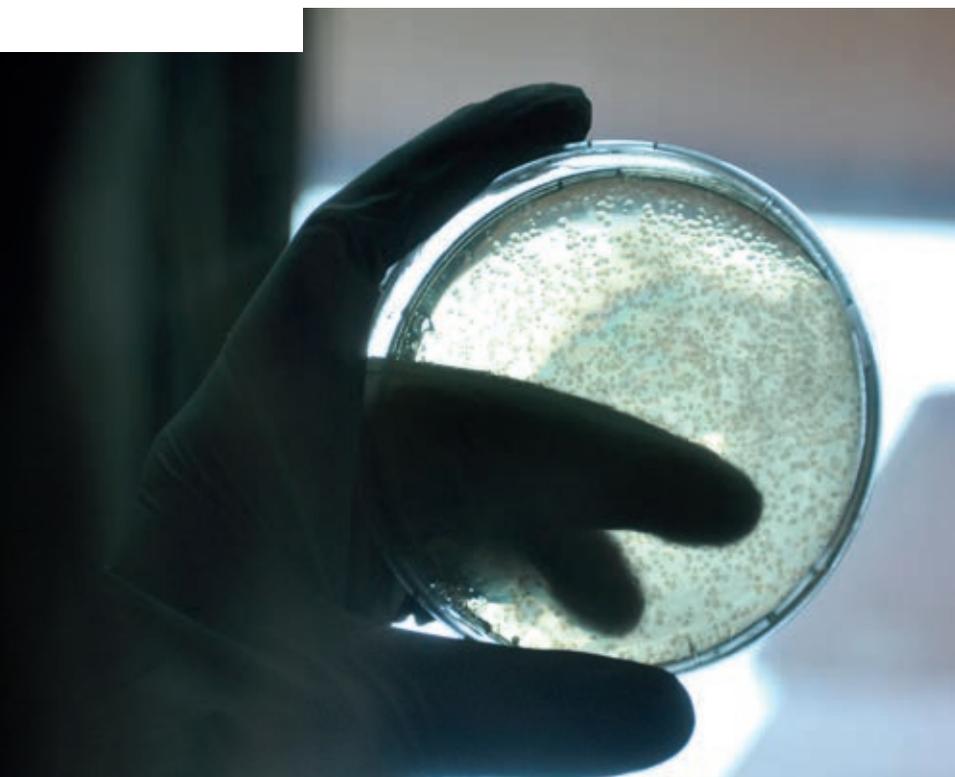
Además de diagnosticar la presencia del **agente infeccioso**, el test tiene la finalidad de consolidar el esfuerzo del Estado en la cobertura contra el RV, que fue incluida el 1º de enero de 2015 en el Calendario Nacional de Vacunación. En este sentido, contempla lo que sugiere la OMS: que cuando se aplican estrategias de vacunación masiva se cuente con un **plan de vigilancia complementario**.

Al respecto, Vega comentó: “Trabajamos con el ideal de resolver una problemática que afecta fundamentalmente a niños en situación de riesgo, donde el acceso a un rápido diagnósti-

co tendrá impacto directo en el manejo clínico satisfactorio del cuadro”.

Actualmente, existen en el mercado dos vacunas licenciadas para la prevención, compuestas por el virus atenuado, altamente eficaces para la reducción de la diarrea y la mortalidad. Sin embargo, presentan algunas limitaciones: por un lado, una vez que ocurre la infección, no hay tratamiento alguno; por el otro, en pacientes inmunocomprometidos su eficacia no está comprobada. Por lo tanto, “el rápido diagnóstico y manejo clínico del paciente pediátrico garantizan, no sólo la evolución satisfactoria del caso, sino también el control de brotes”, señaló.

Para Stupka, “resulta fundamental conocer la epidemiología y la carga



“ES UN EQUIPO NACIONAL DE ALTA CALIDAD REALIZADO CON INSUMOS INNOVADORES QUE PERMITIRÍA EL REEMPLAZO DE LA IMPORTACIÓN” (JUAN STUPKA).

de esta enfermedad para el diseño de estrategias e intervenciones en salud, con el propósito de prevenir y controlar las enfermedades que tienen un alto impacto en la población”.

En esa línea, explicó que el kit “no expresa cómo cambia el virus, pero al integrarlo a la vigilancia y mediante el envío de las cepas detectadas al Laboratorio Nacional de Referencia, permite este monitoreo o vigilancia molecular con un alto impacto a nivel país” y manifestó que “garantiza tener los medios para vigilar la circulación del virus y si la vacunación generó un impacto positivo en la salud”.

Como caso líder en el **mercado nacional e internacional** recibió el Premio Innovar 2016 en la categoría Producto Innovador y parte del reconocimiento fue también la distinción por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Al respecto, Andrés Wigdorovitz, director de INCUINTA, sostuvo que es un reconocimiento a 10 años de estudio: “Hay mucho trabajo de investigación y la distinción es la visualización de un largo camino”.

Resultado de la vinculación

Este producto, totalmente **desarrollado en la Argentina**, fue realizado entre

dos instituciones públicas: el INTA y la Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud (ANLIS). En el primer caso, por un equipo de investigadores del Instituto de Virología e INCUINTA del Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA). Por el otro lado, especialistas del Laboratorio de Gastroenteritis Virales del Instituto Malbrán.

El trabajo se inició, hace más de 10 años, cuando los investigadores del organismo tecnológico agropecuario trabajaban en un equipo de detección para la diarrea en vacas y, como resultado, obtuvieron el “primer nanoanticuerpo contra Rotavirus, mientras pensaban en el diagnóstico para terneros”, aseguró Wigdorovitz.

Esa herramienta, sumada a la demanda del Malbrán, dio lugar al desarrollo del **kit específico para salud humana**. “Fue realizada por un equipo de investigadores en una institución pública y contó con la participación de INCUINTA, donde se maduran los desarrollos”, destacó.

En la base del test de diagnóstico están los nanoanticuerpos VHH desarrollados por Lorena Garaicoechea, del Laboratorio de Virus Diarreico del INTA Castelar, en el contexto de su tesis doctoral y en colaboración con científicos del Laboratorio Europeo

de Biología Molecular (EMBL, por sus siglas en inglés). Por su capacidad innovadora, fueron patentados en más de 30 países, conjuntamente por el INTA y la empresa Algenex de España. **(Ver recuadro: Características extraordinarias)**

Viviana Parreño, responsable del Laboratorio de Virus Entéricos del Instituto de Virología y referente del proyecto INCUINTA, indicó que “tuvieron la novedosa propiedad de neutralizar a todos los Rotavirus, independientemente del serotipo y de la especie de origen”.

Para producirlos se inmuniza una llama y, cuando alcanza su máxima defensa contra el agente infeccioso, se le extrae sangre, se seleccionan los linfocitos circulantes y de allí el ARN –ácido ribonucleico– mensajero, que contiene los anticuerpos que elabora el camélido. Con el material se arma una biblioteca de genes que se emplea para seleccionar los VHH que están dirigidos contra la proteína o antígeno de interés, en este caso VP6 de Rotavirus.

“Al principio nos pareció que tenía mucho potencial, por lo que hacían en otros laboratorios del mundo, pero **jamás imaginamos que nosotros, desde Argentina, íbamos a llegar tan lejos**”, aseguró.

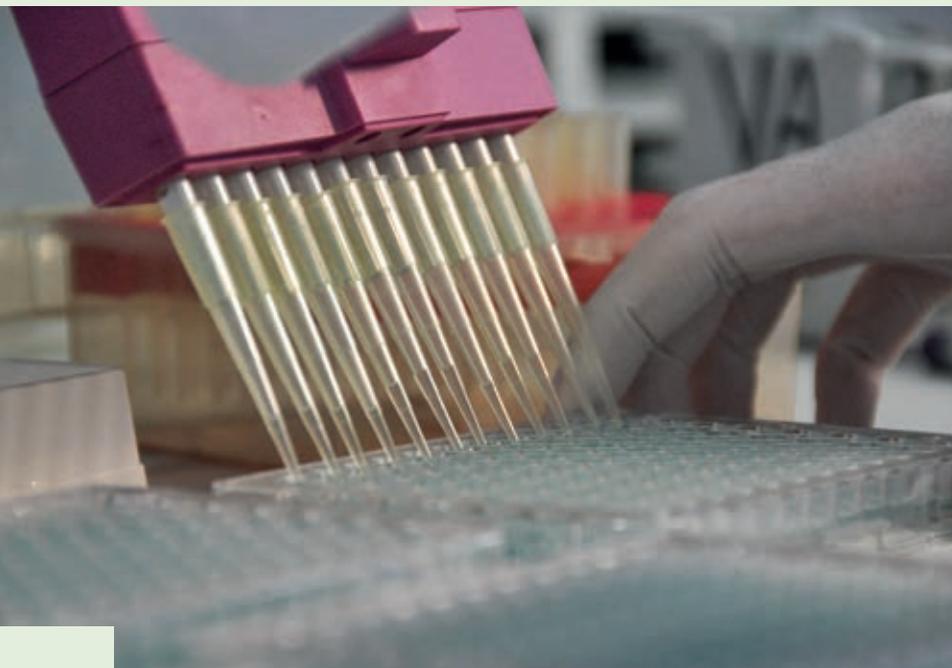
ESTE PRODUCTO, TOTALMENTE DESARROLLADO EN LA ARGENTINA, FUE REALIZADO ENTRE DOS INSTITUCIONES PÚBLICAS: EL INTA Y LA ANLIS.

RESGUARDO MUNDIAL

La complejidad de esta investigación radicó inicialmente en el hecho de transferir y desarrollar la tecnología VHH contra Rotavirus A. Posteriormente, el conocimiento de que los nanoanticuerpos generados y caracterizados presentaban cualidades únicas fomentó su protección mediante una patente.

Por otro lado, el resguardo del desarrollo por parte de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), asegura al INTA la exclusividad sobre el mismo en más de 15 países donde la patente fue reivindicada.

El grupo de trabajo desarrolla nanoanticuerpos VHH contra otros patógenos de importancia. Al respecto, Parreño resaltó que “es una de las principales líneas de INCUINTA y promete dar origen a nuevas patentes y productos para la salud pública y sanidad animal”.



primer Elisa basado en nanoanticuerpos VHH para detectar Rotavirus A en humanos del mundo”.

Del estudio también participaron Marina Bok, Gustavo Asenzo, Matías Aduriz y Juan Degiuseppe. A partir de los resultados obtenidos, el grupo de investigación de INCUINTA siguió con el desarrollo de VHH contra otros agentes infecciosos: norovirus –agente causal de diarrea por alimentos en humanos de todas las edades–, influenza H1N1 y otros agentes virales de interés veterinario, como el de la diarrea viral bovina y de la arteritis viral equina. Además, desarrollan nanoanticuerpos contra anticuerpos IgG de humanos, bovinos, ratones, cobayos e IgY aviar.

En paralelo al kit, y en el marco de la investigación en VHH iniciada en el año 2005, el grupo dirigido por Parreño está desarrollando un alimento funcional y un biofármaco para prevenir y tratar las diarreas por Rotavirus A en el contexto de un proyecto FONARSEC con tres empresas nacionales.

Más información:

Viviana Parreño
parreno.viviana@inta.gov.ar
 Juan Stupka
jstupka@anlis.gov.ar

Para el financiamiento del desarrollo, pidieron un PICT Start Up al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Con esa subvención sumada a 300.000 pesos destinados por el Ministerio de Salud de la Nación, el primer lote de reactivos

Rotadial –de 500.000 determinaciones– fue entregado a la ANLIS.

Al respecto, Parreño resaltó: “Si el desempeño del kit es óptimo es estos ensayos multicéntricos, de lo cual estamos convencidos, el siguiente paso será presentar el registro al ente regulador de la producción de estos equipos en salud humana –ANMAT– y sería el



EL ROL DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Generar conocimiento para la sustentabilidad

El desarrollo y la difusión de innovaciones tecnológicas son factores clave que determinarán el futuro de la productividad sostenible en un planeta muy poblado con una superficie agrícola limitada y erosionada. El aporte del INTA.

Por Laura Pérez Casar

En 1960, el mundo disponía de 0,45 hectáreas agrícolas para alimentar a sus 2.500 millones de habitantes. Hoy, la superficie se redujo a la mitad y sólo hay 0,24 hectáreas por persona para una población mundial que se triplicó y alcanza las 7 mil millones de habitantes. Entonces, ¿cómo seremos capaces de aumentar la productividad de un modo sustentable para alimentar a los 9 mil 200 millones de humanos estimados para 2050?

De acuerdo con los especialistas, será la implementación de innovaciones y tecnologías un factor clave para enfrentar semejante desafío. En especial, en aquellas regiones con la ventaja de poder extender sus superficies y rendimientos como son Asia, África y América Latina. Ahora bien, la Argentina ¿está a la altura de las circunstancias?

La ciencia es algo por lo cual el país puede considerarse orgulloso. Según

la Revista *Nature*, la Argentina está entre los 19 países que lideran proyectos y se destaca como líder regional, respaldado por su tradición científica.

De acuerdo con la revista científica, de reconocimiento internacional, la capacidad actual de nuestro país es relevante en ramas de la ciencia como la biomedicina, la nanotecnología, la energía nuclear, las ciencias agrarias, el desarrollo de satélites, la biotecnología y la informática.

Para llegar a esta conclusión, la revista comparó la cantidad de publicaciones, colaboraciones internacionales, impacto de los *papers*, gastos en investigación, cantidad de investigadores y patentes obtenidas.

En lo que respecta a la cantidad de investigadores, si bien Brasil cuenta con un plantel de científicos superior a los 100.000, casi dos tercios del total de Sudamérica, Argentina posee la mayor proporción de investigadores con casi 3 por cada 1.000 trabajadores, supera a China y sólo está por debajo de los Estados Unidos.

Desde hace 60 años, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) trabaja en investigación científica y tecnológica para mejorar la competitividad y contribuir al desarrollo sustentable nacional.

Con presencia en más de 400 puntos del país y llegada directa a más de 3 millones de personas, el INTA resuelve problemáticas de las regiones, poten-

cia el desarrollo agroindustrial y marca el futuro en investigación.

Y es en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) –ubicado en la localidad de Hurlingham, a 20 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires– donde se concentra gran parte del trabajo científico desarrollado por el INTA.

Cuatro centros de investigación –divididos en 16 institutos– y una planta de más de 1.300 personas –700 son investigadores– llevan adelante la política científica definida por un consejo técnico, en línea con la dirección nacional.

Con más de medio siglo de vinculación con el sector productivo, el CNIA del INTA comprende 70 mil metros cuadrados de laboratorios con equipamiento de última generación y se posiciona como el núcleo científico más importante de investigaciones agroalimentarias de la Argentina.

De acuerdo con Héctor Espina –director nacional del INTA– “desde hace

**SÓLO HAY 0,24
HECTÁREAS AGRÍCOLAS
POR PERSONA PARA
UNA POBLACIÓN
MUNDIAL DE 7 MIL
MILLONES DE HABITANTES**

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS CONTRA EL HAMBRE Y LA POBREZA

De acuerdo con la Evaluación Internacional del papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola (IAASTD) realizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), los conocimientos, la ciencia y la tecnología agrícolas pueden cumplir un papel fundamental en la consecución de los objetivos de desarrollo y sostenibilidad. Entre estos, se destacan: reducir el hambre y la pobreza, mejorar los medios de subsistencia en las zonas rurales, y promover un desarrollo equitativo y sostenible desde el punto de ambiental, social y económico.

Las proyecciones indican que, como resultado de los cambios demográficos y de las tendencias de la distribución del ingreso a nivel mundial en los próximos 50 años, se modificarán los patrones de consumo de alimentos y aumentará su demanda.

Así, se prevé que entre 2000 y 2050 la demanda mundial de cereales se incrementará un 75 por ciento y se duplicará la demanda mundial de carne. Más de las tres cuartas partes del crecimiento de la demanda de ambos productos se registrará en los países en desarrollo.

Las proyecciones indican una probable restricción de los mercados mundiales de alimentos en que la creciente escasez de recursos afectará negativamente a los consumidores y productores pobres. A su vez, se prevé una creciente escasez de agua y tierras, sumada a los cambios climáticos previstos, lo que limitará el aumento de la producción de alimentos.



60 años, el INTA posee centros, institutos y laboratorios donde se llevan a cabo procesos de investigación e innovación tecnológica en las cadenas de valor y en las distintas regiones con el objetivo de mejorar la competitividad y el desarrollo rural sustentable a escala nacional”.

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), “la tecnología determinará el futuro de la agricultura”. En este sentido, destaca tres cuestiones significativas: la biotecnología, el desarrollo sostenible y la dirección que deben seguir las futuras investigaciones.

La mayoría de estos desarrollos son generados por grandes empresas privadas que dirigen sus trabajos a los agricultores pudientes, sin considerar a los de escasos recursos. De allí, la importancia de que el sector público cubra esta brecha, señala la FAO.

Biología, para acelerar el desarrollo

De acuerdo con el informe de la FAO, la biología moderna tiene el potencial necesario para acelerar el desarrollo y la distribución de una mejor producción agropecuaria y es una herramienta importante en la lucha

contra el hambre y la pobreza, especialmente en los países en desarrollo.

El Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas – CICVyA–, formado por los institutos de Biotecnología, Genética, Microbiología y Zoología Agrícola, Patobiología y Virología, desarrolla innovaciones “aplicadas a las áreas de sanidad, mejoramiento animal y vegetal y gestión ambiental”, apunta Elisa Carrillo, directora de la unidad.

Además, resalta la importancia de pensar la ciencia en función de las demandas sociales y productivas: “La fuerte inserción de este centro, y de todo el CNIA, en la matriz institucional permite responder a los problemas emergentes y anticipar futuras oportunidades del sector agroalimentario y agroindustrial”.

Cultivos regionales. El Instituto de Biotecnología, junto con el INTA Sáenz Peña –Chaco–, obtuvo un clon infeccioso del CLRDV, virus que causa la enfermedad azul del algodón y puede generar pérdidas de cosecha de entre el 70 y 80 por ciento en variedades susceptibles. Esta herramienta facilita la selección de germoplasma resistente al CLRDV.

Mejoramiento vegetal. El Instituto de Genética desarrolló las mutantes que

**PARA NATURE,
LA ARGENTINA ESTÁ
ENTRE LOS 19 PAÍSES
QUE LIDERAN PROYECTOS
CIENTÍFICOS Y SE DESTACA
COMO LÍDER REGIONAL.**



**PARA FAO,
“LA TECNOLOGÍA
DETERMINARÁ EL FUTURO
DE LA AGRICULTURA”.**

y llegó al mercado por un convenio de vinculación entre el INTA y la empresa argentina Rizobacter.

En salud pública. Los laboratorios del Instituto de Patobiología son una sede de referencia para la Organización Mundial de Salud Animal en materia de leptospirosis, brucelosis y enfermedades espongiiformes transmisibles, como el Mal de la Vaca Loca. Además, crearon un kit de diagnóstico para controlar en bovinos la bacteria causante del Síndrome Urémico Hemolítico.

De vanguardia. Vedevox es la primera vacuna recombinante a subunidad que, desarrollada en la Argentina y aprobada por Senasa, previene la diarrea neonatal de los terneros, enfermedad que afecta a más del 70 por ciento de los rodeos. Esta innovación surgió del trabajo del Instituto de Virología del INTA, Incuinta y los laboratorios Bioinnovo, Vetanco y Algenex.

Por la sustentabilidad de las producciones

En materia de sustentabilidad, la FAO asegura que dado un entorno de políticas de fomento, los tres próximos decenios podrían ser testigos de métodos de cultivo capaces de reducir los daños medioambientales y de mantener o incluso aumentar la producción.

En esta línea trabaja el Centro de Investigación en Recursos Naturales del INTA –CIRN–, una unidad que reúne a los institutos de Clima y Agua, Suelos, Floricultura y Recursos Biológicos que, de manera articulada, “trabajan en temas estratégicos asociados con los recursos naturales y del ambiente en sus distintos niveles de organización,



originaron las variedades de arroz tolerantes a herbicidas del grupo de las Imidazolinonas, patentadas internacionalmente, que se utilizan en 600 mil hectáreas entre Argentina y Brasil.

Bioinsumos. El Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola creó el primer biofungicida líquido del país contra enfermedades que afectan la emergencia del trigo y de otros cereales de invierno. Controla cerca del 40 por ciento de los patógenos del suelo

desde el gen hasta el paisaje”, asegura Pablo Mercuri, director del CIRN.

“Son temáticas hoy requeridas tanto por los sectores público y privado, como por las normativas emergentes que exigen producir con preservación del ambiente y conciencia social”, considera.

Cultivares de exportación. Obtenida por el Instituto de Floricultura y evaluada en Estados Unidos, *Calibrachoa Superbells Garden Rose* es una variedad ornamental que llegó a ese mercado con licencia del INTA y la empresa Proven Winners. Así se sumó a las dos variedades de Mecardonia que se comercializan en Japón, Estados Unidos y Canadá, en articulación con la firma Sakata.

Cartografía. La Carta de Suelos de Las Lajitas –Salta– es uno de los primeros trabajos cartográficos en el sector occidental del Chaco-Salteño que encabezó el Instituto de Suelos del INTA. Con una escala de 1:50000, facilita la toma de decisiones productivas y el manejo edáfico.

GeoINTA. Desarrollada y coordinada por el Instituto de Clima y Agua, esta plataforma permite consultar cartografías, bases de información georeferenciada, datos satelitales y aerofotográficos. Se construye cooperativamente entre distintas unidades del INTA mediante interfaces, herramientas de software libre y principios de datos abiertos.

Forestales. En línea con la Ley Nacional de Bosques Nativos, el Instituto de Recursos Biológicos emplea herramientas moleculares para caracterizar poblaciones y ejemplares genéticamente diversos de algarrobos, cedros, cipreses, entre otras especies. Esto facilita el resguardo genético y provee material para mejoramiento y propagación.

Cadenas más productivas con menos riesgos

Por último, la FAO advierte sobre los riesgos de la intensificación productiva y el mayor protagonismo de los productos cárnicos y lácteos en la dieta humana. La producción pecuaria representa actualmente del orden del 40 por ciento del valor bruto de la

producción agropecuaria mundial y su proporción va en aumento.

En este sentido, los institutos de Tecnología de Alimentos e Ingeniería Rural constituyen el Centro de Investigación de Agroindustria –CIA–, con el desafío de agregar valor a la producción agroindustrial a partir de procesos e innovaciones que mejoren la competitividad de las cadenas y la calidad y seguridad alimentaria.

Jorge Carrillo, director de la unidad, destaca el potencial del CIA para atender las demandas del sector y de la escena global: “El trabajo en red con otros organismos permite acceder a complejas investigaciones e incrementar soluciones a escala local-regional y trasladarlas a lo mundial”.

Quesos funcionales. El Instituto de Tecnología en Alimentos, junto con la empresa cordobesa Capilla del Señor S. A., obtuvo el primer queso enriquecido con fitoesteroles y antioxidantes naturales del país.

Detector de malezas. El Instituto de Ingeniería Rural diseñó un detector que genera un mapa georeferenciado

de las malezas presentes en un lote en forma dinámica. En el marco de un plan basado en Buenas Prácticas Agrícolas, esta información optimiza la aplicación de fitosanitarios.

Más información:

Héctor Espina
espina.hector@inta.gob.ar
Elisa Carrillo
carrillo.elisa@inta.gob.ar
Pablo Mercuri
mercuri.pablo@inta.gob.ar
Jorge Carrillo
carrillo.jorge@inta.gob.ar
Andrea Maggio
maggio.andrea@inta.gob.ar

CON PRESENCIA EN MÁS DE 400 PUNTOS DEL PAÍS, EL INTA TIENE LLEGADA DIRECTA A MÁS DE 3 MILLONES DE PERSONAS.

AGRICULTURA FAMILIAR

Con poco más de una década, el Centro de Investigación para la Agricultura Familiar –CIPAF– es el más reciente y el único con representación en todo el país mediante sus institutos en la región Pampeana, NOA, NEA, Cuyo y Patagonia.

Con una estrategia de red interinstitucional e interdisciplinaria y una metodología que prioriza la participación de los agricultores, trabaja en temáticas de acceso al agua y a la tierra, maquinarias y herramientas apropiadas, energías renovables, agroecología, comercialización, agregado de valor en origen y valorización de cultivos locales.

“En cada región aplicamos estas líneas a producciones locales como hortalizas, quinua, caña de azúcar, cabras, vicuñas, mandioca, banano, hortalizas y otras especies comerciales o de valor cultural para este sector”, explica Andrea Maggio, directora del CIPAF.

EL IMPACTO DE INTEGRAR SCOPUS

Revista RIA: el desafío de comunicar

Su ingreso a la base de indexación más importante del mundo, le permite a los integrantes del Comité Editorial analizar el lugar de las revistas científicas especializadas como herramientas para de difusión y promoción de la generación de conocimiento en agroindustria.

Por Mario Migliorati

“Hoy, donde estos sistemas como Scopus permiten evaluar el grado de trazabilidad y de aceptación que tiene un trabajo, se busca la calidad antes que la cantidad”.

“Escribir es desarrollar una competencia y publicar es aceptar una discusión”, afirma Carlos Di Bella (47), director del Instituto de Clima y Agua del INTA y presidente del Comité Editorial de la Revista de Investigaciones Agropecuaria (RIA), quien junto a Miguel Taboada (61), director del Instituto de Suelos y miembro del Comité, reflexionan acerca de los procesos que involucran la publicación en revistas científicas.

En la entrevista, los investigadores de INTA – Conicet analizan el impac-

to que tiene el ingreso de la principal publicación del INTA a Scopus, la mayor base de resúmenes y referencias bibliográficas de literatura científica revisada por pares. Consideran que las tendencias en investigación y publicación científica evolucionan constantemente así como sus herramientas de evaluación, por lo que RIA se abre camino frente a una nueva perspectiva en evaluación de revistas científicas.

Sobre cómo y dónde publicar “depende de la revista”, señalan tras referirse a que en esta elección se requiere revisar el prestigio y reconocimiento de la publicación en la disciplina, verificar su indexación, su vinculación con una sociedad científica o institución reconocida, si posee alguna métrica reconocible; y saber quién es el editor

y los miembros del comité editorial, su identificación y seguimiento.

Las 30 mil revistas que publican más de 2 millones de artículos científicos cada año, conforman la oferta sobre la que deciden investigadores de todo el mundo para dar a conocer sus investigaciones. En ese universo que reúne a más de 2 mil editoriales se encuentra la Revista RIA que desde 1947 se consolida a nivel institucional.

¿Cuál es la percepción que ustedes tienen con respecto a la producción y la divulgación científica en el INTA?

Carlos Di Bella (CDB): Está dentro de nuestras metas de trabajo y muchas de nuestras evaluaciones y productos dependen de eso pero, sin lugar a

“LA REVISTA RIA JUEGA UN ROL INSTITUCIONAL IMPORTANTE PORQUE PERMITE MOSTRAR LO QUE SE HACE EN NUESTRA INSTITUCIÓN”.
(CARLOS DI BELLA)





dudas, todavía nos falta si nos comparamos con otras instituciones, con el nivel de publicaciones que tiene el CONICET. Evidentemente el esfuerzo es necesario para alcanzar ese nivel.

Miguel Taboada (MT): Hay que reconocer que no todo el INTA es igual. En ese sentido, un estudio de hace unos años de la revista de divulgación científica *Ciencia Hoy*, titulado: "Análisis bibliográfico de la investigación agro-nómica en la Argentina" -Volumen 12 Nº 70, Agosto - Septiembre, 2002-, se refería al estado de la investigación de las ciencias agropecuarias en el país. En esa "fotografía" o "diagnóstico", que ya tiene algunos años y que con el tiempo cambió, dejaba en claro que dentro del INTA la difusión en revistas con referato presentaba una enorme diversidad. Se presentaban unidades con amplia potencialidad como la Unidad Integrada Balcarce y otras que no tenían el mismo desarrollo. Por tanto, queda abierta la pregunta acerca de: ¿por qué en un lado se genera más producción que en otro?

... aumentar el número de producciones, ¿es una capacidad trabajar?

MT- Quizás en cuáles son los mecanismos. Porque lo que se analizaba —en la revista—, y no digo que sea la única fórmula, era que la Unidad Integrada Balcarce, conformada por el INTA y la Universidad Nacional de Mar

del Plata. Allí se generaba un dinamismo en la producción científica que en otros lados no existía. Y esa podía ser una de las fórmulas.

El gran cambio es la globalización y hoy en día no estar o no aparecer es un problema; hay que hacer un esfuerzo grande para figurar en el radar, para que vean nuestras investigaciones.

CDB- Esto es de lo que hablamos cuando promovemos talleres de escritura de artículos técnicos y científicos, en muchos casos desde la Revista RIA para estimular la escritura en otros lugares del país dentro del INTA. Este proceso de la escritura es algo que se aprende de distintas maneras; pero en esos lugares donde se presenta una mayor tasa de publicación también hay mucho de imitación: un estudiante que mira a un becario, éste a su director y así se generan vínculos y liderazgos que fortalecen los procesos de aprendizaje de la escritura.

Estos procesos, ¿tienen que asumirse como naturales del investigador?

MT- El verdadero problema que hay es cuando esto se torna una carga. Cuando ingresamos en agronomía, veterinaria o ciencias biológicas lo hacemos por vocación. En parte, esto representa un juego y cuando nos piden la otra parte, que es ponernos a escribir, deja de serlo. Y la clave es sentir

que lo que hacemos es divertido, lo que no quiere decir que no se haga seriamente. Y la gran clave es cuando se descubre algo que no se sabía, hecho que es estimulante y ayuda a seguir adelante. Cuando se convierte en rutina... se perdió el juego.

CDB- Evidentemente hay gente que se toma esto como un trabajo. Conozco muchos investigadores que se proponen publicar 1 o 2 artículos científicos por año y lo logran. Pero si a esto le agregas el gusto de hacerlo, toma otra dimensión. Además de que nos debe gustar lo que hacemos, tiene que haber deseo y ganas de publicar y de dar a conocer lo que se hizo, que se sepa lo que se logró y que los demás puedan opinar al respecto.

¿Cómo creen que la Revista RIA contribuye en la difusión del conocimiento?

CDB- En esta nueva etapa pero también en las anteriores, la Revista RIA juega un rol institucional importante porque permite mostrar lo que se hace en nuestra institución. De un lado a los investigadores para conocer qué líneas de investigación se desarrollan y, a su vez, para dar a conocer a la sociedad lo que hace el INTA.

Esperamos que esta nueva etapa, integrada a estos sistemas de indexación internacional como es Scopus, le otorgue otro nivel a la publicación

como la posibilidad de trascender la institución y las temáticas. Esto representará un salto cualitativo para la revista y para los investigadores que publican, en cuanto a la calidad y cantidad de artículos.

MT- Un hecho notable es que la Argentina debe ser el único país agroexportador destacado que, como jugador mundial, no contaba con una revista de igual alcance a diferencia de los Estados Unidos, que cuenta con varias revistas, Australia, Francia como otros integrantes de la Unión Europea.

En Argentina cada facultad de agronomía cuenta con una publicación con distintos niveles de aceptación y calidad. Y el INTA venía con una revista con una historia muy rica pero, también, con sus más y sus menos históricamente. Por lo que aparecer en Scopus es un salto de calidad importante, que nos hace jugar en el mundo y es el puntapié inicial para que el país tenga su gran revista de agricultura en ese escenario.

¿Qué cambia para la Revista RIA su incorporación en el sistema de indexación de Scopus?

MT- El cartel Scopus pesa enormemente entre los investigadores. En primer lugar porque agrupa a más de la mitad de las revistas a nivel global; y, en segundo término, nos guste o no, nos califica en base a la cantidad de veces que nos leen y citan. Ecuación de la que surge el índice h (*h-index*, en inglés), el cual nos dice en los últimos

años: cuántos trabajos hemos publicado y cuántas citas hemos recibido por cada uno.

En algunos organismos, este índice h señala el reconocimiento que alcanza un investigador, aunque debe también señalarse que posee sus limitaciones por lo que existe riesgo en considerar el reconocimiento de un investigador sólo por este índice. El índice h se relaciona también con el factor de impacto que tiene la revista, aunque tampoco hay que quedar esclavo del impacto de una revista, ya que depende mucho del tipo de publicación y su disciplina. Y vale un ejemplo. En ciencia, una revista que trabaja sobre temáticas referidas al SIDA tiene un alto impacto por el número de lectores que alcanza, mientras que para una disciplina como, por ejemplo, la horticultura alcanzar ese mismo nivel de impacto es imposible, porque la lee un grupo más reducido.

Y si bien Scopus es de los más importantes, no es la única plataforma que clasifica y califica a las publicaciones. Por otro lado, estos índices tienen sus críticas pero es el que se usa en los organismos de ciencia y tecnología.

CDB- En Scopus confluyen tecnología, circulación de esa tecnología, información y disponibilidad de la misma, y todo coincide para que estos sistemas permitan tener trazabilidad de las publicaciones hechas. De cada artículo publicado se puede conocer quién lo publicó, quién lo leyó, cuántas veces lo citaron y en dónde; todos elementos que en cierta medida dan una

idea acerca del grado de aceptación de lo que publicamos. De esta manera se alcanza una dimensión que no era posible antes con la tecnología que se contaba.

Pero representa una pequeña porción de lo que es la producción científica...

MT- Propuesto así, uno pensaría que esto es algo inalcanzable. Pero que RIA se involucre con este universo es algo muy importante. Quienes conformamos el Comité Editorial buscamos hacer este trabajo con seriedad pero, también, estimulamos y ayudamos a los investigadores jóvenes a que se animen a dar el primer paso. Priorizamos que la información genuina que se presenta en un artículo sea de calidad.

¿Cuáles deben ser las prioridades del investigador a la hora de elegir una revista donde publicar?

CDB- En parte tiene que ver con las charlas que generamos desde RIA. Allí señalamos que se deben identificar las editoriales dónde publicar, lo cual requiere de una búsqueda pero, sobre todo, de reconocer dónde no publicar como parte del ejercicio. Cuando el investigador ya generó el producto tiende a identificar cuál es la revista que mejor se acopla con ese trabajo. Se trata de ensamblar lo realizado, con el objetivo y la orientación que tienen cada una de las revistas en las que puede publicar. Con ese grado

**“APARECER EN SCOPUS ES UN SALTO DE CALIDAD IMPORTANTE, QUE NOS HACE JUGAR EN EL MUNDO”.
(MIGUEL TABOADA)**



SCOPUS, UN OBJETIVO ALCANZADO

El posicionamiento de la Revista RIA del INTA en distintos sistemas de indexación de publicaciones se completó recientemente con su incorporación a Scopus. Considerado el sistema de estudios bibliométricos y evaluaciones de producción científica más importante del mundo, trae beneficios para los investigadores a la vez que posiciona a la publicación entre las principales revistas del sector en Latinoamérica.

Anterior a la creación del INTA -1956- y con 69 años de historia, es la principal publicación científica con referato de acceso libre de la institución que, desde su relanzamiento en 2011, experimentó un notable crecimiento motivado por la calidad de los trabajos científicos que publica trimestralmente en sus versiones papel y digital en ria.inta.gob.ar.

“Con el apoyo de las autoridades institucionales y aporte conjunto de los investigadores, a través de sus artículos y la calidad del trabajo del Comité Editorial, no dudamos que la revista RIA continuará con el incremento de su calidad y jerarquía”, indica Juan Manuel Fernández Arocena, Director Nacional Asistente de Sistemas de Información, Comunicación y Calidad.

La Revista RIA se destaca entre las publicaciones en español en temáticas asociadas a la agronomía y se suma a las 13 revistas argentinas especializadas en la materia, de un grupo de 56 –de distintas disciplinas- que actualmente están indexadas en Scopus. El sistema la ubica en el cuartil 4 (Q4) según el valor del SJR -acrónimo de *SCImago Journal Rank*- obtenido en la evaluación.

Gestionada y editada por el INTA, “creció para darle visibilidad a todas las actividades que se hacen en investigación y poder, así, mostrar la potencialidad que tiene la ciencia y tecnología en la Argentina”, reconoce Norma Pensel, quien dirige la revista junto a Máximo Bontempo.

Esta publicación que también incorpora artículos de otras instituciones de ciencia y tecnología del ámbito agropecuario y agroalimentario, “acerca a la sociedad trabajos científicos, investigaciones y notas de divulgación de la ciencia, donde se difunde la tarea de los organismos afines de nuestro país”, señala Bontempo, quien además destaca: “Abarca diferentes temas preparados por profesionales del INTA y de otras instituciones y está destinada a la comunidad científica nacional e internacional”.

RIA pasa a integrar sus artículos a esta base que reúne las herramientas adecuadas, tales como: perfil de autor, perfil de institución, rastreador de citas, índice h y analizador de revistas científicas.

Ya incorporada a otros sistemas como Scielo, Thompson Reuters, Latindex y Núcleo Básico, aumenta los beneficios al que ya accedía el investigador como es la traducción de artículos al idioma inglés a cargo de la revista.

**“EL INVESTIGADOR
ES QUIEN TIENE
QUE ENCONTRAR CAMINOS
DIFERENTES Y AVANZAR
EN LA FRONTERA
DEL CONOCIMIENTO”.
(MIGUEL TABOADA)**

de compatibilidad se busca conocer qué factor de impacto alcanzan para determinar el nivel o público al que se llegará con la publicación. Esto es parte de un sinceramiento que se alcanza a partir del conocimiento del universo de publicaciones posibles. Donde el objetivo último es lograr grados de trascendencia cada vez mayores con la producción científica. Si se alcanza, es porque lo leyeron, aplicaron y usaron más investigadores.

MT- Un mensaje para los jóvenes que se involucran en esto, es ir contra el pensamiento mediocre. Este es el gran drama de la investigación. Asusta conocer que en las instituciones de ciencia y técnica hay personas que dicen: “Encontré estos resultados”, y, afortunadamente se parece a lo que encontraron los otros. Lo interesante es encontrar cosas distintas y, peor aún, mucha gente se asusta de encontrar cosas distintas. El investigador es quien tiene que encontrar caminos diferentes y avanzar en la frontera del conocimiento. En esto consiste erradicar el pensamiento mediocre.

CDB-Pero para que este tipo de pensamiento brote tiene que haber un ambiente propicio.

¿En qué medida la Revista RIA incluye a la investigación de orden social que se genera en la Institución?

MT- ¿Y la comunican en otros lados?

...Debería revisarse esta pregunta también...

MT- En los organismos evaluadores se plantea este tema y no es sólo de RIA. Hay que aceptar que las humanidades tienen otros caminos. Uno ve que profesionales en estas disciplinas, como son los sociólogos rurales, editan libros y es algo importante para la producción científica. Cuestión que en el ambiente que compartimos con Carlos –Di Bella-, donde hacemos investigación aplicada, pero en las que manejamos datos crudos, el capítulo de un libro es algo posterior al *paper* original.

El INTA incluye a las humanidades, por lo que debe abrir ese espacio necesario a las publicaciones pero, aunque parece obvio, debe hacerse seriamente y de igual manera chequeadas.

CDB- Ya pasa en la Revista RIA que la dimensión social aparece en trabajos que antes no la contenían. Vemos que proyectos de investigación incorporan la dimensión social y se la promueve para que integre los mismos, o, en tal caso, aparece cuando a través de estas se logra territorialidad.

¿Y cómo hace la revista para contener estas publicaciones?

CDB- Hace un tiempo comenzamos a prestarle atención a la producción de este tipo de trabajos. Hemos incorporado en el Comité Editorial especialistas en estas temáticas. Hemos



atravesado distintos momentos, en un principio nos llegaban muchísimos trabajos del área de la fruticultura pero luego se ampliaron las temáticas que incluían la dimensión social, donde comenzaron a participar los grupos de extensión. Por lo que hoy es una necesidad contar con especialistas en estas temáticas aunque vemos, en un futuro no tan lejano, que vamos a requerir especialistas que puedan integrar todos estos conocimientos.

Y ante lo que señalan, ¿qué nuevos intereses y temas surgen?

MT- Hay distintos niveles. Hay temas que tienen una importancia local, con esto queremos decir que para un agricultor es importante qué dosis de nitrógeno tiene que aplicarle al trigo para maximizar un rendimiento, y el INTA tiene que hacer eso. Pero esto no es un conocimiento original. Hay que hacerlo pero para ello se debe trabajar con otros medios como, por ejemplo, un boletín técnico.

Evidentemente las demandas son otras. El gran tema del congreso de la ciencia del suelo que se realizó en Río Cuarto –Córdoba- no fue cómo lograr más rendimiento, sino cómo afrontar los conflictos que aparecen en los límites urbano-rurales por las fumigaciones.

CDB- Veíamos en los trabajos que cuando el objetivo era publicar se le sacaba el máximo provecho a la can-

tidad de publicaciones. De un trabajo se trataban de publicar cuatro *papers*. Hoy, donde estos sistemas como Scopus permiten evaluar el grado de trazabilidad y de aceptación que tiene un trabajo, se busca la calidad antes que la cantidad. Ya no se busca publicar, sino que lo lean y que apliquen ese conocimiento.

¿Cómo evalúan los últimos años de la ciencia y técnica nacional?

MT- Uno se encuentra con realidades como son las nuevas universidades. En la Universidad Nacional de Río Cuarto, por ejemplo, la especialidad de suelos ha crecido muchísimo. Y es producto de una política y de que haya investigación de calidad. Si hoy se compara con veinte años hacia atrás, nos encontramos con gratas sorpresas de investigaciones que proceden de lugares donde antes eran impensadas.

¿Qué queda por delante?

MT- Lograr que la Argentina tenga un sistema de ciencia y técnica en el agro que acompañe en el mismo nivel a la agricultura y contribuya en mejorarla.

CDB- Sin lugar a dudas, la política de una mayor inversión en ciencia y con repatriación de investigadores nos colocó en otra posición frente al mundo científico. Tanto como para que no fuéramos a buscar afuera lo que po-

díamos hacer en el país, como también en la manera de relacionarnos con los otros. Una mayor inversión y disponibilidad de fondos catalizan otro tipo de relacionamiento, mucho más fuerte y profundo.

Por último, quiero señalar algo en lo que siempre reparamos en nuestras charlas: escribir es desarrollar una competencia y publicar es aceptar una discusión. Comprender esto es muy importante para el investigador.

Más información:

Carlos Di Bella

dibella.carlos@inta.gob.ar

Miguel Taboada

taboada.miguel@inta.gob.ar

“LA POLÍTICA DE UNA MAYOR INVERSIÓN EN CIENCIA Y CON REPATRIACIÓN DE INVESTIGADORES NOS COLOCÓ EN OTRA POSICIÓN FRENTE AL MUNDO CIENTÍFICO”.
(CARLOS DI BELLA)



Pastillas

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

Diseñar árboles

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria participó de la creación de "breedR", una plataforma estadística de vanguardia -destinada a la comunidad científica- que brinda precisión en la selección genética forestal. De acceso público y gratuito, facilita mayores rendimientos y una mejor calidad de la madera de las plantaciones. Surgida a partir del proyecto internacional "Diseñar árboles para el futuro" -Trees4Future-, que conforman 28 organizaciones de 13 países europeos, y con un presupuesto total de 9 millones de euros, los especialistas se propusieron integrar, desarrollar y mejorar las principales infraestructuras de genética forestal e investigación forestal a nivel europeo.



Vino papal

La elaboración del vino denominado "Todos" con la variedad blanca Torrontés Riojano será de uso exclusivo para el Papa Francisco. Los 450 litros enviados a Roma -Italia- corresponden a una uva nativa de Argentina que no se encuentra en otros países y reemplaza a la tradicional variedad utilizada para la elaboración del vino papal, la Moscatel de Alejandría.

La vinificación de la materia prima se realizó en la planta piloto del INTA en Luján de Cuyo -Mendoza- y se elaboró según el método del Padre Oreglia y fue certificado por el Arzobispado de Mendoza como "vino de misa". Sus uvas tienen aromas florales de azahares y rosas con sutiles notas frutales, de melón y durazno blanco.



Paleoclimatología

Este enfoque que se aplica a la reconstrucción del clima en el pasado en el noroeste del país, permite tener un registro mayor de las condiciones climáticas de los últimos 560 años para la toma de decisiones productivas. El investigador Flavio Speranza, de la Estación Experimental de Cultivos Tropicales del INTA Yuto -Jujuy-, lleva adelante estudios paleoclimatológicos que recuperan distintos aportes disciplinares y aproximaciones mediante indicadores climáticos que "dejan rastros en diferentes ambientes". Estas investigaciones permitirán reconstruir la dinámica geomorfológica y de paisaje, a la vez que inferir los tipos de asociaciones de vegetación presente y su grado de fragilidad.

Premio INNOVAR

El kit para la detección de rotavirus en diarrea neonatal en niños, desarrollado por investigadores del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y el Instituto Malbrán, recibió el galardón en la categoría Producto Innovador de INNOVAR 2016. Fue premiado como caso líder de innovación en el mercado nacional e internacional para el diagnóstico rápido de Rotavirus (RVA) en niños, ya que la infección con el virus es la principal causa de diarrea aguda. El premio a esta línea de investigación -con más de 10 años de historia-, es un reconocimiento al trabajo que no se ve. Tiene dos finalidades: detectar si el agente infeccioso es rotavirus y consolidar el esfuerzo del Estado en la cobertura de la vacuna.



Bioinsecticida

Este desarrollo del INTA y avalado por los resultados positivos de experimentos en laboratorio, se presenta como alternativa al control químico contra el escarabajo de la cama de pollos. De impacto mundial en granjas avícolas, esta plaga endémica se encuentra comúnmente en alta densidad en las camas de pollos donde se reproduce por el alimento balanceado, heces y aves muertas.

El manejo y control del escarabajo de la cama de pollo (*Alphitobius diaperinus*), representa un desafío por los daños directos, sanitarios y ambientales que ocasiona. En esta tarea se encuentran investigadores del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola -IMyZA- de Castelar.



Políticas de Publicación

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

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.

Pestivirus emergentes HoBi: impacto en salud animal y su importancia como contaminante de insumos biotecnológicos

PECORA, A.¹; PÉREZ AGUIRREBURUALDE, M.S.¹; MALACARI, D.A.¹; ZÁBAL, O.¹; BAUERMANN, F.²; RIDPATH, J.²; DUS SANTOS, M.J.¹

RESUMEN

Los virus HoBi son un grupo de Pestivirus emergentes que afecta a bovinos y bubalinos y son contaminantes muy comunes de productos biológicos. Luego de ser identificados por primera vez en Alemania a partir de muestras brasileñas en el año 2004, han sido reportados numerosos aislamientos de virus HoBi en Brasil, Italia y algunos países asiáticos. De este modo, este patógeno ha generado preocupación en veterinarios y productores de rodeos bovinos y bubalinos al haber estado involucrado en eventos de cuadros respiratorios severos, abortos y animales persistentemente infectados.

Debido a la falta de un sistema de vigilancia activo para estos nuevos patógenos y a que puede confundirse con Diarrea Viral Bovina, no se conoce su verdadero impacto sobre las poblaciones bovinas. En Argentina, la presencia de los virus HoBi no ha sido estudiada, ni desde el punto de vista epidemiológico ni en cuanto a su potencial como agente adventicio en productos biológicos y líneas celulares. El objetivo de este artículo es brindar un análisis de la situación epidemiológica mundial de los virus HoBi para generar un acercamiento y despertar el interés de los veterinarios, virólogos y autoridades sanitarias por este patógeno emergente. Es fundamental lograr una mayor inversión y participación en actividades de investigación interdisciplinarias para aclarar aspectos básicos de la epidemiología de estos nuevos patógenos y de su posible impacto en los sistemas productivos de los países de Sudamérica.

Palabras clave: Virología, agentes contaminantes.

ABSTRACT

HoBi-like viruses are a group of emerging Pestiviruses which affects cattle and water buffaloes and are common contaminants of biological products. After the first detection from Brazilian samples in Germany in 2004, several HoBi-like isolates have been reported in Brazil, Italy and some countries of Asia. Thus, this pathogen has caused concern to cattle and buffalo farmers and veterinarians as it has been involved in events of severe respiratory symptoms, abortions and persistently infected animals and mucosal like-disease.

Due to the lack of an active surveillance system for HoBi-like viruses and since infections with them can be mistaken for bovine viral diarrhea, the true impact on cattle populations is unknown. In Argentina, the existence of HoBi-like viruses has not been studied, nor from an epidemiological point of view or in terms of its potential as an adventitious agent in biological products and cell lines. The aim of this article is to provide an analysis of the worldwide epidemiological situation of HoBi-like viruses, in order to generate an approach and to awaken interest in veterinarians, virologists and health authorities for this emerging pathogen. It is essential to achieve greater investment and participation in interdisciplinary research to

¹Centro de Investigaciones en Ciencias Veterinarias y Agronómicas, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: pecora.andrea@inta.gov.ar

²Ruminant Disease and Immunology Research Unit, National Animal Disease Center, USDA, Agricultural Research Service, Iowa, Estados Unidos.

clarify basic aspects of the epidemiology of this new pathogen and to establish its possible impact on the productive systems of the South American countries.

Keywords: Virology, animal health, contaminant agents.

INTRODUCCIÓN

El género Pestivirus, de la familia *Flaviviridae*, está compuesto por los Virus de la Diarrea Viral Bovina de los tipos 1 y 2 (VDVB 1 y VDVB 2), Virus de la Peste Porcina Clásica (VPPC) y el Virus de la Enfermedad de las Fronteras (VEF) (Collett *et al.*, 2005). Los VDVB 1 y VDVB 2 son importantes patógenos que afectan principalmente a bovinos y la circulación de este virus en sistemas productivos resulta en pérdidas económicas significativas en todo el mundo (Houe, 2003). La infección con VDVB resulta en un amplio rango de manifestaciones, que van desde una enfermedad respiratoria o gastrointestérica leve a síndromes hemorrágicos, dependiendo de la virulencia del virus y del estado inmunológico y reproductivo del animal. Los VDVB pueden atravesar la placenta e infectar al feto en cualquier estadio de la gestación provocando infertilidad transitoria, abortos, malformaciones congénitas o nacimiento de animales persistentemente infectados (PI). Estos últimos son la principal fuente de diseminación del virus y, al ser susceptibles a la reinfección por una cepa citopática, pueden padecer el cuadro conocido como “enfermedad de las mucosas” (Baker, 1995).

En Argentina, el VDVB es endémico y la estrategia que se emplea para controlarlo consiste en la vacunación con formulaciones inactivadas. Con respecto al VPPC, este pudo ser erradicado en el país luego de intensas campañas de vacunación, y en referencia al VEF, no se ha investigado su circulación en el territorio argentino.

Este artículo presenta una revisión de los virus emergentes HoBi, que han sido reportados últimamente en varios países del mundo, pero no han sido estudiados en Argentina ni en la mayoría de los países latinoamericanos. Consideramos que su estudio es importante desde el punto de vista de la sanidad animal de los rumiantes y de la seguridad de los productos biológicos que utilizan suero fetal bovino en su composición.

Pestivirus atípicos “HoBi”

Además de los agentes virales previamente mencionados que componen el género Pestivirus, hay otras especies tentativas que han sido propuestas, como el grupo de virus conocido como “HoBi” o “Pestivirus Atípico” (Bauermann y Ridpath, 2015). Recientemente en Italia se realizaron estudios retrospectivos en los que se analizaron lotes de suero fetal bovino (SFB) del año 1992 y se logró identificar al agente. Esto significaría que probablemente este patógeno ha estado circulando en bovinos desde hace más de 20 años.

Los virus HoBi a menudo están implicados en casos clínicos similares a los VDVB y es por ello que algunos autores lo denominan VDVB de tipo 3 o VDVB-3. El nombre tentativo “HoBi” proviene de las primeras letras de los nombres de un investigador alemán (Horst Schirrmeyer) y de su asistente (Birgit Meinke), quienes lograron uno de los primeros aislamientos de este Pestivirus a partir de una línea celular ovina cuyo medio de cultivo fue suplementado con SFB de origen brasilero –conocido como “lote 547”– contaminado con este agente (Schirrmeyer *et al.*, 2004).

Los virus HoBi han sido aislados a partir de casos clínicos en diversos países como Italia, Bangladesh, India y Brasil (figura 1). Asimismo, en Tailandia se ha comprobado seroconversión para el virus HoBi en cuatro rodeos bovinos y además se detectó un animal virémico a través de los métodos de ELISA y RT-PCR (Kampa *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2009).

Particularmente en Italia, en el año 2009, los virus HoBi generaron un brote de cuadros respiratorios afectando terneros de 6-7 meses (Decaro *et al.*, 2011). En este episodio, estos virus fueron detectados a partir de muestras de hisopados nasales y también en pulmones luego de realizar las necropsias de dos animales muertos. Los signos clínicos asociados a estos cuadros fueron hipertermia, tos, descarga nasal seromucosa, leucopenia y frecuencia respiratoria acelerada. En el año 2011, también en Italia, se comprobó que los virus HoBi fueron causantes de abortos bovinos (Decaro *et al.*, 2012a).

En India y Bangladesh los aislamientos de virus HoBi se obtuvieron a partir de bovinos de establecimientos con historias de problemas respiratorios, entéricos o reproductivos (Haider *et al.*, 2014; Mishra *et al.*, 2014).

En Brasil, los virus HoBi son endémicos en ganado bovino y probablemente también en bubalinos, habiéndose reportado casos naturales de abortos, enfermedad respiratoria y enfermedad de las mucosas (Cortez *et al.*, 2006; Bianchi *et al.*, 2011; Weber *et al.*, 2014; Bauermann y Ridpath, 2015). Uno de los primeros aislamientos de virus HoBi, “BrazBuf9” (Stalder *et al.*, 2005) fue identificado a fines de los 90 en búfalos de agua.

En Argentina los virus HoBi no han sido estudiados en rodeos bovinos ni en búfalos, así como tampoco se han estandarizado las técnicas diagnósticas para lograr su detección. No hay disponible información acerca de la situación en el resto de los países latinoamericanos hispanoparlantes, por lo cual se desconoce por completo la situación epidemiológica.



Figura 1. Distribución de los virus HoBi aislados hasta la fecha. Se han detectado virus HoBi en lotes de suero fetal bovino (SFB) generados en Brasil, México*, Canadá*, Estados Unidos* y en Australia* (Xia *et al.*, 2011). Sin embargo, de esos 5 países, solo en Brasil se aisló el virus a partir de infecciones naturales en bovinos y búfalos de agua (Bianchi *et al.*, 2011; Cortez *et al.*, 2006). Dentro de Europa, en Italia se aisló al virus HoBi a partir de casos clínicos en bovinos (Decaro *et al.*, 2011; Decaro *et al.*, 2012a). En India, Tailandia y Bangladesh se aislaron virus HoBi en establecimientos con problemas respiratorios y reproductivos (Mishra *et al.*, 2014; Kampa *et al.*, 2009). En China se ha aislado al virus HoBi a partir de una línea celular bovina (Mao *et al.*, 2012).

Diversidad genética

En comparación con el resto de los Pestivirus, la identidad de las secuencias de la proteasa viral “Npro” y la proteína inmunodominante “E2” de los virus HoBi es menor al 70%, lo que representa importantes diferencias génicas (Liu *et al.*, 2009). De manera similar, estudios de seroneutralización y caracterización con anticuerpos monoclonales revelaron diferencias antigénicas marcadas entre los virus HoBi y los demás Pestivirus (Bauermann *et al.*, 2012).

Actualmente, se sugiere que existen cuatro clados de virus HoBi, en los que se agrupan las cepas brasileñas, tailandesas, italianas y de India/Bangladesh. Recientemente, se ha reportado que en India y Bangladesh existen cepas de virus HoBi pertenecientes a más de un clado (Haider *et al.*, 2014; Mishra *et al.*, 2014; Bauermann y Ridpath, 2015). Esto abriría la posibilidad de que en realidad los virus HoBi hayan surgido en Asia. Debido a que las razas principales de búfalos provienen de esas regiones, de donde fueron exportadas a otros continentes, hay quienes sospechan que los virus HoBi han estado primeramente en estos animales y se han diseminado imperceptiblemente (Bauermann *et al.*, 2013b). Entonces, ¿los virus HoBi son realmente emergentes, u ocurrió que en el mundo no se contaba con técnicas adecuadas para detectarlos?

Presentaciones clínicas de los virus HoBi en casos naturales y en infecciones experimentales

En cuanto al potencial patogénico de los virus HoBi, se han aislado a partir de casos clínicos naturales de enfer-

medad respiratoria, diarrea y problemas reproductivos incluyendo abortos. Sin embargo, también se han detectado a estos Pestivirus en animales aparentemente sanos (Schirmer *et al.*, 2004; Decaro *et al.*, 2011; Decaro *et al.*, 2012a; Mishra *et al.*, 2014). El hecho de que los virus HoBi coexistan con los VDVB en ciertas regiones dificulta la investigación de su impacto específico y las estimaciones de pérdidas económicas que estos virus generan.

Experimentalmente se ha logrado infectar terneros utilizando diferentes cepas de virus HoBi, generando cuadros respiratorios, acompañados de hipertermia, leucopenia y posterior seroconversión (tabla 1). Asimismo, se han infectado vacas preñadas obteniendo abortos y nacimiento de animales persistentemente infectados (Bauermann *et al.*, 2014a).

Dentro de los Pestivirus, las infecciones con VDVB y VEF no se restringen a bovinos y ovinos respectivamente, sino que también ocurren infecciones de VEF en bovinos y viceversa. Solamente existe una restricción etiológica en infecciones con VPPC en rumiantes. Con respecto a los virus HoBi, se reportó que fue posible infectar experimentalmente corderos con éxito, generando signos respiratorios (secreción nasal), hipertermia moderada, leucopenia, viremia y excreción viral a través de secreciones nasales y materia fecal. Asimismo, se comprobó experimentalmente que estos virus pueden generar abortos, malformaciones e inclusive animales persistentemente infectados en ovejas preñadas. Contrariamente, cerdos inoculados con el mismo virus no presentaron signos clínicos, leucopenia ni PCR positiva los días posteriores a la infección (Decaro *et al.*, 2012b; Decaro *et al.*, 2015).

Cepa de referencia	Temperatura rectal	Signos respiratorios	% de leucopenia	Viremia	Excreción viral	Seroconversión
Hobi D32/00	aumento leve	sin signos clínicos	leucopenia leve	(+) 5 dpi	(+) 3-6 dpi en hisopados nasales	verificada
Italy-1/10-1	40 °C 3 y 7 dpi	secreción nasal seromucosa	50% 3-10 dpi	(+) 5-24 dpi	(+) 5-21 dpi en secreciones nasales (+) 7-21 dpi en materia fecal	verificada
Th04_Khonkean	39 °C 7-10 dpi	secreciones nasales y oculares, tos y conjuntivitis	40% 5-7 dpi	(+) 5-9 dpi	(+) 5-7 dpi en secreciones nasales	verificada
Hobi_D32/00	aumento leve	sin signos clínicos	65% 9 dpi	(+) 3-9 dpi intermitente	(+) 3-9 en secreciones nasales intermitentes	verificada

Tabla 1. Descripción de las manifestaciones clínicas luego de infecciones experimentales de terneros con virus HoBi (adaptado de Bauermann *et al*, 2013b); dpi: días posinfección.

Herramientas diagnósticas y de profilaxis para los virus HoBi

Los test diagnósticos diseñados para detectar VDVB que se utilizan actualmente suelen fallar para detectar a los virus HoBi. Hasta el momento, no se han desarrollado anticuerpos monoclonales específicos para este grupo de Pestivirus y no es posible diferenciarlos de los VDVB a través de técnicas como aislamiento viral. En el campo de la biología molecular, se han descrito varios cebadores capaces de detectar específicamente a los virus HoBi en reacciones de RT-PCR (Bauermann y Ridpath, 2015). Recientemente, se ha desarrollado en Italia una PCR Multiplex en tiempo real que permite detectar y diferenciar a los virus HoBi, VDVB-1 y VDVB-2 (Mari *et al.*, 2015).

Ante la falta de kits diagnósticos comerciales para detectar anticuerpos específicos contra los virus HoBi, algunos investigadores optan por realizar ensayos clásicos de seroneutralización contra estos virus y contra VDVB en paralelo para luego comparar los títulos de anticuerpos neutralizantes de los animales contra esos patógenos (Bauermann *et al.*, 2013b).

En cuanto a las herramientas de profilaxis, se ha demostrado que tanto las vacunas atenuadas como las inactivadas contra VDVB producen una protección débil contra los virus HoBi (Bauermann *et al.*, 2013a). Por un lado, esta baja protección que conferirían las vacunas comerciales formuladas con VDVB 1 y 2 contra los virus HoBi podría repercutir en un alto número de animales susceptibles, con la generación de animales persistentemente infectados que excreten el virus en la mayor parte de sus fómites. Actualmente no existen en el mundo vacunas comerciales diseñadas para proteger al ganado contra los virus HoBi. Por otro lado, esta carencia puede ser útil para realizar tareas de vigilancia serológica.

Hallazgos en líneas celulares e insumos biotecnológicos

Los Pestivirus en general y los virus HoBi en particular son una amenaza para la inocuidad de las líneas celulares y productos biológicos. Hasta la fecha se han reportado varios estudios que determinaron la presencia de los virus HoBi en lotes de SFB, que sugieren la diseminación del agente a través de líneas celulares (Mao *et al*, 2012; Giangaspero, 2013; Xia *et al.*, 2011; Xia *et al.*, 2013). La diseminación de los virus HoBi no solo afecta la producción animal, sino que también amenaza al estado de "Pestivirus free" que algunos países europeos han logrado luego de inmensos esfuerzos.

En el ámbito del laboratorio, el SFB es utilizado para para la amplificación de células en cultivos para propagar virus empleados en investigación y para la formulación de vacunas y en otros procesos como trasplante embrionario. También se ha sugerido que es el principal "chivo expiatorio" para explicar la amplia diseminación de los virus HoBi (Giangaspero, 2013). En este sentido, se ha reportado la detección de material genético de los virus HoBi en lotes de SFB provenientes de varios países como Brasil, Australia, Canadá, México y Estados Unidos (Xia *et al.*, 2011) (figura 1). Sin embargo, no pudo determinarse si la contaminación con estos agentes se dio en los países de origen o durante la mezcla de lotes de SFB de diferentes procedencias, que se realiza en muchos casos en países europeos (Bauermann *et al.*, 2014b). Frente a esta problemática, hay algunos puntos para destacar: En primer lugar, la diseminación de los Pestivirus podría reducirse o incluso evitarse si el SFB se comercializara únicamente irradiado. En segundo lugar, actualmente no se exige la determinación de virus HoBi en los estudios de rutina para el uso de SFB, líneas celulares o cepas vacunales. Y por último, pero no menos importante, hay que aclarar que el proceso de filtración que

se utiliza comúnmente durante la manufactura del SFB no evita la presencia de Pestivirus, debido al pequeño tamaño de las partículas virales.

Todo esto debe ser tenido en cuenta al momento de trabajar con técnicas de trasplante embrionario y con insumos biológicos a escala de investigación como a escala industrial, de manera de poder asegurar la calidad de los productos.

En resumen, tal como han señalado los Dr. Schweizer y Peterhans, “es probable que haya más científicos que trabajan con Pestivirus que científicos que trabajan conscientemente con Pestivirus” (Schweizer y Peterhans, 2014).

CONCLUSIONES

El número creciente de reportes sobre los Pestivirus HoBi plantea dos preocupaciones principales: una relacionada con la aparición y propagación de estos patógenos, con consecuencias en el área de salud animal y control de enfermedades. La segunda preocupación está relacionada con el problema de la contaminación de lotes de SFB, con implicancias para la bioseguridad de los productos biológicos que lo contienen, tales como las vacunas, los reactivos de diagnóstico, kits y otros productos de la bioindustria.

Específicamente en el área de salud animal, es importante determinar si los virus HoBi circulan en nuestros rodeos, y de forma complementaria saber si las herramientas tanto de profilaxis como de detección del VDVB en nuestro país sirven de igual manera para detectar y enfrentar a este agente viral.

Asimismo, se debe reconocer la relevancia que tiene la calidad de los insumos biológicos que utilizamos, no solo con fines académicos, sino también para la utilización de líneas celulares utilizadas para los servicios de diagnóstico y formulación de vacunas a nivel industrial. En este aspecto, es importante concientizar sobre el impacto que pueden generar los virus adventicios.

Por último, consideramos que esta problemática requiere la profundización de las investigaciones a nivel nacional e internacional para saber cuál es la situación real frente a los virus HoBi, cuál es el impacto económico que generan y si son verdaderamente virus emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, J., 1995. The clinical manifestations of bovine viral diarrhoea infection. *Vet Clin North Am Food Anim Pr.* 3, 425–45.
- BAUERMANN, F.V.; FALKENBERG, S.M.; VANDER LEY, B.; DECARO, N.; BRODERSEN, B.W.; HARMON, A.; HESSMAN, B.; FLORES, E.F.; RIDPATH, J.F.; 2014a. Generation of calves persistently infected with HoBi-like pestivirus and comparison of methods for detection of these persistent infections. *J. Clin. Microbiol.* 52(11): 3845–52. doi:10.1128/JCM.01563-14.
- BAUERMANN, F.V.; FLORES, E.F.; FALKENBERG, S.M.; WEIBLEN, R.; RIDPATH, J.F.; 2014b. Lack of evidence for the presence of emerging HoBi-like viruses in North American fetal bovine serum lots. *J. Vet. diagnostic Investig.* 26, 10–7. doi:10.1177/1040638713518208.
- BAUERMANN, F.V.; FLORES, E.F.; RIDPATH, J.F.; 2012. Antigenic relationships between Bovine viral diarrhoea virus 1 and 2 and HoBi virus: possible impacts on diagnosis and control. *J. Vet. diagnostic Investig.* 24, 253–61. doi:10.1177/1040638711435144.
- BAUERMANN, F.V.; HARMON, A.; FLORES, E.F.; FALKENBERG, S.M.; REECY, J.M.; RIDPATH, J.F. 2013a. In vitro neutralization of HoBi-like viruses by antibodies in serum of cattle immunized with inactivated or modified live vaccines of bovine viral diarrhoea viruses 1 and 2. *Vet. Microbiol.* 166, 242–245.
- BAUERMANN, F.V.; RIDPATH, J.F. 2015. HoBi-like viruses – the typical “atypical bovine pestivirus.” *Anim. Heal. Res. Rev.* 16, 64–69. doi:10.1017/S146625231500002X
- BAUERMANN, F.V.; RIDPATH, J.F.; WEIBLEN, R.; FLORES, E.F. 2013b. HoBi-like viruses: an emerging group of pestiviruses. *J. Vet Diagn Invest.* 25 (1), 6–15.
- BIANCHI, E.; MARTINS, M.; WEIBLEN, R.; FLORES, E.F.; E. 2011. Perfil genotípico e antigénico de amostras do vírus da diarréia viral bovina isoladas no Rio Grande do Sul (2000-2010) 1. *Pesq. Vet. Bras.* 31, 649–655.
- COLLETT, S.M.; GOULD, E.A.; HEINZ, F.X.; HOUGHTON, M.; MEYERS, G.; PURCELL, R.H.; RICE, C.M. 2005. Family flaviviridae. En: Press, A. (Ed.), 8th Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. San Diego, pp. 979–996.
- CORTEZ, A.; HEINEMANN, M.B.; CASTRO, A.M.M.G.; DE SOARES, R.M.; PINTO, A.M.V; ALFIERI, A.A.; FLORES, E.F.; LEITE, R.C.; RICHTZENHAIN, L.J. 2006. Genetic characterization of Brazilian bovine viral diarrhoea virus isolates by partial nucleotide sequencing of the 5' -UTR region 1. *Pesq. Vet. Bras.* 26, 211–216.
- DECARO, N.; LOSURDO, M.; LAROCCA, V.; LUCENTE, M.S.; MARI, V.; VARELLO, K.; PATRUNO, G.; CAMERO, M.; SCIARRA, M.; OCCHIOGROSSO, L.; TEMPESTA, M.; IULINI, B.; BUONAVOGLIA, C. 2015. HoBi-like pestivirus experimental infection in pregnant ewes: Reproductive disorders and generation of persistently infected lambs. *Vet. Microbiol.* 178, 173–180. doi:10.1016/j.vetmic.2015.05.011
- DECARO, N.; LUCENTE, M.S.; MARI, V.; CIRONE, F.; CORDIOLI, P.; CAMERO, M.; SCIARRETTA, R.; LOSURDO, M.; LORUSSO, E.; BUONAVOGLIA, C. 2011. Atypical pestivirus and severe respiratory disease in calves, Europe. *Emerg. Infect. Dis.* 17, 1549–1552. doi:10.3201/eid1708.101447
- DECARO, N.; LUCENTE, M.S.; MARI, V.; SCIARRETTA, R.; PINTO, P.; BUONAVOGLIA, D.; MARTELLA, V.; BUONAVOGLIA, C. 2012a. Hobi-like pestivirus in aborted bovine fetuses. *J. Clin. Microbiol.* 50, 509–12. doi:10.1128/JCM.05887-11
- DECARO, N.; MARI, V.; LUCENTE, M.S.; SCIARRETTA, R.; MORENO, A.; ARMENISE, C.; LOSURDO, M.; CAMERO, M.; LORUSSO, E.; CORDIOLI, P.; BUONAVOGLIA, C.; 2012b. Experimental infection of cattle, sheep and pigs with “Hobi”-like pestivirus. *Vet. Microbiol.* 155, 165–71. doi:10.1016/j.vetmic.2011.08.030
- GIANGASPERO, M. 2013. Pestivirus Species Potential Adventitious Contaminants of Biological Products. *Trop. Med. Surg.* 01, 1–4. doi:10.4172/2329-9088.1000153
- HAIDER, N.; RAHMAN, M.; KHAN, S.; MIKOLON, A.; GURLEY, E.; OSMANI, M.; SHANTA, I.; PAUL, S.; MACFARLANE-BERRY, L.; ISLAM, A.; DESMOND, J.; EPSTEIN, J.; DASZAK, P.; AZIM, T.; LUBY, S.; ZEIDNER, N.; RAHMAN, M.Z. 2014. Identification and epidemiology of a Rare HoBi-Like Pestivirus Strain in Bangladesh. *Transbound Emerg Dis.* 61, 193–198.

- HOUE, H. 2003. Economic impact of BVDV infection in dairies. *Biologicals* 31, 137–143. doi:10.1016/S1045-1056(03)00030-7
- KAMPA, J.; ALENIUS, S.; EMANUELSON, U.; CHANLUN, A.; AIUMLAMAI, S. 2009. Bovine herpesvirus type 1 (BHV-1) and bovine viral diarrhoea virus (BVDV) infections in dairy herds: Self clearance and the detection of seroconversions against a new atypical pestivirus. *Vet. J.* 182, 223–230. doi:10.1016/j.tvjl.2008.07.006
- LIU, L.; KAMPA, J.; BELÁK, S.; BAULE, C.; 2009. Virus recovery and full-length sequence analysis of atypical bovine pestivirus Th/04_KhonKaen. *Vet. Microbiol.* 138, 62–8. doi:10.1016/j.vetmic.2009.03.006
- LIU, L.; XIA, H.; BAULE, C.; BELÁK, S. 2009. Maximum likelihood and Bayesian analyses of a combined nucleotide sequence dataset for genetic characterization of a novel pestivirus, SVA/cont-08. *Arch. Virol.* 154, 1111–1116. doi:10.1007/s00705-009-0419-4
- MAO, L.; LI, W.; ZHANG, W.; YANG, L.; JIANG, J. 2012. Genome sequence of a novel Hobi-like pestivirus in China. *J. Virol.* 86, 12444. doi:10.1128/JVI.02159-12
- MARI, V.; LOSURDO, M.; LUCENTE, M.S.; LORUSSO, E.; ELIA, G.; MARTELLA, V.; PATRUNO, G.; BUONAVOGLIA, D.; DECARO, N. 2015. Multiplex real-time RT-PCR assay for bovine viral diarrhoea virus type 1, type 2 and HoBi-like pestivirus. *J. Virol. Methods.* doi:10.1016/j.jviromet.2015.12.003
- MISHRA, N.; RAJUKUMAR, K.; PATERIYA, A.; KUMAR, M.; DUBEY, P.; BEHERA, S.P.; VERMA, A.; BHARDWAJ, P.; KULKARNI, D.D.; VIJAYKRISHNA, D.; REDDY, N.D. 2014. Identification and molecular characterization of novel and divergent HoBi-like pestiviruses from naturally infected cattle in India. *Vet. Microbiol.* 174(1-2):2. doi:10.1016/j.vetmic.2014.09.017
- SCHIRRMEIER, H.; STREBELOW, G.; DEPNER, K.; HOFFMANN, B.; BEER, M.; 2004. Genetic and antigenic characterization of an atypical pestivirus isolate, a putative member of a novel pestivirus species. *J. Gen. Virol.* 85, 3647–52. doi:10.1099/vir.0.80238-0
- SCHWEIZER, M.; PETERHANS, E. 2014. Pestiviruses supplemental material 2. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2, 141–163. doi:10.1146/annurev-animal-022513-114209
- STALDER, H.; MEIER, P.; PFAFFEN, G.; WAGECK-CANAL, C.; RÜFENACHT, J.; SCHALLER, P.; BACHOFEN, C.; MARTI, S.; VOGT, H.R.; PETERHANS, E. 2005. Genetic heterogeneity of pestiviruses of ruminants in Switzerland. *Prev. Vet. Med.* 72, 37–41. doi:10.1016/j.prevetmed.2005.01.020
- WEBER, M.N.; SILVEIRA, S.; CANAL, C.W.; 2011. Bovine Viral Diarrhoea in Brazil: Current Status and Future Perspectives. *Br. J. Virol.* 1, 92–97.
- XIA, H.; LARSKA, M.; GIAMMARIOLI, M.; DE MIA, G.M.; CARDETI, G.; ZHOU, W.; ALENIUS, S.; BELÁK, S.; LIU, L. 2013. Genetic detection and characterization of atypical bovine pestiviruses in foetal bovine sera claimed to be of Australian origin. *Transbound. Emerg. Dis.* 60, 284–288. doi:10.1111/j.1865-1682.2012.01341.x
- XIA, H.; VIJAYARAGHAVAN, B.; BELAK, S.; LIU, L. 2011. Detection and Identification of the Atypical Bovine Pestiviruses in Commercial Foetal Bovine Serum Batches. *PLoS One* 6, 2–4. doi:10.1371/journal.pone.0028553

Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos

DI BENEDETTO, A.^{1,2}; TOGNETTI, J.^{2,3}

RESUMEN

La descripción del crecimiento de una planta, o de un cultivo, a lo largo de su ciclo de vida o de producción, así como la evaluación de tratamientos capaces de modificar la acumulación de biomasa de un vegetal requieren indicadores objetivos que puedan ser validados estadísticamente. Las técnicas de análisis del crecimiento son herramientas útiles para estos fines. Pueden aplicarse en múltiples situaciones, pero su empleo en cultivos intensivos presenta aspectos particulares y precauciones a ser tenidos en cuenta, acerca de los cuales la información disponible es relativamente escasa y dispersa. En este trabajo de revisión se describen los estimadores del crecimiento más apropiados para ser empleados en especies hortícolas, frutales y ornamentales. Asimismo, se discuten e ilustran distintas alternativas para la utilización de estos indicadores tanto a nivel de planta aislada como de cultivo.

Palabras clave: alometría, análisis funcional, asimilación neta, crecimiento, hortalizas, frutales, ornamentales, partición.

ABSTRACT

The description of plant or crop growth, throughout their life or production cycles, as well as the evaluation of treatments that may modify vegetable biomass accumulation, require the estimation of parameters, which can be statistically tested. Growth analysis methods provide useful tools for these purposes. They can be applied to multiple situations, but their use in intensive cropping systems show particularities and cautions that need to be taken into account, about which information is relatively scarce and scattered. This review describes the most appropriate parameters to be used in vegetable, fruit and ornamental species, and both discusses and illustrates the use of different alternatives that can be chosen for growth description at either the isolated plant or crop levels.

Keywords: allometry, functional analysis, net assimilation, growth, vegetables, fruit crops, ornamentals, partition.

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: dibenede@agro.uba.ar

³Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11 (1900), La Plata, Provincia Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: jtognetti2001@yahoo.com.ar

INTRODUCCIÓN

La productividad de un cultivo, en términos biológicos, comienza a definirse desde el inicio del ciclo de producción comercial, y es afectada por una multiplicidad de factores, algunos de ellos propios del genotipo, otros del ambiente, y otros de las condiciones de manejo (Poorter y Lambers, 1991; Anten y Poorter, 2009; Poorter *et al.*, 2014; Körner, 2015). Estos factores ejercen sus efectos a través de cambios en la diferenciación y expansión de órganos, en la captación de recursos por parte de ellos, y también en la distribución (“partición”) de esos recursos entre los distintos órganos de la planta. Como resultado de estos efectos se producen modificaciones en la acumulación de biomasa entre las distintas partes de esta.

Para poder evaluar cómo las variaciones en el genotipo, el ambiente y en el manejo modifican la acumulación de biomasa a nivel de planta aislada se han desarrollado, desde las primeras décadas del siglo xx, las técnicas matemáticas de “análisis de crecimiento vegetal”. A partir de mediciones sencillas (básicamente, área foliar y peso de los diferentes órganos) se han derivado parámetros que permiten estimar, con suficiente precisión, procesos fundamentales que hacen a la productividad, tales como la tasa de fijación de carbono y la partición de fotoasimilados entre los diferentes órganos de un vegetal. Desarrollos posteriores han permitido evaluar la eficiencia de la planta en cuanto a la utilización de los recursos del ambiente para la producción de biomasa. Actualmente, el análisis de crecimiento se ha establecido como una disciplina relacionada con la ecofisiología y la agronomía, con sus propios conceptos, términos y herramientas de cálculo (Poorter, 1989; Poorter y Garnier, 1996; Ordoñez *et al.*, 2009; Poorter y Sack, 2012), sirviendo como base del desarrollo de modelos de crecimiento generales (Niinemets y Tenhunen, 1997; Yang y Midmore, 2005; Fourcaud *et al.*, 2008) e incluso para especies hortícolas bajo cultivo intensivo (Gary *et al.*, 1998; Marcelis *et al.*, 1998; Kage *et al.*, 2004).

El presente trabajo de revisión tiene como objetivo principal la descripción de los fundamentos teórico-prácticos de estas herramientas, con énfasis en sus alcances y limitaciones, para facilitar su empleo en especies bajo cultivo intensivo. Se discutirá la potencialidad de estas herramientas para explicar las respuestas de las plantas tanto en experimentos de investigación como en cultivos bajo producción comercial. Se revisará la bibliografía más relevante actualmente disponible sobre el tema, particularmente en relación con este tipo de especies, y se ilustrarán los principales puntos a través de la reelaboración de datos de ensayos previamente publicados, ya sean propios o de otros autores.

Análisis clásico y análisis integrado: alcances y limitaciones

El actualmente denominado “análisis clásico” es un análisis a nivel de una planta aislada, que, en su forma más simple, permite estimar en qué medida la fijación de car-

bono por unidad de área foliar, y la proporción del carbono disponible que se emplea en la producción de área foliar, contribuyen a la acumulación de biomasa de la planta entera. Este tipo de análisis es particularmente apropiado para plantas que se encuentran en una fase exponencial de crecimiento, y es por ello que es muy usado, en estudios ecológicos, en los que se evalúa la competencia temprana entre plantas (Tei *et al.*, 1996; Grotkopp *et al.*, 2010). Sin embargo, puede adaptarse satisfactoriamente al estudio de etapas más tardías.

A pesar de que la metodología del análisis clásico ha sido extensamente utilizada en estudios ecológicos y fisiológicos básicos, y también se ha aplicado a cultivos extensivos, su empleo en producciones vegetales bajo cultivo intensivo ha tenido mucho menos difusión (Di Benedetto *et al.*, 2013, 2015a, b; Di Matteo *et al.*, 2015). Diversos factores han contribuido a esta situación, tales como la complejidad en el manejo de muchos cultivos intensivos y el hecho de que la cosecha, en muchos casos, se realiza en un estado avanzado del ciclo de vida de la planta que hace tiempo ha dejado de crecer, al menos, exponencialmente. Esto dificulta la aplicación de una técnica de análisis de crecimiento pensada originalmente para situaciones mucho más sencillas. Otro factor puede ser que el análisis del crecimiento se ha desarrollado para estudiar la acumulación de biomasa seca; sin embargo, en cultivos intensivos, la acumulación de peso fresco suele tener mayor significancia comercial. De todas maneras, es posible salvar estas dificultades para permitir el empleo de esta herramienta de análisis del crecimiento vegetal que puede ofrecer numerosas ventajas, especialmente a la hora de evaluar efectos de tratamientos experimentales.

Este análisis ha sido extendido a nivel de canopeo para evaluar el crecimiento, ya no de plantas aisladas, sino de cultivos, especialmente extensivos. Sin embargo, su aplicación no siempre ha sido suficientemente útil para obtener conclusiones respecto del rendimiento, por razones que expondremos brevemente más adelante. Para suplir este déficit se ha desarrollado el a veces llamado “análisis integrado”, en el que se evalúa por un lado la producción de biomasa por parte de la planta en relación con la disponibilidad, captación y utilización de un recurso ambiental esencial (generalmente la radiación, aunque en otros casos agua o nitrógeno) y, por otro, el empleo de esa biomasa para la producción del órgano de interés agronómico. Este tipo de análisis requiere de mediciones precisas de la cantidad del recurso que es efectivamente adquirido por la planta; en el caso de la radiación es necesario contar con un ceptómetro. De todos modos, también en este tipo de análisis existen reparos a su utilización irrestricta para el caso de cultivos intensivos, como veremos más adelante.

Dado que el uso e interpretación de los estimadores de crecimiento permite establecer las relaciones causales entre la capacidad de adaptación y el crecimiento de las plantas en ambientes específicos y el rendimiento potencial que es posible obtener para un genotipo dado (Hunt *et al.*, 2002, 2003), su empleo brinda al fisiólogo de cultivos información elemental acerca del comportamiento de las plantas en el sistema de producción.

Acumulación de biomasa

El crecimiento es definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta. Para determinarlo pueden medirse los cambios en volumen, pero debido a las dificultades prácticas que genera este tipo de mediciones, suelen determinarse variables relacionadas, tales como la acumulación de peso, las variaciones en altura o diámetro, o los cambios en el área foliar. En condiciones de turgencia plena, el peso fresco o húmedo es un buen estimador del volumen, ya que en general las variaciones en el peso específico de los tejidos vegetales son bajas. Esto es así debido a que el agua es el principal componente en casi todos los órganos y tejidos (las semillas son una notoria excepción). Sin embargo, el análisis clásico del crecimiento es un análisis de la acumulación de peso seco, que no estima bien el volumen, debido a que los tejidos pueden experimentar variaciones en su contenido porcentual de materia seca (ya que una proporción importante de los fotoasimilados almacenados en una célula pueden ser transitorios). Pero en contrapartida, el peso seco es un muy buen estimador del carbono total de la planta, lo que permite analizar importantes aspectos de su fisiología. Por eso, podríamos decir, estrictamente hablando, que el análisis de crecimiento clásico es, en realidad, un análisis de la fijación y partición del carbono.

La biomasa seca acumulada de una planta (u órgano) se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente crece a una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo ("plateau"), lo que se asemeja a una curva sigmoidea (Poorter, 2002). La pendiente (primera derivada) de esta curva es la tasa de crecimiento absoluto (AGR, $g\ día^{-1}$, por sus iniciales en inglés "absolute growth rate") de una planta u órgano (Broadley *et al.*, 2000; 2003; Filho *et al.*, 2009). Para cualquier instante de tiempo (t), AGR se define como el incremento de peso seco de material vegetal (W) por unidad de tiempo, es decir:

$$AGR = dW / dt$$

La biomasa acumulada durante la fase juvenil de la planta u órgano puede describirse mediante una función exponencial simple:

$$W_t = W_0 e^{RGRt}$$

W_t : peso final; W_0 = peso inicial; RGR: tasa de crecimiento relativo y t : tiempo

La tasa de crecimiento relativo (RGR, $g\ g^{-1}\ día^{-1}$, por sus iniciales en inglés "relative growth rate") es el concepto central del análisis de crecimiento, y ampliamente empleada en producciones intensivas (ver por ejemplo, Bruggink, 1992; Broadley *et al.*, 2003; van Iersel, 2003; Del Amor, 2006; Gweyi-Onyango *et al.*, 2009; Ghanem *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015). Durante los primeros estadios, el crecimiento suele tener una dinámica de acumulación de bio-

masa exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies y dentro de estas frente a variaciones en la oferta agroclimática o cultural del establecimiento productor. El cálculo de RGR de una planta y órgano para cada instante (t) se define como el incremento de material vegetal por unidad de material vegetal existente y por unidad de tiempo:

$$RGR = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt}$$

Matemáticamente es la pendiente de la ecuación que relaciona el logaritmo natural del peso seco total con el tiempo transcurrido.

Suponiendo que el crecimiento de las plántulas en los primeros estadios suele ser de tipo exponencial, el peso de la plántula en un momento dado queda determinado por la ecuación:

$$W_2 = W_1 e^{RGR(t_2 - t_1)}$$

W_2 y W_1 son el peso de la plántula en los tiempos 2 y 1 (t_2 y t_1 , respectivamente) y RGR la tasa de crecimiento relativo. Si aplicamos los logaritmos neperianos a los dos términos de la ecuación, tenemos que:

$$\ln W_2 = \ln W_1 + RGR (t_2 - t_1)$$

Despejando, tendríamos la fórmula para calcular RGR

$$RGR = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Dado que es imposible realizar medidas de la biomasa seca de una misma planta en distintos momentos (ya que es una medición destructiva), RGR se calcula a partir de muestreos de plantas diferentes a lo largo del período experimental.

El método más usado para el cálculo de RGR consiste en cosechar un número suficiente de plantas (10 a 15 submuestras por repetición) en tiempos distintos (mínimo dos; usualmente de cuatro a cinco según el ciclo de cultivo de la especie en estudio). RGR se puede calcular con los promedios de peso de todas las cosechas parciales o a partir del peso seco total de cada planta individual (separada por tratamiento y repetición) (Poorter y Garnier, 1996; Hoffmann y Poorter 2002). La pendiente de la regresión lineal obtenida cuando se grafica el logaritmo natural del peso seco total en función de los días es RGR y, como una primera aproximación, el coeficiente de determinación (r^2) indicaría el grado de asociación entre los datos. En la figura 1 se muestra que la pendiente de la relación entre el ln de peso y los días (RGR) es constante durante más de 150 días. Una RGR constante significa que el crecimiento se mantiene exponencial. Esto solo es posible en este ejemplo porque *E. aureum* es una especie umbrófila con ciclos de producción de entre 12 a 18 meses. Sin embargo es importante tener en cuenta que en especies heliófilas bajo cultivo intensivo el período de crecimiento exponencial es mucho más limitado.

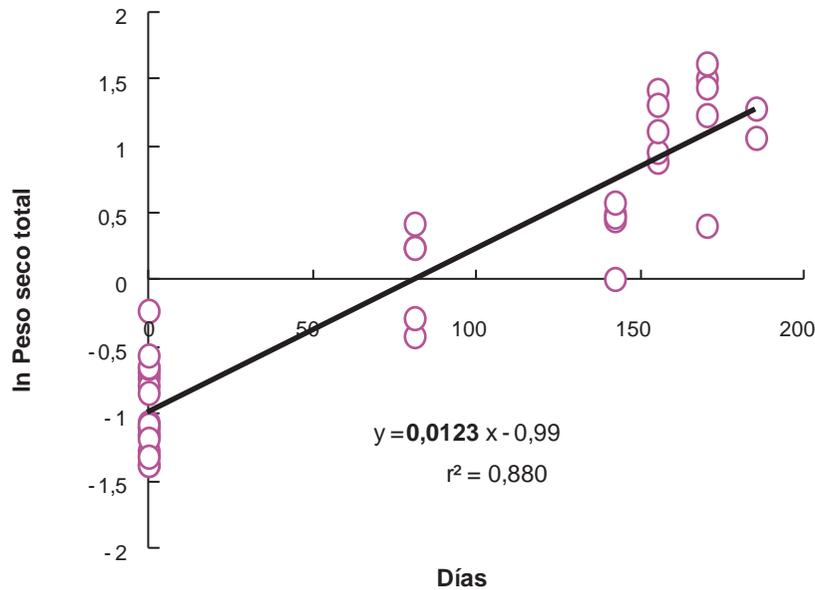


Figura 1. Cálculo de RGR (pendiente de la línea de regresión) a partir de los datos de peso seco total (g planta⁻¹) y momento de cosecha (días desde el inicio del experimento) para un ensayo desarrollado durante 184 días con 6 cosechas parciales sobre plantas de *Epipremnum aureum* (Di Benedetto *et al.*, 2015a).

Un aspecto importante a tener en cuenta es que para calcular el valor de RGR de la planta entera debe obtenerse la medida del peso radical, lo que es generalmente difícil de lograr sin pérdidas significativas. Por una parte, cuando se intenta recuperar el sistema radical completo es conveniente, en general, que las plantas se cultiven en macetas. Sin embargo, cuando se realizan experimentos en macetas, debe cuidarse que el sistema radical se desarrolle de modo similar al que hubiera tenido en el suelo. En este sentido, dos variables importantes que se deben tener en cuenta son el efecto de la restricción radical asociada con el tamaño del contenedor (Pagani *et al.*, 2013; Coro *et al.*, 2014; Di Matteo *et al.*, 2015) y el efecto de la calidad del sustrato de cultivo utilizado (Di Benedetto, 2011; Di Benedetto y Pagani, 2012; Thibaud *et al.*, 2012; Pagani *et al.*, 2015), dos aspectos a los que se le ha prestado relativamente poca atención (Poorter *et al.*, 2012a) y que pueden causar alteraciones en el desarrollo radical y, por lo tanto, en su tasa de crecimiento relativa. Por otra parte, para cultivos a campo, hay métodos de muestreo de raíz con extracción de cilindros de suelo, que permiten estimar la biomasa radical total (Rowell, 2014).

La capacidad de producción de fotoasimilados a través del mecanismo fotosintético y su distribución dentro de la planta dependen de la capacidad de fijación del dióxido de carbono ambiental y de su partición entre los distintos órganos de la planta. Como una primera aproximación es posible desdoblarse RGR como el producto entre la tasa de asimilación neta (NAR, g cm⁻² día⁻¹, por sus iniciales en inglés “net assimilation rate”) o “componente fisiológico” y la relación de área foliar (LAR, cm² g⁻¹, por sus iniciales en inglés “leaf area ratio”) o “componente morfológico” (Johnson *et al.*, 2003; Osonne *et al.*, 2008), es decir:

$$RGR = NAR \times LAR$$

Las siguientes fórmulas sirven para calcular NAR y LAR entre dos momentos puntuales del ciclo de vida de la planta:

$$NAR = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(A_2 - A_1)}$$

$$LAR = \frac{1}{2} \frac{A_1 + A_2}{W_1 + W_2}$$

W y A son los valores de peso seco y área foliar y los subíndices 1 y 2 se corresponden con el tiempo de muestreo inicial y final del intervalo bajo estudio, t₁ y t₂, respectivamente.

Asimismo, se puede calcular el valor medio de NAR a lo largo del ciclo de vida, empleando la fórmula siguiente (Potter y Jones, 1977):

$$NAR = \frac{k_w W_0 e^{k_w t}}{A_0 e^{k_a t}}$$

k_w: RGR (días⁻¹); W₀: peso seco total en el tiempo cero, obtenido por extrapolación (g); A₀: área foliar total en el tiempo cero, obtenida por extrapolación (cm²); k_a: tasa de expansión foliar relativa (días⁻¹) (ver “Expansión del área foliar”); t: tiempo (en días) en la mitad del período experimental; e: base de los logaritmos naturales.

Por un lado, NAR es una estimación de la capacidad fotosintética de la planta y, si se dispone de medidas del contenido de nitrógeno foliar (Zotarelli *et al.*, 2008), puede

desdoblarse en dos componentes: la productividad del nitrógeno foliar (LNP, $\text{g g}^{-1}\text{N día}^{-1}$, por sus iniciales en inglés "leaf nitrogen productivity") y la concentración de nitrógeno por unidad de área foliar (LNC_a , gN cm^{-2} , por sus iniciales en inglés "leaf area-based nitrogen concentration") (Osone *et al.*, 2008). Esta última variable suele ser designada alternativamente como "specific leaf nitrogen" (Ordóñez *et al.*, 2015).

$$\text{NAR} = \text{LNP} \times \text{LNC}_a$$

Por otro lado, LAR es el producto entre el área foliar específica (SLA, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, por sus iniciales en inglés, "specific leaf area") y la relación de peso foliar (LWR, g g^{-1} , por sus iniciales en inglés, "leaf weight ratio") (Broadley *et al.*, 2000; Adams *et al.*, 2008; Khavari-Nejad *et al.*, 2009):

$$\text{LAR} = \text{SLA} \times \text{LWR}$$

SLA se obtiene dividiendo el área foliar por el peso seco de cada hoja, mientras que LWR se calcula dividiendo el peso seco de las hojas sobre el peso seco total de la planta (Poorter *et al.*, 2009). En general, se emplea SLA medio de toda la planta, si bien puede haber algunas diferencias entre hojas individuales. Tradicionalmente se ha utilizado SLA como un estimador del espesor foliar, el cual tiende a aumentar a medida que disminuye SLA. Sin embargo, se ha demostrado que se obtiene una mejor correlación con el espesor foliar cuando SLA se calcula en base al peso fresco, lo que equivale a multiplicar SLA en base peso seco por el contenido de materia seca de la hoja (Di Benedetto *et al.*, 2013).

Para facilitar el cálculo de la mayor parte de estos estimadores de crecimiento es posible utilizar un archivo Excel disponible en Hunt *et al.*, (2002) (http://people.exeter.ac.uk/rh203/growth_analysis.html).

Expansión del área foliar

El aumento de biomasa de un vegetal se realiza a partir del área foliar expandida como fuente de producción de fotoasimilados (Cookson *et al.*, 2005). Por lo tanto, es una variable crítica para la productividad. Para cuantificar la tasa de expansión del área foliar se requiere obtener la sumatoria del área foliar de todas las hojas individuales en cada fecha de muestreo a lo largo del período total de evaluación. A partir de estos datos, se construye una curva de acumulación del área foliar en función del tiempo cuya forma es similar a la de acumulación de biomasa, es decir, que consta de una etapa exponencial, una lineal y una de incrementos decrecientes.

Análogamente al cálculo de RGR se suele cuantificar el incremento relativo en área foliar a través de la tasa de expansión foliar relativa (RLAE, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2} \text{día}^{-1}$, por sus iniciales en inglés, "relative rate of leaf area expansion").

Para su cálculo se utiliza el logaritmo natural del área foliar total de cada planta ($\ln A$) y se lo grafica en función de los días transcurridos desde el inicio del experimento. La pendiente de la regresión que relaciona ambas variables es RLAE (figura 2). En el caso de la especie representada en esta figura, de lento desarrollo, la pendiente que relaciona el $\ln A$ y los días considerados se mantiene exponencial durante un período inusualmente largo.

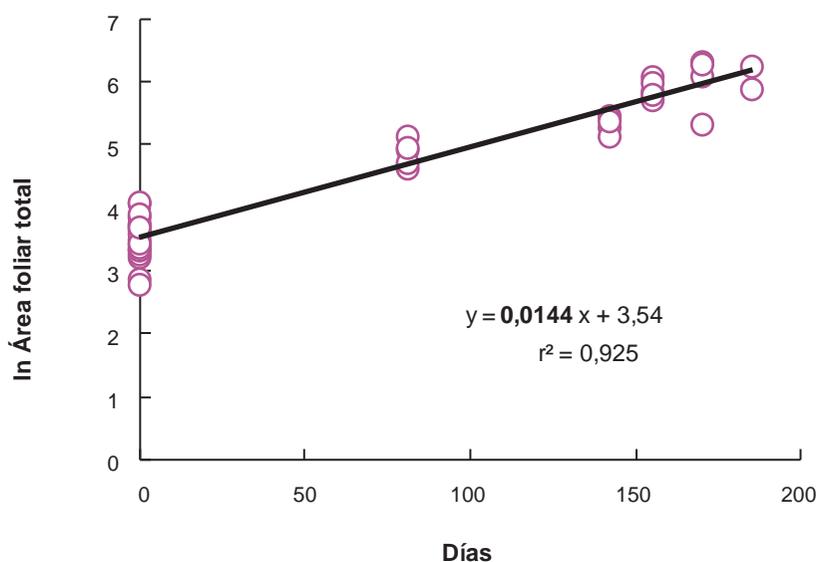


Figura 2. Cálculo de RLAE (pendiente de la línea de regresión) a partir de los datos de área foliar total (g planta^{-1}) y el momento de cosecha (días desde el inicio del experimento) para un experimento desarrollado durante 184 días con 6 cosechas parciales sobre plantas de *Epipremnum aureum* (Di Benedetto *et al.*, 2015a).

En el caso particular de especies dicotiledóneas cultivadas desde semilla, para estimar el área foliar de los cotiledones en el tiempo cero es necesario esperar a que estos se expandan completamente. Aunque el tamaño final alcanzado depende de diversas variables relacionadas con el proceso de germinación las diferencias potenciales se diluyen durante el proceso de análisis entre cosechas parciales sucesivas.

Para obtener el área foliar expandida de cada hoja existen varias aproximaciones:

- se puede utilizar un medidor de área foliar, es decir, un equipo que registra el paso de la hoja por sensores lumínicos. Son equipos muy precisos que requieren un mantenimiento constante para evitar que la acumulación de polvo o pequeñas partes de las hojas que ya hayan sido medidas incrementen el área de las siguientes. Su costo es quizás su mayor limitante.
- recientemente se ha extendido el uso de escáneres, incluso portátiles, de bajo costo, que permiten con suma facilidad la adquisición de imágenes de las hojas en formato digital. Posteriormente, mediante programas informáticos tales como el ImageJ® (National Institute for Health, EUA) se puede calcular el área foliar individual con una altísima precisión.
- estimaciones a partir de mediciones sencillas de largo o ancho de la lámina foliar (De Swart *et al.*, 2004; Di Benedetto *et al.*, 2006; Mokhtarpour *et al.*, 2010). Para ello se dibujan las hojas sobre papel, se miden los valores de largo y/o ancho, se recortan las improntas, se pesan, se estima el área foliar utilizando una unidad de peso del papel o se mide directamente (ver punto d) y se genera una regresión lineal entre los parámetros de ancho y largo lineales y el área foliar. Su construcción es trabajosa así como la toma posterior de los datos pero, en general, el coeficiente de determinación (r^2) suele mostrar un ajuste extremadamente alto. Su uso está virtualmente limitado a especies con hojas enteras.
- finalmente, una estimación indirecta se puede hacer extrayendo, con un calador, pequeños discos de lámina foliar de una superficie conocida, pesarlos (antes o después de secado a estufa) y calcular el área foliar total a partir de su peso fresco o seco. Su precisión es limitada debido a que no se tiene en cuenta el espesor de cada hoja individual.

Por lo indicado, la determinación del área foliar no es necesariamente un proceso destructivo, lo que permite evaluar la evolución de esta variable a lo largo de la vida de una misma planta, a diferencia de lo que ocurre con RGR.

Una variable importante asociada a la expansión foliar es la tasa de aparición de hojas (RLA, hojas día⁻¹, por sus iniciales en inglés, "rate of leaf appearance"), que se calcula como la pendiente de la regresión lineal del número de hojas en función del tiempo. También suele expresarse como su inversa, el filocrono, que a su vez puede representar una estimación de la duración del plastocrono (Lee *et al.*, 2009), es decir, del tiempo de iniciación de dos hojas sucesivas (Fleming, 2005, 2006). Dado que es difícil observar la evolución del ápice

vegetativo sin efectuar una disección (Fiorani y Beemster, 2006), es posible estimar este tiempo a partir del número de hojas expandidas que tengan un largo o tamaño mayor al previamente establecido en el momento de la cosecha parcial.

Tiempo cronológico y tiempo térmico

Varios de los estimadores que caracterizan el crecimiento (RGR, NAR, RLAE y RLA) llevan en su denominador la variable tiempo. Lo más común es expresar el tiempo en días o en alguna otra medida cronológica; no obstante, en ciertos casos es necesario el empleo del tiempo térmico como unidad (Wang, 1960). Una situación en la que es obvia esta necesidad es cuando se quiere evaluar el efecto de cierto tratamiento sobre un parámetro de crecimiento comparando diferentes años o localidades (asumiendo, desde ya, que las condiciones de suelo y otros factores ambientales y de manejo sean similares) (Tei *et al.*, 1996; Jenni *et al.*, 2000; Boschi *et al.*, 2004; Coro *et al.*, 2014). Pero también se puede dar esta necesidad aun en tratamientos aplicados en simultáneo. Dado que los cultivos intensivos suelen desarrollarse bajo condiciones ambientales solo parcialmente controladas (salvo en experimentos, o en algunas producciones hidropónicas), la temperatura diaria suele ser variable. Por ese motivo, si un tratamiento influye sobre la tasa de aparición de hojas (RLA) como, por ejemplo, niveles hídricos o aplicaciones de hormonas (Savvides *et al.* 2014; Di Benedetto *et al.*, 2013, 2015a, b; De Lojo y Di Benedetto, 2014; Di Matteo *et al.*, 2015), puede resultar que el ambiente bajo el cual se desarrollan las plantas tratadas difiera en la temperatura media respecto del testigo, porque se adicionarían o restarían días, que pueden ser particularmente fríos o cálidos, para llegar a un mismo estadio de desarrollo. También puede ocurrir que la aplicación del tratamiento *per se* afecte colateralmente la temperatura media (un caso típico es lo que ocurre cuando se comparan niveles de radiación lumínica). En todos estos casos, el empleo del tiempo térmico como base permite separar los efectos del tratamiento sobre la temperatura media de aquellos provocados estrictamente por la aplicación del tratamiento para evaluar (Machado *et al.*, 2004).

Para estimar la acumulación de biomasa vegetal a través de la metodología de tiempo térmico deben definirse fases de desarrollo separadas por eventos específicos y visualmente observables (Dambreville *et al.*, 2015). La metodología de sumatoria de temperaturas (Thornley y Johnson, 1990) requiere el cálculo de la temperatura base (t_b) para cada fase de desarrollo. Para hacerlo se grafican las tasas de desarrollo (p , día⁻¹) en función de la temperatura media (T_s).

$$p = a_1 T_s + a_0$$

La intercepción de T_s sobre el eje x de esta ecuación constituye la temperatura base, que se obtiene resolviendo la anterior ecuación para $p=0$.

$$T_b = - \frac{a_0}{a_1}$$

El cálculo de las unidades térmicas para completar cada fase de desarrollo se calcula sumando las temperaturas diarias disponibles por encima de la t_b :

$$D = \sum_j \max[(T_j - T_b), 0] \Delta t_j$$

D : Unidades térmicas ($^{\circ}\text{C día}^{-1}$), T_b : temperatura base; Δt_j es la duración del evento j (días).

El crecimiento proporcional de los órganos

Cuando se analiza el modelo de crecimiento de una planta o el efecto de diferentes tratamientos sobre dicho modelo es importante cuantificar cómo se distribuyen los fotoasimilados entre diferentes órganos (Shiple y Meziane, 2002; Niklas, 2004; Makarieva *et al.*, 2008; Robinson *et al.*, 2010; Renton y Poorter, 2011; Poorter *et al.*, 2012b); para ello existen varias aproximaciones, que podemos agrupar en dos tipos principales: cálculos de proporciones (*ratios*) de pesos y/o áreas entre distintos órganos y cálculos de alometrías.

Proporciones o ratios

Ya hemos mencionado dos herramientas matemáticas, que son esenciales para el análisis de crecimiento clásico: LAR y LWR, pero existen además otras medidas, de uso muy frecuente.

- relación raíz: parte aérea (R: S, del inglés root: shoot ratio) a partir de los pesos de raíces, tallos, pecíolos y hojas (Hunt, 2003; Albacete *et al.*, 2008; Bozokalfa, 2008).
- relación parte aérea: raíz (S: R, del inglés shoot: root ratio) es la inversa de la anterior; es empleada en ciertas ocasiones (Schwarz *et al.*, 2002; Kang y van Iersel, 2004; Xu *et al.*, 2004; Al-Maskri *et al.*, 2010; He *et al.*, 2010).
- proporción de raíz (RMF) (por sus iniciales en inglés "root mass fraction") representa la relación entre la biomasa del sistema radical y la biomasa total de la planta (Poorter *et al.*, 2010; 2012a). Se expresa en g (raíz) g⁻¹ (planta).
- proporción de parte aérea (LMF) (por sus iniciales en inglés "leaf mass fraction") cuantifica la relación entre la biomasa de la parte aérea y la biomasa total de la planta (Poorter, 2002; Poorter *et al.*, 2009; Poorter y Sack, 2012; Poorter *et al.*, 2014). Se expresa en g (parte aérea) g⁻¹ (planta).

En general, las proporciones de peso entre los diferentes órganos cambian durante la ontogenia. Lo que se está cuantificando cuando se pesa un órgano en un determinado momento es el resultado de la distribución del carbono en etapas previas y no necesariamente indica cómo está siendo particionado el carbono al momento de la medición. Por ejemplo, al germinar una semilla, el primer órgano que se desarrolla es la raíz. Sin embargo, hacia el final de su ciclo de vida de la planta, las raíces generalmente crecen

muy poco. Por este motivo, la relación raíz: parte aérea puede mostrar valores muy superiores a la unidad en etapas tempranas, aun cuando el carbono se esté particionando preferentemente hacia la parte aérea. En consecuencia, las proporciones dan idea de la situación en un instante dado, pero no su proyección en el tiempo. Por el contrario, los cálculos de alometría brindan una medida de los cambios relativos en las proporciones entre distintos órganos y, por lo tanto, pueden usarse para dimensionar la partición del carbono entre órganos.

La elección de una u otra de estas relaciones debe ser tomada teniendo en cuenta qué es lo que se pretende describir. En primer lugar, la relación raíz: parte aérea y su inversa, la relación parte aérea: raíz, son útiles para caracterizar el equilibrio funcional de la planta en sus intercambios con el ambiente aéreo y subterráneo (Brouwer, 1983; Kang y van Iersel, 2004). Pero si se las quiere usar para estimar partición, presentan un problema adicional (al de la instantaneidad ya mencionada), puesto que pequeños cambios en la asignación del carbono llevan a grandes cambios en estas relaciones. Por ejemplo, en la relación raíz: parte aérea, si disminuye la asignación de carbono a la raíz (numerador), ese mismo carbono se asigna al tallo (denominador), magnificando el efecto sobre dicha relación. Justamente para evitar este problema se desarrollaron las relaciones RMF y SMF, en las que el denominador es el peso total de la planta (Poorter *et al.*, 2012b). Sin embargo, estas relaciones tienen a su vez la dificultad de que pequeños cambios en ellas pueden representar grandes modificaciones en el equilibrio funcional de la planta. Por ejemplo, si una SMF inicial de 0,5 (que significa igualdad de peso entre tallo y raíz) disminuyera un 20%, es decir, a 0,4 (representando 0,4 partes de tallo y 0,6 de raíz), la relación raíz: parte aérea estaría aumentando un 50%, de 1 a 1,5.

Una complicación adicional de SMF y RMF radica en que están dadas en peso seco, a diferencia de la relación raíz: parte aérea, que pueden expresarse tanto en peso seco como en peso fresco. Dado que en general los contenidos de materia seca de las raíces suelen ser mucho menores que los de la parte aérea (González *et al.*, 2009), un cambio en la partición del carbono hacia la raíz generalmente determina un cambio mucho mayor en la proporción de los órganos aéreos, medidos en términos de peso fresco. Finalmente, es útil tener en cuenta que la relación raíz: parte aérea también puede expresarse en términos de áreas expuestas al ambiente, lo que generalmente les otorga una mayor significancia ecofisiológica. Para esto es menester determinar la superficie radical, lo cual puede hacerse empleando métodos químicos sencillos como el de la adsorción de ácido clorhídrico (Equiza *et al.*, 2001; Equiza y Tognetti, 2002), o bien utilizando programas de análisis de imágenes que calculan la superficie radical a partir del área proyectada de una imagen digital del sistema radical tomada por un escáner (por ejemplo, el programa WinRhizo™). También es posible usar imágenes de resonancia magnética no destructivas para cuantificar el desarrollo de la raíz a partir de las deformaciones de la rizósfera y las interfaces generadas por la tasa de expansión celular en

diferentes especies tales como arveja (Bengough *et al.*, 2011) y remolacha (Poorter *et al.*, 2012a).

Alometrías y otros coeficientes de partición

Los coeficientes alométricos cuantifican la distribución de la biomasa entre diferentes órganos de la planta. Se expresan como la pendiente de la ecuación que representa la biomasa (o el logaritmo natural de la biomasa) de un órgano vs. la de otro. En la mayoría de los casos, el uso de logaritmos es necesario para que dicha relación sea lineal. Si bien no aparecen unidades de tiempo en las alometrías, el

tiempo se encuentra implícito, ya que para la construcción de los gráficos se requieren puntos muestrales a lo largo del ciclo de vida de la planta. Resultan particularmente útiles cuando aparecen órganos nuevos (por ejemplo tubérculos, bulbos, raíces reservantes o frutos) durante el ciclo de vida. En estos casos, la alometría permite comparar el carbono particionado a este órgano desde el momento que se formó en adelante bajo distintos tratamientos (Li *et al.*, 1996; Niklas, 2004; Niklas *et al.*, 2008; John *et al.*, 2013; Feller *et al.*, 2015).

Como ejemplo de alometrías se pueden mencionar las que relacionan el peso seco de raíces y parte aérea (figura

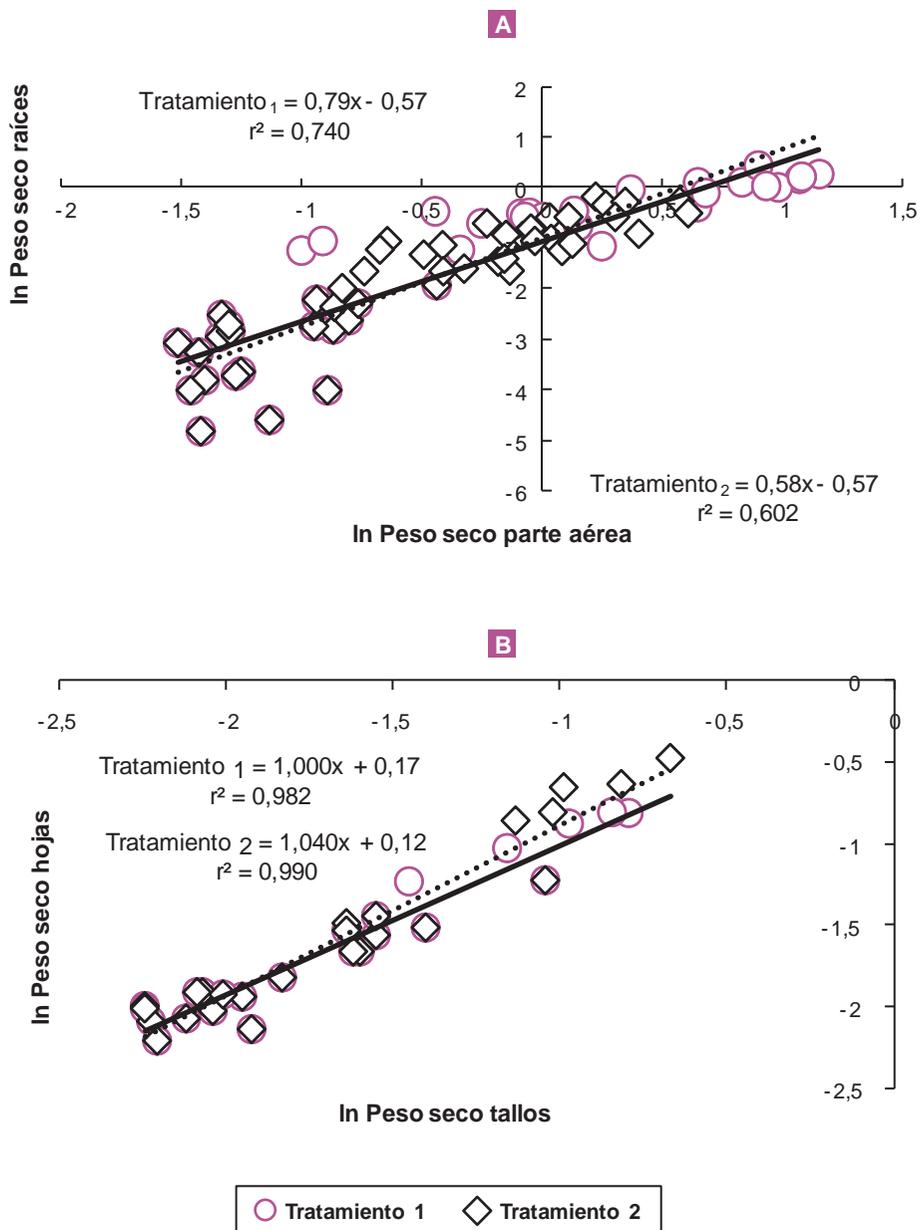


Figura 3. Relaciones alométricas raíz: parte aérea (A) y hojas: tallos (B) a partir de los datos de peso seco para cada parte de la planta (g planta⁻¹) y momento de cosecha para un experimento desarrollado durante 185 días con 5 cosechas parciales sobre plantas de *Epidendrum aureum* (Di Benedetto *et al.*, 2015a).

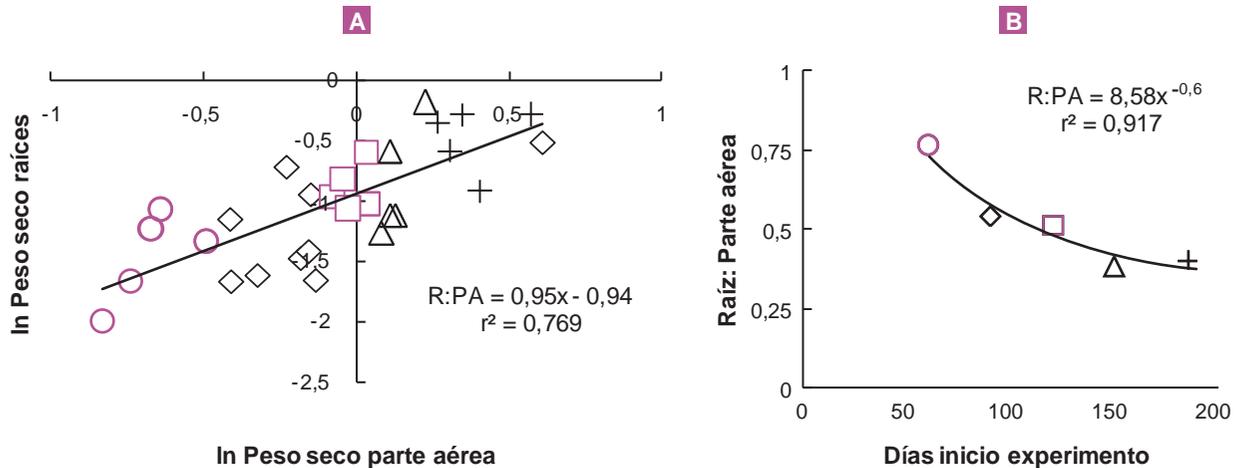


Figura 4. Relaciones alométricas raíz: parte aérea (A) y cambios en la relación parte raíz: parte aérea (B) sobre una base de peso seco para un experimento desarrollado durante 185 días con 5 cosechas parciales (○; □; △; +) sobre plantas de *Epipremnum aureum* (Di Benedetto *et al.*, 2015a).

3A) y aquellas que relacionan el peso seco de hojas y tallos (figura 3B) (McCarthy *et al.*, 2006; McCarthy y Enquist, 2007; Niklas *et al.*, 2009).

Con los mismos datos y fechas de muestreo es posible obtener un único valor (el de la pendiente) que caracteriza la partición cuando se utiliza la alometría raíces: parte aérea (figura 4A) mientras que, si se usan los datos directos, la relación raíces: parte aérea disminuye a lo largo del experimento (figura 4B).

Una medida interesante, aunque no muy frecuentemente empleada, consiste en la determinación de la proporción de peso seco destinado a la producción de área foliar. Este es el coeficiente de partición de área foliar (LAP, $\text{cm}^2 \text{ día}^{-1} / \text{g día}^{-1}$, por sus iniciales en inglés, “leaf area partitioning”) desarrollado por Potter y Jones (1977) con los mismos valores utilizados para calcular NAR y LAR, es decir, las pendientes de las ecuaciones de regresión de RGR y RLAE:

$$LAP = \frac{k_a A_0 e^{k_a t}}{k_w W_0 e^{k_w t}}$$

k_w : RGR (días^{-1}); W_0 : ordenada al origen de la línea de regresión que relaciona el peso seco total en el momento cero del cálculo (g); A_0 : ordenada al origen de la línea de regresión que relaciona el área foliar total en el momento cero del cálculo (cm^2); k_a : RLAE (días^{-1}); t : tiempo (en días) en la mitad del período experimental; e : base de los logaritmos naturales.

El cálculo de LAP, como una estimación de la partición, se corresponde con la medida instantánea de LAR, la relación entre estas es parecida a lo encontrado entre la alometría raíz: parte aérea y la relación raíz: parte aérea (figura 4A, B).

En tanto las alometrías clásicas, que relacionan los pesos secos de los órganos, dan idea de la partición del

carbono entre ellos, también es factible realizar alometrías que relacionen el peso fresco de los órganos, y en este caso los coeficientes alométricos dan idea del crecimiento relativo en volumen de esos órganos. Un ejemplo de estas alometrías, aplicadas a la planta de zanahoria, puede encontrarse en González *et al.* (2009).

Análisis funcional

Hemos visto que la curva de acumulación de biomasa solo sigue una forma exponencial durante un breve período, al inicio del desarrollo de una planta (u órgano), y que si se considera el ciclo de vida completo, la forma resulta sigmoidea. Este hecho se basa en que la proporción de tejidos meristemáticos, que crecen exponencialmente, disminuye conforme avanza la ontogenia de una planta, haciéndose finalmente muy baja. Por este motivo RGR, que es inicialmente alta, decae rápidamente con la ontogenia, hasta llegar a valores cercanos a cero en plantas adultas y próximas a la senescencia. A su vez, esto implica que el análisis de crecimiento clásico, que hemos visto se basa en el cálculo de RGR y sus componentes a partir de determinaciones espaciadas en el tiempo, y que se adapta muy bien al estudio de plantas que crecen exponencialmente, deje de representar adecuadamente el crecimiento de la planta en situaciones de desarrollo avanzado, a menos que se tomen muestras repetidamente en el tiempo que permitan dar cuenta de estos cambios en RGR.

Sin embargo, la disponibilidad de datos sucesivos en el tiempo permite el ajuste de funciones curvilíneas continuas, en lo que se denomina “análisis funcional” del crecimiento. Desde inicios del siglo XIX se han ido desarrollando ecuaciones que permiten modelar la acumulación sigmoidea de la biomasa, cuya aplicación se ha hecho cada vez más frecuente debido a las mayores facilidades computacionales.

Nombre	Función	Fuente	Función de crecimiento (w)	Tasa de crecimiento absoluta $\left(\frac{dw}{dt}\right)$	Tasa de crecimiento relativa $\left(\frac{1}{w} \frac{dw}{dt}\right)$
Chapman-Richards		Richards (1959)	$a(1-e^{-bt})^c$	$abce^{-bt}(1-e^{-bt})^{c-1}$	$bc(1-e^{-bt})^{-1}$
Gompertz		Gompertz (1825)	$ae^{-be^{-at}}$	$abce^{-ct}e^{-be}$	bce^{-ct}
Logística		Verhulst (1938)	$a(1+ce^{-bt})$	$abce^{-bt}(1+ce^{-bt})^{-2}$	$bc(c+e^{-bt})^{-1}$
Monomolecular		Weber (1891)	$a(1-e^{-bt})$	$abce^{-bt}$	$bc(e^{-bt}-c)^{-1}$
Weibull		Zeide (1993)	$a(1-e^{-bt^c})$	$abct^{c-1}e^{-bt^c}$	$bct^{(c-1)}(e^{-bt^c}-1)^{-1}$
Función beta		Yin <i>et al.</i> (2003)	$w_{\max} \left(1 + \frac{t_e - t}{t_e - t_m}\right) \left(\frac{t}{t_e}\right)^{\frac{t_e - t}{t_e - t_m}}$	$c_m \left[\left(\frac{t_e - t}{t_e - t_m}\right) \left(\frac{t - t_b}{t_m - t_b}\right)\right]^{\frac{t_m - t_b}{t_e - t_m}}$	$\frac{(2t_e - t_m)(t_e - t)(t_e - t)}{(t_e - t_m)(2t_e - t_m - t)}$

Tabla 1. Funciones para calcular las tasas de crecimiento absoluto y relativo de uso frecuente. Se indican los parámetros de los modelos (a, b, c, d), mientras que t indica tiempo o edad (Pommerening y Muszta 2015; Yin *et al.*, 2003).

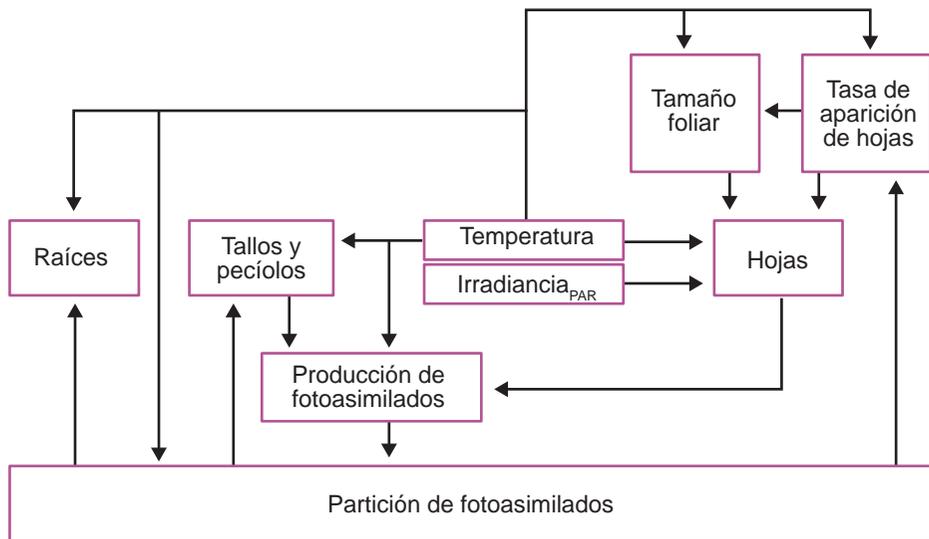


Figura 5. Esquema conceptual que describe las variables principales asociadas con la acumulación de biomasa vegetal.

Las más empleadas de estas funciones son las polinómicas de diverso grado (Poorter y Lewis, 1986), Gompertz (Gompertz, 1825), Logística (Verhulst, 1838); Monomolecular (Weber, 1891), Richards (Richards, 1959), y la función beta (Yin *et al.*, 2003). A su vez, a cada una de estas funciones se corresponden, por derivación, ecuaciones que representan AGR y RGR (tabla 1). Estas ecuaciones pueden ser a su vez modificadas para ser aplicadas a situaciones particulares. Por ejemplo, para el modelado del crecimiento de frutos que

presentan un patrón doble-sigmoideo, como ocurre con las bayas de los arándanos, se ha recurrido a la adición de un término exponencial de tipo polinómico cúbico a las ecuaciones originales de Gompertz, denominado Logística y Monomolecular, con resultados satisfactorios tanto para el ajuste de la acumulación de volumen como para el cálculo de AGR y RGR de estos frutos (Godoy *et al.*, 2008).

Si bien existen *a priori* criterios que pueden emplearse para decidir cuál de estas ecuaciones puede resultar más

adecuada para un análisis en particular (por ejemplo, las ecuaciones polinómicas tienden a ser evitadas ya que emplean parámetros que carecen de significado biológico), también es cierto que lo más común es el criterio empírico. Es decir, que se suelen probar distintas funciones, eligiéndose aquella que presente un mejor ajuste a los datos, como por ejemplo, en Godoy *et al.* (2008) y Wubs *et al.* (2012) para el modelado de frutos de arándano y pimienta, respectivamente. Existen asimismo varios criterios para evaluar la bondad de ajuste, algunos de los cuales, como el criterio de Akaike, “penalizan” el número excesivo de parámetros (Posada y Rosero Noguera, 2007).

Dado que existe gran interés en encontrar funciones que permitan evaluar el crecimiento de las plantas empleando parámetros que tengan el máximo sentido biológico posible, la investigación sobre el análisis funcional del crecimiento es un área de activa investigación. No obstante, cabe tener en cuenta que más allá de constituir una herramienta que permite la evaluación del crecimiento de un modo continuo, el análisis funcional no deja de ser una generalización de los mismos conceptos del análisis clásico, y por lo tanto no ahondaremos en su estudio. El lector interesado puede, por ejemplo, encontrar un tratamiento más detallado del tema en los trabajos de revisión de Paine *et al.* (2012) y de Pommerening y Muszta (2015).

Validación estadística

Es posible comparar estadísticamente los coeficientes estimados a partir de regresiones lineales (RLAE, RLA, RGR, NAR, LAR, LAP y las alometrías) de dos formas:

- a. si en el experimento se utiliza un diseño estadístico en bloques totalmente aleatorizados es posible calcular cada estimador para cada bloque y luego utilizar un test de análisis de varianzas convencional, en caso de que se cumplan los supuestos para tal fin (Tukey, ANOVA) para calcular la significancia estadística.
- b. con el paquete estadístico SMATR (Warton *et al.*, 2012) es posible calcular las diferencias significativas en las ordenadas al origen y la pendiente de las regresiones lineales utilizadas.
- c. en ajustes funcionales, el paquete de software R Commander permite el análisis de los parámetros correspondientes a través de la opción GLM (Generalized Linear Models).

Procesos y mecanismos involucrados en las respuestas ecofisiológicas

Los estimadores de crecimiento descritos precedentemente permiten cuantificar en términos estadísticos los mecanismos ecofisiológicos que determinan la acumulación de biomasa. La figura 5 es solo un esquema conceptual que puntualiza las variables principales asociadas con la acumulación de biomasa aérea y radical. Aunque la oferta agroclimática sobre la planta-cultivo determina la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa y

la velocidad de las reacciones bioquímicas, tanto la producción de fotoasimilados como su distribución dentro de la planta son procesos modificados por el funcionamiento endógeno de la planta y que pueden ser adecuadamente cuantificados por los estimadores de crecimiento. La intercepción de la radiación fotosintéticamente activa tiende a aumentar conforme la planta aumenta su área foliar y, en general, su tamaño, a pesar del sombreado de las hojas inferiores por la superiores. La temperatura también puede modificar algunos de los componentes de RGR (Loveys *et al.*, 2002; Medek *et al.*, 2007).

Se debe tener en cuenta que cada una de estas variables funciona como una “caja negra” la que puede ser desglosada para describir mecanismos diferentes avanzando desde los procesos principales a sus componentes; tal es el caso de RGR cuando se desdobra en NAR y LAR, en el de NAR cuando se desdobra en LNP y LNC_a, o en el de LAR cuando se desdobra en SLA y LWR.

En principio, la acumulación de biomasa total puede ser cuantificada a través de RGR; sin embargo, cuando se desea caracterizar el proceso de acumulación de fotoasimilados es necesario estimar la tasa fotosintética a través de NAR, y el uso de estos para generar un mecanismo de retroalimentación positiva (RLAE y RLA) (Di Benedetto *et al.*, 2013; 2015a). Un aspecto determinante de la captación de luz y que puede influir sobre RGR es el ritmo de producción y renovación de las hojas. La fenología foliar es parte integrante de la estrategia de captura de luz de las plantas e influye significativamente en la producción del vegetal. Se pueden distinguir dos aspectos bien diferenciados: el ritmo de emergencia de las hojas y la longevidad foliar (vida media de cada hoja individual) (Laclau *et al.*, 2008). Se ha comprobado que la longevidad de la hoja está interrelacionada con su costo de construcción y con su tasa fotosintética máxima (Wright *et al.*, 2004). Así, hojas longevas, costosas y con tasas fotosintéticas generalmente bajas compensan sus altos costos de construcción mediante largos periodos productivos (Pickup *et al.*, 2005; Terashima *et al.*, 2005). A nivel de planta entera, existe una diferencia en el contenido de carbono entre órganos, de forma que las hojas son más costosas que los tallos, en parte debido a su mayor contenido en proteínas (Poorter y Villar, 1997). En las últimas décadas se ha generado una considerable base de datos sobre el costo de construcción, principalmente de hojas, que ha permitido conocer la variación de este entre especies, comparar diferentes grupos funcionales de plantas, contrastar los valores medios de biomasa, o el posible efecto del aumento de dióxido de carbono en la atmósfera sobre el contenido de carbono de las plantas (Poorter *et al.*, 1997; 2006; Poorter y De Jong, 1999).

Dado el carácter dinámico de la acumulación de biomasa, la partición diferencial de fotoasimilados puede verse como un mecanismo controlado por la fuerza del “destino” y que modifica cuantitativamente la figura 5 (Enquist y Niklas, 2002; Enquist *et al.*, 2007). El uso de LAP y las alometrías entre el sistema radical y la parte aérea de la planta o entre las hojas y tallos son un claro ejemplo de ello.

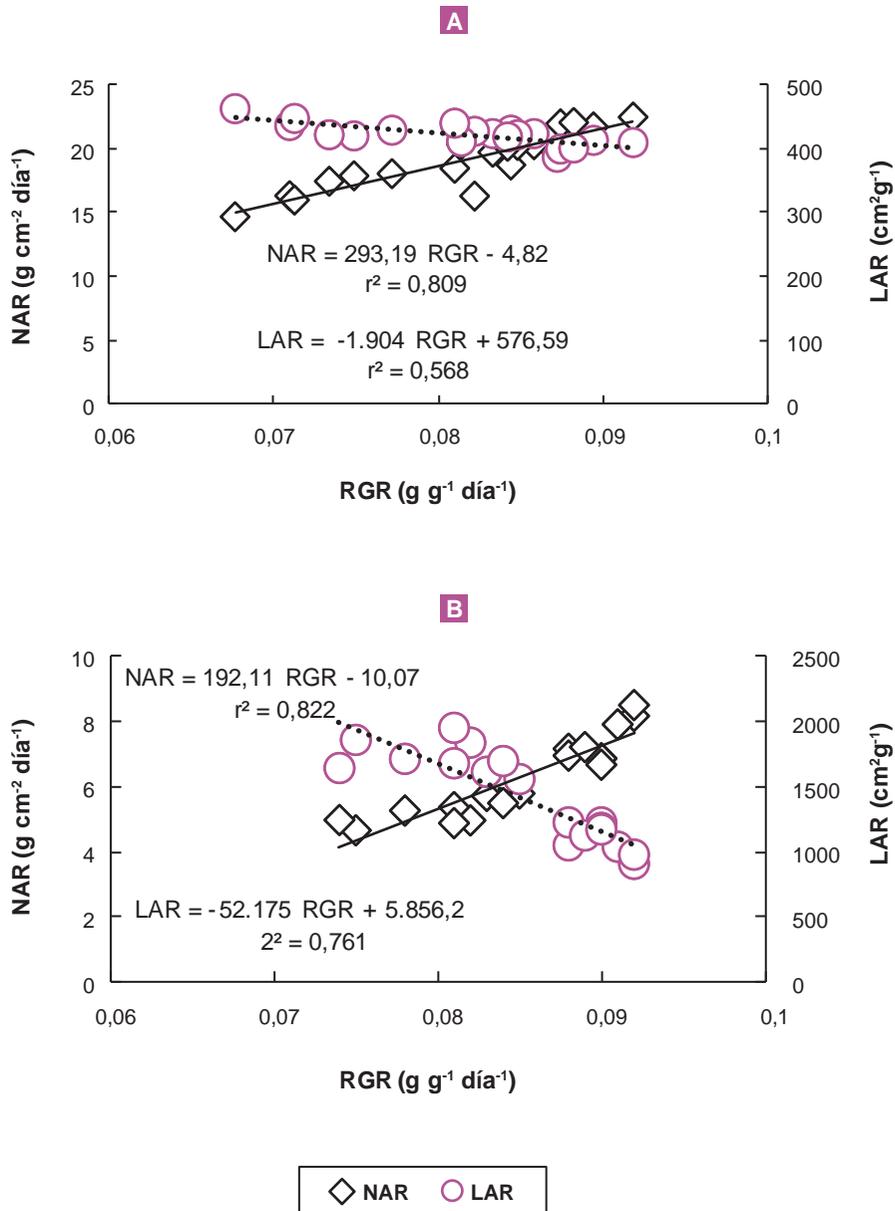


Figura 6. Cambios en NAR y LAR en función de RGR para dos especies umbrófilas facultativas bajo cultivo intensivo. A: *Impatiens walleriana* L. (Gandolfo *et al.*, 2014) y *Spinacea oleracea* L. (Di Matteo *et al.*, 2015).

NAR es el resultado del balance neto entre las ganancias generadas a través de la fotosíntesis neta y las pérdidas relacionadas con la respiración de hojas, tallos y raíces. No obstante, también intervienen otros factores, tales como la distribución de biomasa a diferentes órganos, la composición química y la formación de área foliar (Poorter, 1989).

La partición de fotoasimilados depende de estímulos ambientales (Minchin *et al.*, 1994; Schieving y Poorter, 1999; Linker y Johnson-Rutzke, 2005; Hermans *et al.*, 2006; Grechi *et al.*, 2007) mediados por señales endógenas (Forde, 2002; Gupta y Kaur, 2005), aunque el genotipo tiene una importancia crítica sobre la respuesta esperada.

Contribución de los aspectos morfológicos y fisiológicos a RGR

Al analizar los componentes de la tasa de crecimiento relativo (RGR), podemos conocer la contribución relativa de los aspectos morfológicos (LAR, SLA y LWR) frente a los fisiológicos (NAR), y la variabilidad interespecifica de RGR (Gandolfo *et al.*, 2014; Di Benedetto *et al.*, 2015a; Di Mateo *et al.*, 2015). Si tenemos un conjunto numeroso de especies o de genotipos de una misma especie, podremos calcular regresiones entre sus valores promedio de RGR (considerada como variable dependiente) y sus rasgos morfológicos (por ejemplo SLA o LMF) o actividades

	RGR	NAR	LAR	SLA
Irradiancia	↑ 1-7	↑ 7-12	↓ 7-8	↓ 7-12
Temperatura	↑ 14	↑ 5	↑ 5	↓ 5
CO ₂	↑ 1			↓ 11
Nitrógeno	↑ 3-2	↑ 2	↑ 2	↓ 13
Citocinas	↑ 6-7-8	↑ 6-7-8	↓ 6-7-8	↓ 6-7-8
Auxinas	↑ 9	↑ 9	↓ 9	↓ 10

Tabla 2. Efecto relativo de un incremento en diversos factores sobre la respuesta de los principales estimadores de crecimiento que definen la acumulación de biomasa en especies hortícolas y ornamentales. El grosor de las flechas es una indicación del efecto relativo de cada factor ambiental sobre los diferentes estimadores de crecimiento.

¹Alscher *et al.* (2001) (lechuga); ²Ballio *et al.* (2007) (pimiento, berenjena); ³Bennincasa *et al.* (2011) (lechuga, pimiento, tomate); ⁴Coro *et al.* (2015) (lechuga); ⁵De Swart *et al.* (2006) (pimiento); ⁶Di Matteo *et al.* (2015) (espinaca); ⁷Di Benedetto *et al.*, (2013) (potus); ⁸Di Benedetto *et al.*, (2015a) (potus); ⁹Di Benedetto *et al.* (2015b) (potus); ¹⁰Di Benedetto *et al.* (inédito) (alegría del hogar); ¹¹Poorter (1993); ¹²Sirtautas *et al.* (2014) (lechuga); ¹³Soundy y Cantliffe (2001) (lechuga); ¹⁴van der Ploeg y Heuvelink (2005) (tomate).

fisiológicas (NAR) (como variables independientes) para investigar cuáles son las variables que están asociadas en mayor grado a esas diferencias en la velocidad de crecimiento entre distintas especies (Feng *et al.*, 2007; James y Drenovsky 2007; Milla *et al.*, 2008; Price y Weitz, 2010; Van Kleunen *et al.* 2010; Westoby *et al.*, 2013).

Cuando se disecciona RGR en sus componentes, existe un acuerdo casi general entre los ecólogos en que el componente morfológico, y en particular el área foliar específica (SLA), es el factor más importante para las plantas herbáceas (Poorter y Remkes, 1990; Poorter *et al.*, 1990; Poorter y Pothmann, 1992; Roche *et al.*, 2004; Leishman *et al.*, 2007) y leñosas (Hoffmann *et al.*, 2005; Marron *et al.*, 2005; Dahlgren *et al.*, 2006; Poorter y Bongers, 2006; Grotkopp y Rejmánek, 2007; Santiago y Wright, 2007; Poorter, 2009; Nouvellon *et al.*, 2010). Este rasgo aparentemente simple de la planta, es decir, el cociente entre la superficie de la hoja y su peso, puede explicar en ocasiones hasta el 80% de la variación en sus tasas de crecimiento. Es interesante notar que el criterio de las diferencias en RGR y en componentes del LAR entre especies podría ser empleado para decidir la conveniencia de la introducción de cultivos hortícolas u ornamentales foráneos que podrían eventualmente convertirse en especies invasivas en su nuevo hábitat (Grotkopp y Rejmanek, 2007; Grotkopp *et al.*, 2010).

Sin embargo, en algunos estudios se ha demostrado que el componente fisiológico (NAR) es importante a la hora de explicar las diferencias en RGR entre especies. En el trabajo con 24 especies leñosas de Villar *et al.* (2005) se ha encontrado que NAR explica una parte significativa (36%) de la variación de RGR. Para resolver esta aparente con-

tradición, se ha propuesto (Shipley, 2002, 2005, 2006) que la importancia de NAR sobre RGR puede efectivamente ser muy alta si las condiciones de radiación son intensas. Estos estudios han puesto de manifiesto la importancia de la tasa fotosintética de las hojas sobre el crecimiento de la planta. Cuando la intensidad de radiación es baja, la inversión en enzimas fotosintéticas no se maximiza y las diferencias intrínsecas entre especies, respecto a su capacidad fotosintética, no se expresan. Por tanto, en estas condiciones de baja iluminación cobran mayor importancia relativa la morfología y la arquitectura de la copa, es decir, se maximiza LAR, pero existen limitaciones para maximizar NAR en especies heliófilas al derivarse el nitrógeno foliar hacia la captura de fotones.

Se debe tener en cuenta que esta hipótesis es válida cuando se analizan diferencias entre especies, pero no entre tratamientos que causan cambios en RGR dentro de una misma especie. Por ejemplo, si se reduce la intensidad de la luz, RGR sufrirá una fuerte disminución debido a una brusca caída de NAR, manteniéndose LAR (y SLA y LWR) constante por un cierto tiempo. Por esa razón se deben separar las cuestiones de estrategia evolutiva (especies que son intrínsecamente de alta RGR vs. baja RGR) de los resultados de una condición ambiental o de manejo que hagan cambiar RGR (Gandolfo *et al.*, 2014; Di Benedetto *et al.*, 2013, 2015a, b; Di Mateo *et al.*, 2015).

Aunque el uso de los estimadores de crecimiento permite identificar los mecanismos ecofisiológicos involucrados ante cambios en el ambiente o en el manejo cultural, estos deben ser considerados como herramientas y no tomadas como “dogmas” que describen comportamientos generales. Diferentes autores han utilizado los cambios en LAR y

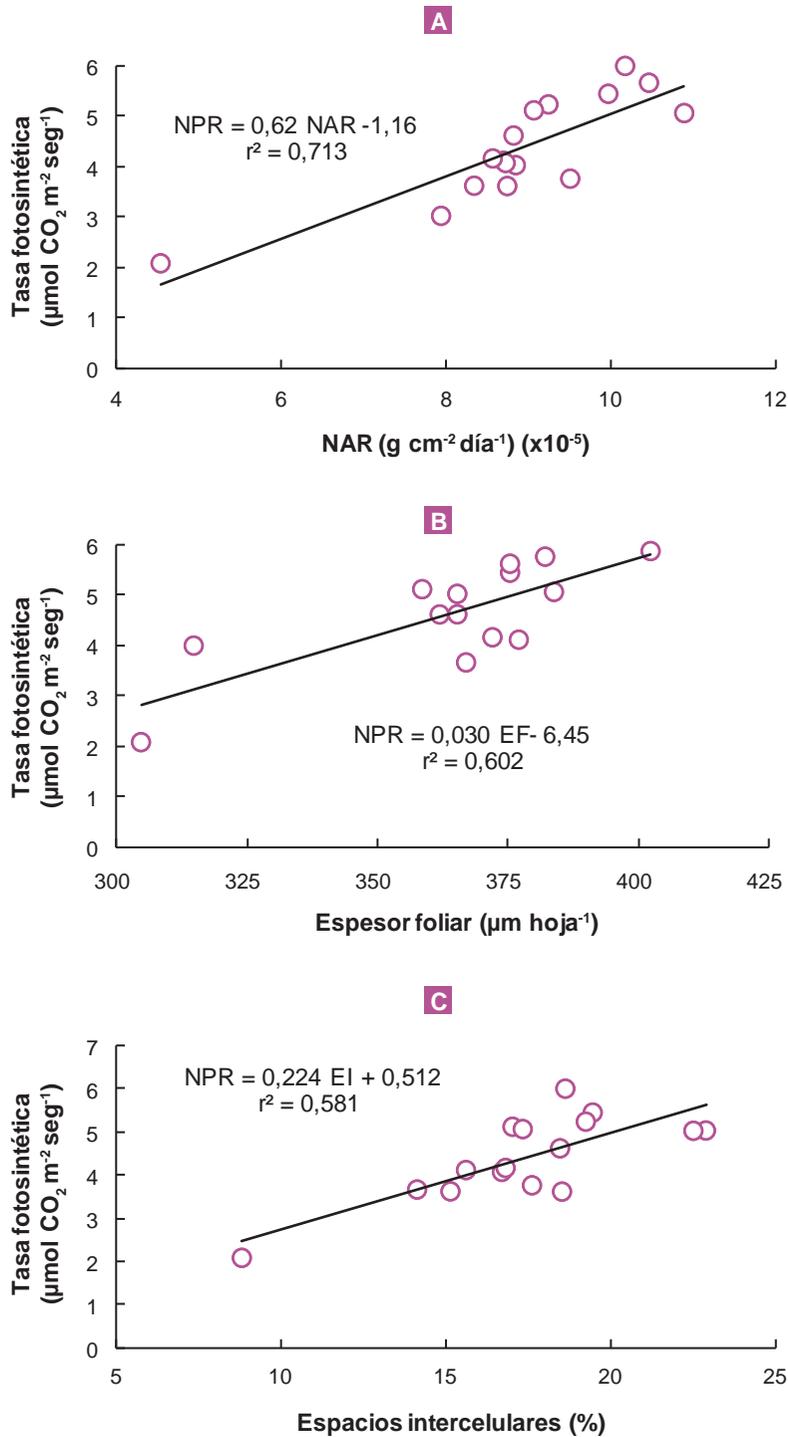


Figura 7. Relación entre la tasa fotosintética neta (NPR, por sus iniciales en inglés “net photosynthetic rate”) y NAR (A), el espesor foliar (B) y la proporción de espacios intercelulares (C) en una especie umbrófila (*Epipremnum aureum*) (Di Benedetto *et al.*, 2015a).

específicamente en SLA para describir el comportamiento ecológico de muchas especies; sin embargo, es un error generalizar. Datos recientes muestran que, para especies ornamentales y hortícolas bajo cultivo intensivo (figura 6), los incrementos en RGR en respuesta a cambios en el balance hormonal se encuentran básicamente asociados con aumentos en NAR mientras que LAR es una variable que

reduce el valor de RGR, aunque el efecto cualitativo puede ser diferente en *Impatiens wallerana* (figura 6A) que en *Spinacea oleracea* (figura 6B). Resultados similares se han encontrado cuando se contrastaron diferencias en irradiancias (Di Benedetto *et al.* 2013, 2015a), tamaño de celdas pretrasplante (Di Benedetto y Pagani, 2013; Gandolfo *et al.*, 2014) y la calidad del sustrato (Pagani *et al.*, 2015).

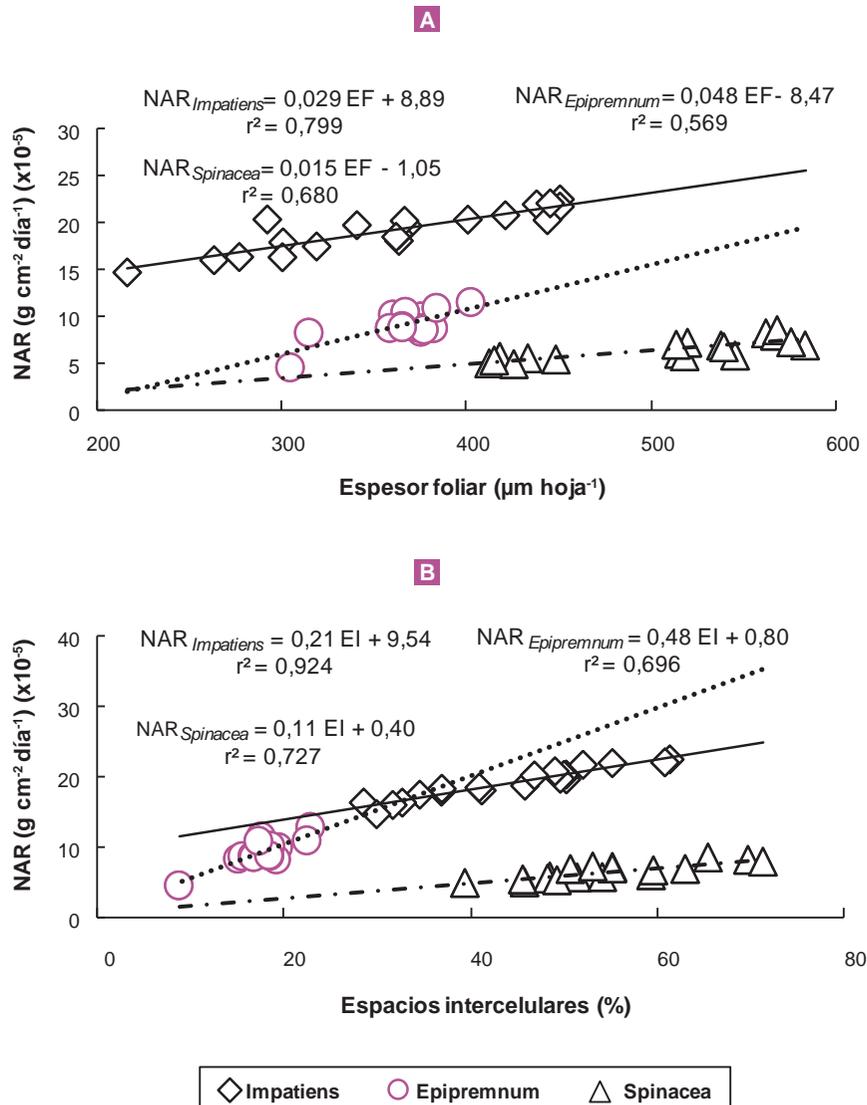


Figura 8. Relación entre la tasa de asimilación neta (NAR) y el espesor foliar (A) o la proporción de espacios intercelulares (B) en tres especies bajo cultivo intensivo: *Impatiens wallerana* (Gandolfo *et al.*, 2014), *Epipremnum aureum* (Di Benedetto *et al.*, 2015a) y *Spinacea oleracea* (Di Matteo *et al.*, 2015).

El ambiente y las condiciones de manejo pueden tener un elevado impacto sobre RGR. No obstante, la contribución relativa de los cambios en NAR, LAR, LWR y SLA sobre RGR puede variar mucho según cuál sea el factor ambiental considerado. La tabla 2 muestra el efecto de un incremento en la irradiancia, la temperatura, la concentración de dióxido de carbono, el suministro de nitrógeno y el asperjado con citocininas o auxinas sobre los principales estimadores de crecimiento (RGR, NAR, LAR y SLA). Como puede verse, existen condiciones que impulsan un aumento de RGR a través de incrementos simultáneos en NAR y en LAR mientras que otras condiciones causan incrementos en RGR fundamentalmente a través de un mayor NAR, aun a pesar de pequeñas disminuciones en los componentes morfológicos.

NAR y tasa fotosintética

La tasa fotosintética es, sin duda, la fuerza motriz de la acumulación de biomasa. Su determinación requiere de costosos equipos tales como el LI-6200 (LI-COR Inc., EUA), aunque existen algunos recaudos para tener en cuenta cuando se utilizan (Long y Bernacchi, 2003) Dado que se ha encontrado una relación positiva entre tasa fotosintética y NAR (Poorter y van der Werf, 1998; figura 7A) es posible utilizar esta última como una estimación aceptable. Las figuras 7B y 7C muestran también que, en plantas de la especie ornamental *Epipremnum aureum*, la tasa fotosintética depende del espesor foliar (puede ser estimado a partir del SLA) y de la distribución de espacios intercelulares. Se debe tener en

cuenta que es necesaria una medición independiente de la tasa fotosintética porque, cuando se estima NAR, cualquier error en una determinación de área foliar repercute simultáneamente tanto sobre esta como sobre LAR, de modo que una compensa a la otra, manteniéndose el valor de RGR.

SLA no necesariamente explica el espesor foliar debido a que pueden presentarse variaciones en el porcentaje de espacios que, a su vez, afectan la fijación del carbono en la planta. Gandolfo *et al.*, (2014) y Di Matteo *et al.*, (2015) han mostrado una falta de respuesta de LAR, pero cambios en diferentes atributos de la lámina foliar tales como el espesor foliar y la proporción de espacios intercelulares que disminuyen las resistencias a la difusión del dióxido de carbono entre la cámara subestomática y el sitio de carboxilación en los cloroplastos, lo que podría contribuir al aumento en NAR (figura 8A y B). De la misma manera, a pesar de que las relaciones cualitativas son positivas entre diferentes especies, es posible encontrar variaciones cuantitativas entre ellas. El tamaño de las plantas al inicio del experimento es una fuente de variación para tener en cuenta (Liu *et al.*, 2010).

Se ha encontrado también una relación entre SLA y el suministro de macronutrientes (Gerardeaux *et al.*, 2009), especialmente nitrógeno (Evans y Poorter, 2001; White y Scott, 2006). Los nutrientes se consideran actualmente como señales endógenas capaces de modificar el funcionamiento de los ápices de crecimiento (Francis y Halford, 2006; Schachtman y Shin, 2007). De todas formas, el aumento en el contenido de nitrógeno foliar es probable que incremente la concentración de Rubisco y, por lo tanto NAR, más allá de los posibles efectos de señalización.

Crecimiento y productividad a nivel de cultivo

La información anterior se halla asociada al análisis del crecimiento de cada planta individual; sin embargo, cuando se trabaja a nivel de cultivo es común utilizar CGR (tasa de crecimiento del cultivo, $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, por sus iniciales en inglés "crop growth rate" (Hardwick, 1984; Foster *et al.*, 1987; Boroujerdnia y Ansari, 2007), pero teniendo en cuenta que CGR no es equivalente a RGR ya que la primera representa una tasa absoluta mientras que la segunda es una tasa relativa:

$$\text{CGR} = \left(\frac{dW}{dt} \right) / S = \left(\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \right) / S$$

dW: diferencial de peso seco; dt = diferencial de tiempo; S: área de suelo.

CGR puede ser desglosada en dos componentes:

$$\text{CGR} = \text{NAR} \times \text{LAI}$$

El **índice de área foliar** (LAI, $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$, por sus iniciales en inglés "leaf area index") es una medida instantánea que relaciona el área de superficie asimiladora (A) por unidad

de superficie de suelo (S) (De Pinheiro Enriques y Marcellis, 2000; Scholberg *et al.*, 2000; Li y Stanghellini, 2001; Gimenez *et al.*, 2002; Tei *et al.*, 2002; Martini *et al.*, 2004; Briand *et al.*, 2008; Fallovo *et al.*, 2009; Chatterjee, 2010):

$$\text{LAI} = \frac{A}{S}$$

A medida que aparecen nuevas hojas y se incrementa LAI, las superiores reducen la irradiancia fotosintéticamente activa que reciben las que se encuentran por debajo de ellas. Análogamente, un aumento en la densidad de plantación determina incrementos acelerados en LAI, un más rápido "cierre" del canopeo y también mayor sombreado de las hojas inferiores. Esto lleva a una disminución de NAR, que va a depender en buena parte de la estructura del canopeo (por ejemplo, la disposición más o menos erecta de las hojas). Esto indica que las dos variables que definen CGR no son independientes entre sí, lo que ciertamente reduce la utilidad de esta aproximación al análisis de crecimiento de cultivos.

Un segundo factor importante que también contribuye a restarle utilidad a este tipo de análisis es que la productividad de los cultivos no se encuentra asociada a la acumulación de biomasa total, sino a la proporción que se particiona hacia los órganos de cosecha (Andrade *et al.*, 1999; Mbah y Eke-Okoro; 2015). Por estos motivos, se ha desarrollado una variante del análisis del crecimiento para su empleo en cultivos extensivos, denominado a veces "análisis integrado", que es actualmente preferida sobre el análisis clásico (Hardwick, 1984).

El valor de CGR a nivel de cultivo es función de la radiación incidente y de las eficiencias de intercepción lumínica y de conversión de la radiación interceptada en biomasa. El área foliar de los cultivos y el coeficiente de extinción de la radiación fotosintéticamente activa influyen sobre la radiación fotosintéticamente activa (I_{PAR}) interceptada por el cultivo y están significativamente relacionados con la producción de biomasa y el rendimiento (Bos *et al.*, 2000; Tsubo *et al.*, 2001; Lizaso *et al.*, 2003).

En el análisis integrado, en vez de calcularse tasas instantáneas de crecimiento o de asimilación, se estudia la producción de biomasa a lo largo del ciclo de cultivo en relación con la radiación recibida, ya que esta consiste, en definitiva, en el sustrato principal de la fotosíntesis y, por ende, en la acumulación de materia seca. De acuerdo con este análisis, la producción de biomasa de un cultivo depende tanto de la radiación incidente entre emergencia y madurez como de las eficiencias de intercepción lumínica ($E_{\text{int.}}$) y conversión ($E_{\text{conv.}}$) en biomasa (Andrade *et al.*, 1996) de tal modo que:

$$\text{Biomasa} = I_{\text{PAR}} \times E_{\text{int.}} \times E_{\text{conv.}}$$

Suponiendo una distribución uniforme del área foliar en el plano horizontal, la I_{PAR} interceptada puede ser calculada a partir de:

$$E_{\text{int.}} = 1 - e^{-kIAF}$$

$$I_{\text{PAR int.}} = I_{\text{PAR inc.}} \times E_{\text{int.}}$$

k es el coeficiente de extinción lumínica.

Hay que tener en cuenta que si la distribución de la luz no es uniforme, se afecta la medición del coeficiente de extinción lumínica.

La medición de la intensidad de la luz se realiza con células solares de silicio monocristalinas. La firma Li-Cor (Lincoln, NE, EUA) comenzó a fabricar sensores para medir fotones provenientes de la radiación solar en forma puntual; con posterioridad se desarrolló una barra que integra el flujo de fotones recibido en un metro lineal.

Matemáticamente la $I_{\text{interceptada}}$ acumulada a fin del ciclo es la integral de las $I_{\text{interceptada}}$ diarias y depende, además de LAI, de la arquitectura del cultivo (Maddonna *et al.*, 2001; Anda y Loke, 2005). La radiación interceptada varía durante el ciclo de cultivo y en función de diferentes tratamientos capaces de modificar la producción de biomasa aérea (figura 9), por lo que se aconseja calcular el producto de la radiación interceptada y el porcentaje de intercepción en forma diaria.

Paralelamente, la producción de materia seca está linealmente relacionada con la I_{PAR} interceptada y acumula-

da. Dicha relación muestra la eficiencia con la que el cultivo convierte la energía lumínica en biomasa vegetal y se denomina eficiencia en el uso de la radiación (RUE, $\text{g m}^2 \text{ día}^{-1} \text{ MJ}^{-1}$, por sus iniciales en inglés "radiation use efficiency") (Tei *et al.*, 2002; Lecoeur y Ney, 2003; Cho *et al.*, 2015). Matemáticamente representa el promedio ponderado de las eficiencias de conversión ($E_{\text{conv.}}$) diarias.

RUE no es un parámetro muy estable en ambientes contrastantes (Kiniry *et al.*, 1989; Andrade *et al.*, 1992; Sinclair y Muchow, 1999); todos los factores que modifican la capacidad fotosintética de la planta pueden afectarlo. Modificando el ángulo de las hojas (Duncan *et al.*, 1967), optimizando la distribución de la I_{PAR} (Duncan, 1971), la presencia de hojas erectas en la parte superior y planófilas en la parte inferior del canopeo y aumentando la temperatura (Andrade *et al.*, 1993) se ha logrado incrementar RUE a nivel de cultivo. Los valores de RUE pueden ser significativamente diferentes para muchas especies hortícolas bajo cultivo intensivo (tabla 3).

El rendimiento de un cultivo a madurez puede definirse como:

$$\text{Rendimiento} = \text{Biomasa} \times \text{HI}$$

El índice de cosecha o HI (por sus iniciales en inglés "harvest index") representa el promedio ponderado de las eficiencias de partición diarias y puede definirse como la relación entre el rendimiento del órgano cosechable y la biomasa de la planta (Liu *et al.*, 2004; Ding *et al.*, 2005; Malash *et al.*, 2005; Moriondo *et al.*, 2005; Di Benedetto y

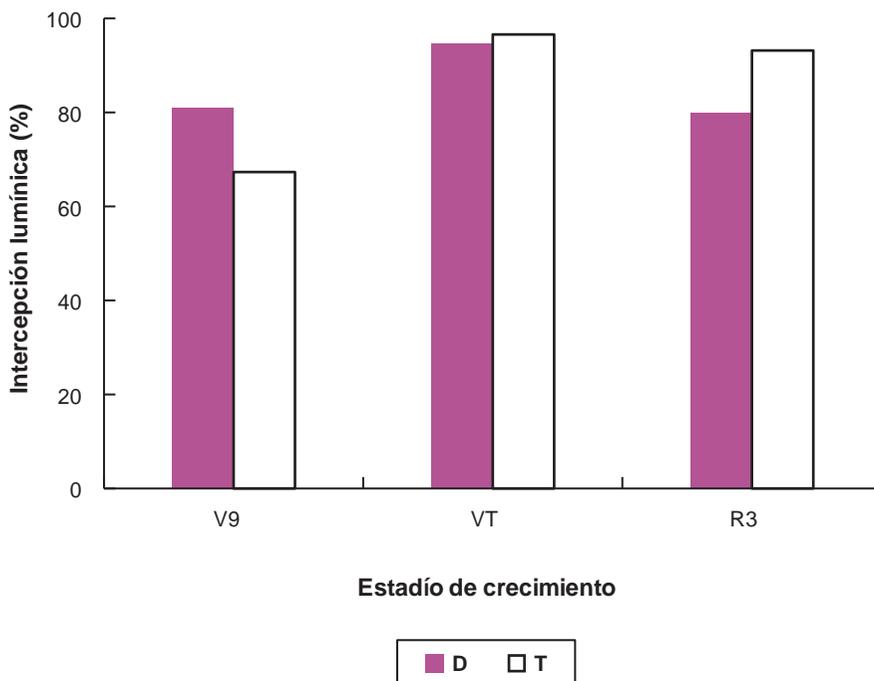


Figura 9. Cambios en la intercepción lumínica entre los estadios V₉, V_T y R₃ en plantas del híbrido de maíz súper dulce 'Canner' iniciado por siembra directa (D) o trasplante (T). (Di Benedetto y Rattin, 2008).

Especie	Rue (g MJ ⁻¹ PAR)	Referencia
Ajo	2,9	Rizzalli et al., 2002
Apio	2,2	Baumann et al., 2002
Arveja	1,5	Lecoeur y Ney, 2003
Cebolla	2,4	Tei et al., 1996
Coliflor	0,8	Kage et al., 2003
Lechuga	2,4	Tei et al., 1996)
Maíz dulce	2,6	Fletcher et al., 2008
Papa	2,9	De la Casa et al., 2011
Pimiento	2,2	Karam et al., 2009
	4,6-5,3	Kara y Yildirim, 2015
Poroto	2,4	Tesfaye et al., 2006
Puerro	2,4	Baumann et al., 2002
Remolacha	3,6	Tei et al., 1996
Repollito de bruselas	2,3	Booij et al., 1996
Tomate	0,6	Adamowics y Le Bot, 2008
Zapallito	2,5-4,2	Rouhael y Colla, 2005

Tabla 3. Valores promedios de RUE (g MJ⁻¹ PAR) para diferentes especies hortícolas.

Rattin, 2008). Idealmente se calcula sobre la biomasa total de la planta, incluyendo las raíces (HI_{real}) (Schapaugh y Wilcox, 1980; Walker y Fioritto, 1984). Sin embargo, debido a las dificultades de extracción de raíces, frecuentemente se calcula como la relación entre el rendimiento del órgano cosechado y la biomasa total por encima del nivel del suelo

($HI_{aparente}$) (Donald y Hamblin, 1976).

HI depende del producto cosechado, es mayor en hortalizas de hojas que en frutos o granos y, en general, ha permanecido constante para la mayor parte de las especies bajo cultivo intensivo durante las últimas dos décadas. Sin embargo, a través de prácticas culturales (figura 10) o tratamientos hormonales es posible modificar la partición de fotoasimilados a favor del órgano de cosecha.

Como fuera expresado anteriormente, este es un análisis apropiado para evaluar la conversión de radiación en biomasa seca, por lo que no necesariamente es conveniente emplearlo para estudios en especies cuyo producto se comercializa en fresco. Como regla general, podemos decir que el análisis integrado brinda información agrónomicamente útil en los casos en que el contenido porcentual de materia seca (DM %) es relativamente poco afectado por condiciones ambientales o de manejo. En general, este es el caso de los bulbos y tubérculos, pero no el de las hortalizas de hoja, que suelen variar ampliamente en la concentración de la materia seca de acuerdo con las condiciones de cultivo, incrementándose generalmente bajo situaciones de estrés. Por ejemplo, como consecuencia de un déficit de N, se han encontrado incrementos en el DM % de más del 25% en lechuga (De Pinheiro Henriques y Marcelis, 2000) y de alrededor del 50% en espinaca y repollo crespito (Lefsrud et al., 2008). Es importante tener en cuenta tales efectos cuando se realiza un análisis integrado en este tipo de hortalizas.

CONCLUSIONES

Los métodos de análisis del crecimiento han sido extensamente aplicados a estudios fisiológicos y ecológicos básicos y a cultivos extensivos, pero su empleo en produc-



Figura 10. Cambios en HI en función de la densidad de plantación (4, 8 o 12 plantas m⁻²), la rutina de implantación (D: siembra directa; T: trasplante) en maíz súper dulce 'Butter Sweet' en el estadio R₃. (Rattin et al., 2015).

ciones vegetales bajo cultivo intensivo (frutihortícola y ornamental) ha tenido menos difusión. Han contribuido a esta situación, por una parte, las características de muchos cultivos intensivos en los que suele ser de fundamental interés lo que ocurre en etapas vegetativas avanzadas, cuando la planta ha dejado de crecer exponencialmente, lo que dificulta la aplicación de las técnicas de análisis clásico. Y, por otra parte, el hecho de que en este tipo de cultivos, la acumulación de peso fresco suele tener mayor significancia comercial que la del peso seco, lo que dificulta la aplicación tanto del análisis clásico como del análisis integrado, que han sido originalmente desarrollados para estudiar la acumulación de biomasa seca. No obstante, observando ciertas precauciones tratadas en el presente trabajo, estos análisis pueden al menos parcialmente ser extendidos a producciones intensivas.

De la misma forma, en este tipo de cultivos, suele ser importante la evaluación del crecimiento proporcional de órganos. Para esto, pueden determinarse tanto las proporciones de biomasa entre los órganos, como sus relaciones alométricas; las primeras generalmente cambian con la ontogenia mientras que las segundas brindan información acerca de la partición de los fotoasimilados a lo largo del desarrollo. A su vez, los análisis alométricos pueden realizarse tanto en términos de peso fresco como de peso seco, pero ambas formas no son equivalentes, dado que en general los contenidos de materia seca de las distintas partes de la planta suelen ser muy diferentes, por lo que un cambio en la partición del carbono suele determinar un cambio diferente en la proporción de peso fresco entre los distintos órganos.

También requiere precaución la aplicación del análisis integrado a los cultivos intensivos, ya que su empleo directo en forma análoga a la habitual en cultivos extensivos para grano no es necesariamente apropiado, especialmente en los casos en que el contenido porcentual de materia seca es afectado por condiciones ambientales o de manejo, como suele ocurrir típicamente en hortalizas de hoja o plantas de follaje ornamental.

Las técnicas de análisis de crecimiento brindan la posibilidad de comparar las respuestas frente a modificaciones del ambiente aéreo y radical, y facilitan cambios en las rutinas de manejo y conducción de cultivos a través de los efectos que estos generan sobre los procesos fisiológicos asociados con la productividad a nivel de planta y cultivo. Constituyen, además, una herramienta que amplía nuestro horizonte de conocimiento agronómico y facilita su difusión. Es por lo tanto deseable una más frecuente aplicación a los estudios sobre cultivos intensivos, más allá de la existencia de aspectos particulares y precauciones a ser tenidos en cuenta, que el presente trabajo de revisión intenta explicitar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su profundo agradecimiento a los Dres. Silvia G. Assuero, Guillermo A. Dosio y Fernando H.

Andrade (Unidad Integrada Balcarce, FCA, UNMdP - EEA INTA Balcarce) por su lectura crítica del manuscrito y por las valiosas sugerencias vertidas.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMOWICZ, S.; LE BOT, J. 2008. Altering young tomato plant growth by nitrate and CO₂ preserves the proportionate relation linking long-term organic-nitrogen accumulation to intercepted radiation. *New Phytologist* 180 (3), 663-672.
- ADAMS, S.R.; VALDÉS, V.M.; LANGTON, F.A. 2008. Why does low intensity, long-day lighting promote growth in *Petunia*, *Impatiens*, and tomato? *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83 (5), 609-615.
- ALBACETE, A.; GHANEM, M.E.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; ACOSTA, M.; SÁNCHEZ-BRAVO, J.; MARTÍNEZ, V.; LUTTS, S.; DODD, I.C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany* 59 (15), 4119-4131.
- AL-MASKRI, A.; AL-KHARUSI, L.; AL-MIQBALI, H. 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. *International Journal of Agricultural Biology* 12 (3), 377-380.
- ALSCHER, G.; KRUG, H.; LIEBIG, H.P. 2001. Optimisation of CO₂ and temperature control in greenhouse crops by means of growth models at different abstraction levels II. Growth models and parameter generation for lettuce crops. *Gartenbauwissenschaft* 66 (4), 152-163.
- ANDA, A.; LOKE, Z. 2005. Radiation balance components of maize hybrids grown at various plant densities. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191 (3), 202-209.
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; ARGUISSAIN, G.G.; RUIZ, R.A. 1992. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. *Field Crops Research* 28 (4), 345-354.
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.; FRUGONE, M.I. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: Shade versus plant density effects. *Crop Science* 33 (3), 482-485.
- ANDRADE, F.H.; CIRILO, A.; UHART, S.A.; OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa.
- ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTAREIRO, M.; VALENTINUZ, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science* 39 (2), 453-459.
- ANTEN, N.P.R.; POORTER, H. 2009. Carbon balance of the oldest and most-shaded leaves in a vegetation: a litmus test for canopy models. *New Phytologist* 183 (1), 1-3.
- BALLIU, A.; BANI, A.; SULÇE, S. 2007. Nitrogen effects on the relative growth rate and its components of pepper (*Capsicum annuum*) and eggplant (*Solanum melongena*) seedlings. *Acta Horticulturae* 747, 257-262.
- BAUMANN, D.T.; BASTIAANS, L.; KROPFF, M.J. 2002. Inter-cropping system optimization for yield, quality, and weed suppression combining mechanistic and descriptive models. *Agronomy journal* 94 (4), 734-742.
- BENGOUGH, A.G.; MCKENZIE, B.M.; HALLETT, P.D.; VALENTINE, T.A. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62 (1), 59-68.
- BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M.; TEI, F. 2011. The nitrogen use efficiency: Meaning and sources of variation-case studies on three vegetable crops in central Italy. *Horttechnology* 21 (3), 266-273.

- BOUIJ, R.; KREUZER, A.D.H.; SMIT, A.L.; VAN DER WERF, A. 1996. Effect of nitrogen availability on dry matter production, nitrogen uptake and light interception of Brussels sprouts and leeks. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44 (1), 3-19.
- BOS H.J.; TIJANI-ENIOLA, H.; STRUIK, P.C. 2000. Morphological analysis on leaf growth of maize: responses to temperature and light intensity. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48 (2), 181-198.
- BOSCHI, C.; DI BENEDETTO, A.; PASIAN, C. 2004. Prediction of developmental events on *Spathiphyllum floribundum* cv. Petite based on air thermal units and photon flux density. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (5), 776-782.
- BOROUJERDIA, M.; ANSARI, N.A. 2007. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of Romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 1 (2), 47-53.
- BOZOKALFA, M.K. 2008. Irrigation temperature effects on seedling growth and transplant quality of tomato, pepper and eggplant. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1, 120-124.
- BRIAND, B.; DURAND, V.; MERCAT-ROMMENS, C. 2008. Identifying the relationships between agronomic and radioecological variables using a crop model applied to lettuce. *Journal of Agronomy* 7 (2), 148-155.
- BROADLEY, M.R.; ESCOBAR-GUTIERREZ, A.J.; BURNS, A.; BURNS, I.G. 2000. What are the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New Phytologist* 147 (3), 519-526.
- BROADLEY, M.R.; SEGNER, I.; BURNS, A.; ESCOBAR-GUTIERREZ, A.J.; BURNS, I.G.; WHITE, P.J. 2003. The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.). *Journal of Experimental Botany* 54 (390), 2081-2090.
- BROUWER, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? *Netherlands Journal of Agricultural Science* 31 (4), 335-348.
- BRUGGINK, G.T. 1992. A comparative analysis of the influence of light on growth of young tomato and carnation plants. *Scientia Horticulturae* 51 (1-2), 71-81.
- CHATTERJEE, R. 2010. Physiological attributes of cabbage (*Brassica oleracea*) as influenced by different sources of nutrients under eastern Himalayan region. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 1 (4): 318-321.
- CHO, Y.Y.; LEE, J.H.; SHIN, J.H.; SON, J.E. 2015. Development of an exponential growth model for pak-choi using the radiation integral and planting density. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 56(3), 310-315.
- COOKSON, S.J.; VAN LIJSEBETTENS, M.; GRANIER, C. 2005. Correlation between leaf growth variables suggest intrinsic and early controls of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment* 28 (11), 1355-1366.
- CORO, M.; ARAKI, A.; RATTIN, J.; MIRAVÉ, P.; DI BENEDETTO, A. 2014. Lettuce and celery responses to both BAP and PBZ related to the plug cell volume. *American Journal of Experimental Agriculture* 4 (10), 1103-1119.
- DAHLGREN, J.P.; ERIKSSON, O.; BOLMGREN, K.; STRINDELL, M.; EHRLÉN, J. 2006. Specific leaf area as a superior predictor of changes in field layer abundance during forest succession. *Journal of Vegetation Science* 17 (5), 577-582.
- DAMBREVILLE, A.; LAURI, P.É.; NORMAND, F.; GUÉDON, Y. 2015. Analysing growth and development of plants jointly using developmental growth stages. *Annals of Botany* 115(1), 93-105.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G.; BRESSANINI, L.; MARTÍNEZ, J.; RODRÍGUEZ, A. 2011. Eficiencia en el uso de la radiación en papa estimada a partir de la cobertura del follaje. *Agriscientia* 28 (1), 21-30.
- DEL AMOR, F.M. 2006. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of sweet pepper plants as affected by the cultivation method. *Annals of Applied Biology* 148 (2), 133-139.
- DE LOJO, J.; DI BENEDETTO, A. 2014. Biomass accumulation and leaf shape can be modulated by an exogenous spray of 6-benzylaminopurine in the ornamental foliage plant *Monstera deliciosa* (Liebm.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 89 (2), 136-140.
- DE PINHEIRO HENRIQUES, A.R.; MARCELIS, L.F.M. 2000. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): Interactive effects of Nitrogen and Irradiance. *Annals of Botany* 86 (6), 1073-1080.
- DE SWART, E.A.M.; GROENWOLD, R.; KANNE, H.J.; STAM, P.; MARCELIS, L.F.M.; VOORRIPS, R.E. 2004. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annum* L. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (5), 764-770.
- DE SWART, E.A.; MARCELIS, L.F.; VOORRIPS, R.E. 2006. Variation in relative growth rate and growth traits in wild and cultivated *Capsicum* accessions grown under different temperatures. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81 (6), 1029-1037.
- DI BENEDETTO, A. 2011. Root restriction and post-transplant effects for bedding pot plants. En: AQUINO, J.C. (Ed.), *Ornamental Plants: Types, Cultivation and Nutrition*. Nova Science Publishers, Inc. Nueva York, EUA. Capítulo 2: 47-79.
- DI BENEDETTO, A.; PAGANI, A. 2012. Difficulties and possibilities of alternative substrates for ornamental bedding plants: An ecophysiological approach. En: DRAGUHN, C.; CIARIMBOLI, N. (Eds.), *Peat: Formation, Uses and Biological Effects*. Nova Science Publishers, Inc. Nueva York, EUA. Capítulo: 1: 1-34.
- DI BENEDETTO, A.; PAGANI, A. 2013. Dry weight accumulation in the *Impatiens walleriana* pot plant in responses to different pre-transplant plug cell volume. *European Journal of Horticultural Science* 78 (2), 76-85.
- DI BENEDETTO, A.; RATTIN, J. 2008. Transplant in sweet maize: A Tool for improving productivity. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 2 (2), 96-108.
- DI BENEDETTO, A.; MOLINARI, J.; BOSCHI, C.; BENEDETTO, D.; CERROTTA, M.; CERROTTA, G. 2006. Estimating crop productivity for three ornamental foliage plants. *International Journal of Agricultural Research* 1 (6), 522-533.
- DI BENEDETTO, A.; GALMARINI, C.; TOGNETTI, J. 2013. Changes in leaf size and in the rate of leaf production contribute to cytokinin-mediated growth promotion in *Epipremnum aureum* L. cuttings. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 88 (2), 179-186.
- DI BENEDETTO, A.; GALMARINI, C.; TOGNETTI, J. 2015a. Exogenous cytokinin promotes *Epipremnum aureum* L. growth through enhanced dry weight assimilation rather than through changes in partitioning. *American Journal of Experimental Agriculture* 5 (5), 419-434.
- DI BENEDETTO, A.; GALMARINI, C.; TOGNETTI, J. 2015b. Effects of combined or single exogenous auxin and/or cytokinin applications on growth and leaf area development in *Epipremnum aureum*. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 90 (6), 643-654.
- DI MATEO, J.; RATTIN, J.; DI BENEDETTO, A. 2015. Increase of spinach growth through the use of larger plug cell volume and an exogenous BAP spray. *American Journal of Experimental Agriculture* 6 (6), 372-383.
- DING, K.; WANG, K.J.; JIANG, G.M.; LIU, M.Z.; LIU, S.L.; GAO, L.M. 2005. Post-anthesis changes in photosynthetic traits of maize

- hybrids released in different years. *Field Crops Research* 93 (1), 108-115.
- DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advance in Agronomy* 28, 361-411.
- DUNCAN, W.G. 1971. Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis. *Crop Science* 11 (4), 482-485.
- DUNCAN, W.G.; LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A.; HANAU, R. 1967. A model for simulating photosynthesis in plant communities. *Hilgardia* 38, 181-205.
- ENQUIST, B.J.; NIKLAS, K.J. 2002. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. *Science* 295 (5559), 1517-1520.
- ENQUIST, B.J.; KERKHOFF, A.J.; STARK, S.C.; SWENSON, N.G.; MCCARTHY, M.C.; PRICE, C.A. 2007. A general integrative model for scaling plant growth, carbon flux, and functional trait spectra. *Nature* 449 (7159), 218-222.
- EQUIZA, M.A.; MIRAVE, J.P.; TOGNETTI, J.A. 2001. Morphological, anatomical and physiological responses related to differential shoot vs. root growth inhibition at low temperature in spring and winter wheat. *Annals of Botany* 87 (1), 67-76.
- EQUIZA, M.A.; TOGNETTI, J.A. 2002. Morphological plasticity of spring and winter wheats under changing temperatures. *Functional Plant Biology* 29 (12), 1427-1436.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment* 24 (8), 755-767.
- FALLOVO, C.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; BATTISTELLI, A.; COLLA, G. 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7 (2), 456-462.
- FELLER, C.; FAVRE, P.; JANKA, A.; ZEEMAN, S.C.; GABRIEL, J.P.; REINHARDT, D. 2015. Mathematical modeling of the dynamics of shoot-root interactions and resource partitioning in plant growth. *Plos One* 10 (7), e0127905.
- FENG, Y.; WANG, J.; SANG, W. 2007. Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels. *Acta Oecologica* 31 (1), 40-47.
- FILHO, B.G.S.; LOBATO, A.K.S.; SILVA, R.B.; SCHIMIDT, D.; COSTA, R.C.L.; ALVES, G.A.R. OLIVEIRA NETO, C.F. 2009. Growth of lettuce (*Lactuca Sativa* L.) in protected cultivation and open field. *Journal of Applied Sciences Research* 5 (5), 529-533.
- FIORANI, F.; BEEMSTER, G.T.S. 2006. Quantitative analyses of cell division in plants. *Plant Molecular Biology* 60 (6), 963-979.
- FLEMING, A.J. 2005. Formation of primordia and phyllotaxy. *Current Opinion in Plant Biology* 8 (1), 53-58.
- FLEMING, A.J. 2006. Leaf initiation: the integration of growth and cell division. *Plant Molecular Biology* 60 (6), 905-914.
- FLETCHER, A.L.; MOOT, D.J.; STONE, P.J. 2008. Radiation use efficiency and leaf photosynthesis of sweet corn in response to phosphorus in a cool temperate environment. *European Journal of Agronomy* 29 (2), 88-93.
- FORDE, B.G. 2002. The role of long-distance signalling in plant response to nitrate and other nutrients. *Journal of Experimental Botany* 53 (366), 39-43.
- FOSTER, B.M.; PEARCE, R.B.; MCWILLIAMS, M.D. 1987. Greenhouse experiment for teaching crop growth analysis. *Journal of Agronomic Education* 16, 33-36.
- FOURCAUD, T.; ZHANG, X.; STOKES, A.; LAMBERS, H.; KÖRNER, C. 2008. Plant growth modelling and applications: The increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany* 101 (8), 1053-1063.
- FRANCIS, D.; HALFORD, N.G. 2006. Nutrient sensing in plant meristems. *Plant Molecular Biology* 60 (6), 981-993.
- GANDOLFO, E.; DE LOJO, J.; GÓMEZ, D.; PAGANI, A.; MOLINARI, J.; DI BENEDETTO, A. 2014. Anatomical changes involved in the response of *Impatiens wallerana* to different pre-transplant plug cell volumes and BAP sprays. *European Journal of Horticultural Science* 79 (4), 226-232.
- GARY, C.; JONES, J.W.; TCHAMITCHIAN, M. 1998. Crop modelling in horticulture: state of the art. *Scientia Horticulturae* 74 (1), 3-20.
- GERARDEAUX, E.; SAUR, E.; CONSTANTIN, J.; PORTÉ, A.; JORDAN-MEILLE, L. 2009. Effect of carbon assimilation on dry weight production and partitioning during vegetative growth. *Plant Soil* 324 (1-2), 329-343.
- GHANEM, M.E.; ALBACETE, A.; SMIGOCKI, A.C.; FREBORT, I.; POSPISILOVA, H.; MARTINEZ-ANDUJAR, C.; ACOSTA, M.; SANCHEZ-BRAVO, J.; LUTTS, S.; DODD, I.C.; PEREZ-ALFOCEA, F. 2011. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany* 62 (1), 125-140.
- GIMENEZ, C.; OTTO, R.F.; CASTILLA, N. 2002. Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover. *Scientia Horticulturae* 94 (1), 1-11.
- GODOY, C.; MONTERUBBIANESI, G.; TOGNETTI, J. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae* 115 (4), 368-376.
- GOMPERTZ, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions Royal Society* 115, 513-585.
- GONZÁLEZ, M.V.; SADRAS, V.O.; EQUIZA, M.A.; TOGNETTI, J.A. 2009. Suboptimal temperature favors reserve formation in biennial carrot (*Daucus carota*) plants. *Physiologia Plantarum* 137 (1), 10-21.
- GRECHI, I.; VIVIN, PH.; HILBERT, G.; MILIN, S.; ROBERT, T.; GAUDILLERE, J.P. 2007. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany* 59 (2), 139-149.
- GROTKOPP, E.; REJMÁNEK, M. 2007. High seedling relative growth rate and specific leaf area are traits of invasive species: phylogenetically independent contrasts of woody angiosperms. *American Journal of Botany* 94 (4), 526-532.
- GROTKOPP, E.; ERSKINE-OGDEN, J.; REJMANEK, M. 2010. Assessing potential invasiveness of woody horticultural plant species using seedling growth rate traits. *Journal of Applied Ecology* 47 (6), 1320-1328.
- GUPTA, A.K.; KAUR, N. 2005. Sugar signalling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stresses in plants. *Journal of Bioscience* 30 (5), 761-776.
- GWEYI-ONYANGO, J.P.; NEUMANN, G.; ROEMHELD, V. 2009. Effects of different forms of nitrogen on relative growth rate and growth components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *African Journal of Horticultural Science* 2, 43-55.
- HARDWICK, R.C. 1984. Some recent developments in growth Analysis — A review. *Annals of Botany* 54 (6), 807-812.
- HE, J.; AUSTIN, P.T.; LEE, S.K. 2010. Effects of elevated root zone CO₂ and air temperature on photosynthetic gas exchange, nitrate uptake, and total reduced nitrogen content in aeroponically grown lettuce plants. *Journal of Experimental Botany* 61 (14), 3959-3969.

- HERMANS, C.; HAMMOND, J.P.; WHITE, P.J.; VERBRUGGEN, N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science* 11 (12), 610-617.
- HOFFMANN, W.A.; POORTER, H. 2002. Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany* 90 (1), 37-42.
- HOFFMANN, W.A.; FRANCO, A.C.; MOREIRA, M.Z.; HARIDASAN, M. 2005. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology* 19 (6), 932-940.
- HUNT, R.; CAUSTON, D.R.; SHIPLEY, B.; ASKEW, A.P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90 (4), 485-488.
- HUNT, R. 2003. Growth analysis, individual plants. En: MURPHY, B.T.; MURRAY, D. (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 588-596.
- JAMES, J.J.; DRENOVSKY, R.E. 2007. A basis for relative growth rate differences between native and invasive forb seedlings. *Rangeland Ecology Management* 60 (4), 395-400.
- JENNI, S.; BOURGEOIS, G.; LAURENCE, H.; ROY, G.; TREMBLAY, N. 2000. Improving the prediction of processing bean maturity based on the growing-degree day approach. *HortScience* 35 (7), 1234-1237.
- JOHN, G.P.; SCOFFONI, C.; SACK, L. 2013. Allometry of cells and tissues within leaves. *American Journal of Botany* 100 (10), 1936-1948.
- JOHNSON, H.E.; BROADHURST, D.; GOODACRE, R.; SMITH A.R. 2003. Metabolic fingerprinting of salt-stressed tomatoes. *Phytochemistry* 62 (6), 919-928.
- KAGE, H.; KOCHLER, M.; STÜTZEL H. 2000. Root growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) under unstressed conditions. *Measurement and Modelling. Plant and Soil* 223 (1-2), 131-145.
- KAGE, H.; ALT, C.; STÜTZEL, H. 2003. Aspects of nitrogen use efficiency of cauliflower II. Productivity and nitrogen partitioning as influenced by N supply. *Journal of Agricultural Science* 141, 17-29.
- KANG, J.G.; VAN IERSEL, M.W. 2004. Nutrient solution concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 39 (1), 49-54.
- KARA, O.H.; YILDIRIM, M. 2015. Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). *School Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 2 (2), 87-93.
- KARAM, F.; MASAAD, R.; BACHOUR, R.; RHAYEM, C.; ROUPHAEL, Y. 2009. Water and radiation use efficiencies in drip-irrigated pepper (*Capsicum annuum* L.): Response to full and deficit irrigation regimes. *European Journal of Horticultural Science* 74 (2), 79-85.
- KHAVARI-NEJAD, R.A.; NAJAFI, F.; TOFIGHI, C. 2009. Diverse responses of tomato to N and P deficiency. *International Journal of Agricultural Biology* 11, 209-213.
- KINIRY, J.R.; JONES, C.A.; O'TOOLE, J.C.; BLANCHET, R.; CABELGUENE, M.; SPANEL, D.A. 1989. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain-crop species. *Field Crop Research* 20 (1), 51-64.
- KÖRNER, C. 2015. Paradigm shift in plant growth control. *Current Opinion in Plant Biology* 25, 107-114.
- LACLAU, J.-P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONCALVES, J.L.M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R.M.; NOUVELLON, Y. 2008. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. *Tree Physiology* 29 (1), 111-124.
- LECOEUR, J.; NEY, B. 2003. Change with time in potential radiation-use efficiency in field pea. *European Journal of Agronomy* 19 (1), 91-105.
- LEE, B.; YU, S.; JACKSON, D. 2009. Control of plant architecture: The role of phyllotaxy and plastochron. *Journal of Plant Biology* 52 (4), 277-282.
- LEFSRUD, M.; KOPSELL, D.; SAMS, C.; WILLS, J.; BOTH, A.J. 2008. Dry matter content and stability of carotenoids in kale and spinach during drying. *Hortscience* 43 (6), 731-736.
- LEISHMAN, M.R.; HASLEHURST, T.; ARES, A.; BARUCH, Z. 2007. Leaf trait relationships of native and invasive plants: community-and global-scale comparisons. *New Phytologist* 176 (3), 635-643.
- LI, B.; WATKINSON, A.R.; HARA, T. 1966. Dynamics of competition in populations of carrot (*Daucus carota*). *Annals of Botany* 78 (2), 203-214.
- LI, Y.L.; STANGHELLINI, C. 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia Horticulturae* 89 (1), 9-21.
- LINKER, R.; JOHNSON-RUTZKE, C. 2005. Modeling the effect of abrupt changes in nitrogen availability on lettuce growth, root-shoot partitioning and nitrate concentration. *Agricultural Systems* 86 (2), 166-189.
- LIU, W.; TOLLENNAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Science* 44 (3), 847-854.
- LIU, F.; YANG, W.; WANG, Z.; XU, Z.; LIU, H.; ZHANG, M.; LIU, Y.; AN, S.; SUN, S. 2010. Plant size effects on the relationships among specific leaf area, leaf nutrient content, and photosynthetic capacity in tropical woody species. *Acta Oecologica* 36 (2), 149-159.
- LIZASO, J.I.; BATCHELOR, W.D.; WESTGATE, M.E. 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research* 80 (1), 1-17.
- LONG, S.P.; BERNACCHI, C.J. 2003. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of Experimental Botany* 54 (392), 2393-2401.
- LOVEYS, B.R.; SCHEURWATER, I.; PONS, T.L.; FITTER, A.H.; ATKIN, O.K. 2002. Growth temperature influences the underlying components of relative growth rate: an investigation using inherently fast- and slow-growing plant species. *Plant, Cell and Environment* 25 (8), 975-987.
- MACHADO, R.M.A.; BUSSIERES, P.; KOUTOS, T.V.; PRIETO, M.H.; HO, L.C. 2004. Prediction of optimal harvest date for processing tomato based on the accumulation of daily heat units over the fruit ripening period. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (3), 452-457.
- MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crop Research* 71 (3), 183-193.
- MAKARIEVA, A.M.; GORSHKOV, V.G.; LI, B.L.; CHOWN, S.L.; REICH, P.B.; GAVRILOV, V.M. 2008. Mean mass-specific metabolic rates are strikingly similar across life's major domains: Evidence for life's metabolic optimum. *Proceedings of the National Academy USA* 105 (44), 16994-16999.
- MALASH, N.; FLOWERS, T.J.; RAGAB, R. 2005. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agricultural Water Management* 78 (1), 25-38.
- MARCELIS, L.F.M.; HEUVELINK, E.; GOUDRIAAN, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74 (1), 83-111.
- MARRON, N.; VILLAR, M.; DREYER, E.; DELAY, D.; BOUDOU-RESQUE, E.; PETIT, J.M.; DELMOTTE, F.M.; GUEHL, J.M.; BRIG-

- NOLAS, F. 2005. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 *Populus deltoides* x *Populus nigra* clones. *Tree Physiology* 25 (4), 425-435.
- MARTINI, E.A.; JEFFREY, S.; BUYER, S.; BRYANT, D.C.; HARTZ, T.K.; DENISON, R.F. 2004. Yield increases during the organic transition: improving soil quality or increasing experience? *Field Crops Research* 86 (2), 255-266.
- MBAH, E.U.; EKE-OKORO, O. 2015. Relationship between some growth parameters, dry matter content and yield of some sweet potato genotypes grown under rainfed weathered Ultisols in the humid tropics. *Journal of Agronomy* 14(3), 121-130.
- MCCARTHY, M.C.; ENQUIST, B.J. 2007. Consistency between an allometric approach and optimal partitioning theory in global patterns of plant biomass allocation. *Functional Ecology* 21 (4), 713-720.
- MCCARTHY, H.R.; OREN, R.; FINZI, A.C.; JOHNSON, K.H. 2006. Canopy leaf area constrains [CO₂]-induced enhancement of productivity and partitioning among aboveground carbon pools. *Proceedings of the National Academy USA* 103 (51), 19356-19361.
- MEDEK, D.E.; BALL, M.C.; SCHORTEMAYER, M. 2007. Relative contributions of leaf area ratio and net assimilation rate to change in growth rate depend on growth temperature: comparative analysis of subantarctic and alpine grasses. *New Phytologist* 175 (2), 290-300.
- MEDIAVILLA, S.; ESCUDERO, A.; HEILMEIER, H. 2001. Internal leaf anatomy and photosynthetic resource-use efficiency: interspecific and intraspecific comparisons. *Tree Physiology* 21 (4), 251-259.
- MILLA, R.; REICH, P.B.; NIINEMETS, Ü.; CASTRO-DÍEZ, P. 2008. Environmental and developmental controls on specific leaf area are little modified by leaf allometry. *Functional Ecology* 22 (4), 565-576.
- MINCHIN, P.E.H.; THORPE, M.R. 1996. What determines carbon partitioning between competing sinks? *Journal of Experimental Botany* 47, 1293-1296.
- MINCHIN, P.E.H.; THORPE, M.R.; FARRAR, J.F. 1994. Short-term control of root: shoot partitioning. *Journal of Experimental Botany* 45 (5), 615-622.
- MOKHTARPOUR, H.; THE, C.B.S.; SALEH, G.; SELAMAT, A.B.; ASADI, M.E.; KAMKAR, B. 2010. Non-destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using leaf length and leaf width. *Communications in Biometry and Crop Science* 5 (1), 19-26.
- MORIONDO, M.; BINDI, M.; SINCLAIR, T. 2005. Analysis of Solanaceae species harvest-organ growth by linear increase in harvest index and harvest-organ growth rate. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130 (6), 799-805.
- NIINEMETS, Ü.; TENHUNEN, J.D. 1997. A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum*. *Plant, Cell and Environment* 20 (7), 845-866.
- NIKLAS, K.J. 2004. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biological Review* 79 (4), 871-889.
- NIKLAS, K.J.; DE MASON, D.A.; COBB, E.D. 2008. Genetic effects on the biomass partitioning and growth of *Pisum* and *Lycopersicon*. *American Journal of Botany* 95 (4), 424-433.
- NIKLAS, K.J.; COBB, E.D.; SPATZ, H.C. 2009. Predicting the allometry of leaf surface area and dry mass. *American Journal of Botany* 96 (2), 531-536.
- NOUVELLON, Y. LACLAU, J.P.; EPRON, D.; KINANA, A.; MABIALA, A.; ROUPSARD, O.; BONNEFOND, J.M.; MAIRE, G.L.; MARSDEN, C.; BONTEMPS, J.D.; SAINT-ANDRE, L. 2010. Within-stand and seasonal variations of specific leaf area in a clonal Eucalyptus plantation in the Republic of Congo. *Forest Ecology and Management* 259 (9), 1796-1807.
- ORDÓÑEZ, J.C.; VAN BODEGOM, P.M.; WITTE, J.P.M.; WRIGHT, I.J.; REICH, P.B.; AERTS, R. 2009. A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Global Ecology and Biogeography* 18 (2), 137-149.
- ORDÓÑEZ, R. A.; SAVÍN, R.; SLAFER, G.A. 2015. Genetic variation in the critical specific leaf nitrogen-maximizing yield among modern maize hybrids. *Field Crops Research* 172, 99-105.
- OSONE, Y.; ISHIDA, A.; TATENO, M. 2008. Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots. *New Phytologist* 179 (2), 417-427.
- PAGANI, A.; MOLINARI, J.; DI BENEDETTO, A. 2013. BAP spray and plastic container responses on *Asparagus officinalis* L. crown growth. *Journal of Life Science* 7 (8), 827-835.
- PAGANI, A.; MOLINARI, J.; LAVADO, R.S.; DI BENEDETTO, A. 2015. Behavior of *Impatiens wallerana* Hook. f in alternative pot substrates: mechanisms involved and research perspectives. *Journal of Plant Nutrition* 38 (14), 2135-2203.
- PAINE, C.E.T.; MARTHEWS, T.R.; VOGT, D.R.; PURVES, D.; REES, M.; HECTOR, A.; TURNBULL, L.A. 2012. How to fit non-linear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution* 3 (2), 245-256.
- PICKUP, M.; WESTOBY, M.; BASDEN, A. 2005. Dry mass costs of deploying leaf area in relation to leaf size. *Functional Ecology* 19 (1), 88-97.
- POMMERENING, A.; MUSZTA, A. 2015. Methods of modelling relative growth rate. *Forest Ecosystems* 2 (1): 5.
- POORTER, H. 1989. Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiologia Plantarum* 75 (3), 237-244.
- POORTER, H. 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration. *Vegetatio* 104 (1), 77-97.
- POORTER, H. 2002. Plant growth and carbon economy. En: *Encyclopedia of life science*, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- POORTER, L. 2009. Leaf traits show different relationships with shade tolerance in moist versus dry tropical forests. *New Phytologist* 181 (4), 890-900.
- POORTER, L.; BONGERS, F. 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* 87 (7), 1733-1743.
- POORTER, H.; DE JONG, R. 1999. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist* 143 (1), 163-176.
- POORTER, H.; GARNIER, E. 1996. Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. *Journal of Experimental Botany* 47 (9), 1343-1351.
- POORTER, H.; LAMBERS, H. 1991. Is interspecific variation in relative growth rate positively correlated with biomass allocation to the leaves? *The American Naturalist* 138 (5), 1264-1268.
- POORTER, H.; LEWIS, C. 1986. Testing differences in relative growth rate: A method-avoiding curve fitting and pairing. *Physiologia Plantarum* 67 (2), 223-226.
- POORTER, H.; POTHMANN, P. 1992. Growth and carbon economy of a fast-growing and a slow-growing grass species as dependent on ontogeny. *New Phytologist* 120 (1), 159-166.

- POORTER, H.; REMKES, C. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia*, 83 (4): 553-559.
- POORTER, H.; SACK, L. 2012. Pitfalls and possibilities in the analysis of biomass allocation patterns in plants. *Frontiers in Plant Science*, 3 (259): 1-10.
- POORTER, H.; VILLAR, R. 1997. The fate of acquired carbon in plants: chemical composition and construction costs. En: BAZZAZ, F.A.; GRACE, J. (Eds.). *Resource allocation in plants*. Academic Press, San Diego, EUA, 39-72.
- POORTER, H.; VAN DER WERF, A. 1998. Is inherent variation in RGR determined by LAR at low irradiance and by NAR at high irradiance? A review of herbaceous species. En: *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences*. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers, 309-336.
- POORTER, H.; REMKES, C.; LAMBERS, H. 1990. Carbon and nitrogen economy of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant Physiology* 94 (2), 621-627.
- POORTER, H.; VAN BERKEL, Y.; BAXTER, R.; DEN HERTOEG, J.; DIJSTRA, P.; GIFFORD, R.M.; GRIFFIN, K.L.; ROUMET, C.; ROY, J.; WONG, S.C. 1997. The effect of elevated CO₂ on the chemical composition and construction costs of leaves of 27 C3 species. *Plant, Cell and Environment* 20 (4), 472-482.
- POORTER, H.; PEPIN, S.; RIJKERS, T.; DE JONG, Y.; EVANS, J.R.; KÖRNER, C. 2006. Construction costs, chemical composition and payback time of high- and low-irradiance leaves. *Journal of Experimental Botany* 57 (2), 355-371.
- POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; POORTER, L.; WRIGHT, I.J.; VILLAR, R. 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist* 182 (3), 565-588.
- POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; WALTER, A.; FIORANI, F.; SCHURR, U. 2010. A method to construct dose-response curves for a wide range of environmental factors and plant traits by means of a meta-analysis of phenotypic data. *Journal of Experimental Botany* 61 (8), 2043-2055.
- POORTER, H.; BÜHLER, J.; VAN DUSSCHOTEN, D.; CLIMENT, J.; POSTMA, J.A. 2012a. Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology* 39 (11), 839-850.
- POORTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P.B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. 2012b. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193 (1), 30-50.
- POORTER, H.; LAMBERS, H.; EVANS, J.R. 2014. Trait correlation networks: a whole-plant perspective on the recently criticized leaf economic spectrum. *New Phytologist* 201 (2), 378-382.
- POSADA, S.L.; ROSERO NOGUERA, R. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20, 141-148.
- POTTER, J.R.; JONES, J.W. 1977. Leaf area partitioning as an important factor in growth. *Plant Physiology* 59 (1), 10-14.
- PRICE, C.A.; WEITZ, J.S. 2012. Zero-sum allocational strategies determine the allometry of specific leaf area. *American Journal of Botany* 97 (11), 1808-1815.
- RATTIN, J.; VALINOTE, J.P.; GONZALO, R.; DI BENEDETTO, A. 2015. Transplant and a change in plant density improve sweet maize (*Zea mays* L.) yield. *American Journal of Experimental Agriculture* 5 (4), 336-351.
- RENTON, M.; POORTER, H. 2011. Using log-log scaling slope analysis for determining the contributions to variability in biological variables such as leaf mass per area: why it works, when it works and how it can be extended. *New Phytologist* 190 (1), 5-8.
- RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10 (2), 290-300.
- RIZZALLI, R.H.; VILLALOBOS, F.J.; ORGAZ, F. 2002. Radiation interception, radiation-use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). *European Journal of Agronomy* 18 (1), 33-43.
- ROBINSON, D.; DAVIDSON, H.; TRINDER, C.; BROOKER, R. 2010. Root-shoot growth responses during interspecific competition quantified using allometric modelling. *Annals of Botany* 106, 921-926.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy* 23 (2), 183-194.
- ROWELL, D.L. 2014. *Soil Science: Methods and Applications*. Routledge, Nueva York, EUA.
- ROCHE, P.; DÍAZ-BURLINSON, N.; GACHET, S. 2004. Congruency analysis of species ranking based on leaf traits: which traits are the more reliable? *Plant Ecology* 174 (1), 37-48.
- SANTIAGO, L.S.; WRIGHT, S.J. 2007. Leaf functional traits of tropical forest plants in relation to growth form. *Functional Ecology* 21 (1), 19-27.
- SAVVIDES, A.; NTAGKAS, N.; IEPEREN, W.; VAN DIELEMAN, J.A.; MARCELIS, L.F.M. 2014. Impact of light on leaf initiation: a matter of photosynthate availability in the apical bud? *Functional Plant Biology* 41 (5), 547-556.
- SCHACHTMAN, D.P.; SHIN, R. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review of Plant Biology* 58, 47-69.
- SCHAPPAUGH, W. T.; WILCOX, J. R. 1980. Relationships between gravest indices and other plant characteristics in soybean. *Crop Science* 20, 529-533.
- SCHIEVING, F.; POORTER, H. 1999. Carbon gain in a multispecies canopy: the role of specific leaf area and photosynthetic nitrogen-use efficiency in the tragedy of the commons. *New Phytologist* 143 (1), 201-211.
- SCHOLBERG, J.; MCNEAL, B.L.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; STANLEY, C.D.; OBREZA, T.A. 2000. Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agronomy Journal* 92 (1), 152-159.
- SCHWARZ, D.; KLÄRING, H.P.; VAN IERSEL, M.W.; INGRAM, K.T. 2002. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127 (6), 984-990.
- SHIPLEY, B. 2002. Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology* 16 (5), 682-689.
- SHIPLEY, B. 2006. Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology* 20 (4), 565-574.
- SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. 2002. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. *Functional Ecology* 16 (3), 326-331.
- SHIPLEY, B.; VILE, D.; GARNIER, E.; WRIGHT, I.J.; POORTER, H. 2005. Functional linkages between leaf traits and net photosynthetic rate: reconciling empirical and mechanistic models. *Functional Ecology* 19 (4), 602-615.
- SINCLAIR, R.T.; MUCHOW R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65 (21), 215-265.
- SIRTAUTAS, R.; VIRSILE, A.; SAMUOLIENE, G.; BRAZAITYTE, A.; MILIAUSKIENE, J.; SAKALAUSKIENE, S.; DUCHOVSKIS, P. 2014. Growing of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) under high-pressure sodium lamps with supplemental blue, cyan and green LEDs. *Zemdirbyste-Agriculture* 101 (1), 75-78.

- SOUNDY, P.; CANTLIFFE, D.J. 2001. Improving lettuce transplant quality in response to nitrogen nutrition in a floatation production system. *Proceedings Florida State Horticultural Society* 114, 294-303.
- TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D.P. 1996. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany* 78 (5), 633-643.
- TEI, F.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *European Journal of Agronomy* 18 (1), 45-55.
- TERASHIMA, I.; ARAYA, T.; MIYAZAWA, S.I.; SONE, K.; YANO, S.S. 2005. Construction and maintenance of the optimal photosynthetic systems of the leaf, herbaceous plant and tree: an eco-developmental treatise. *Annals of Botany* 95 (3), 507-519.
- TESFAYE, K.; WALKER, S.; TSUBO, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy* 25 (1), 60-70.
- THIBAUD, J.; MC. LOUGHLIN, T.; PAGANI, A.; LAVADO, R.; DI BENEDETTO, A. 2012. Alternative substrates and fertilization routine relationships for bedding pot plants: *Impatiens wallerana*. *European Journal of Horticultural Science* 77 (4), 182-191.
- THORNLEY, J.H.; JOHNSON, I.R. 1990. Plant and crop modelling. A mathematical approach to plant and crop physiology. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido.
- TSUBO, M.; WALKER, S.; MUKHALA, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71 (1), 17-29.
- VAN DER PLOEG, A.; HEUVELINK, E. 2005. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80 (6), 652-659.
- VAN IERSEL, M.W. 2003. Carbon use efficiency depends on growth respiration, maintenance respiration, and relative growth rate. A case study with lettuce. *Plant, Cell and Environment* 26 (9), 1441-1449.
- VAN KLEUNEN, M.; WEBER, E.; FISCHER, M. 2010. A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters* 13 (2), 235-245.
- VERHULST, P.F. 1838. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement [A note on population growth]. *Correspondence Mathematiques et Physiques* 10, 113-121.
- VILLAR, R.; MARAÑÓN, T.; QUERO, J.L.; PANADERO, P.; ARENAS, F.; LAMBERS, H. 2005. Variation in relative growth rate of 20 *Aegilops* species (Poaceae) in the field: The importance of net assimilation rate or specific leaf area depends on the time scale. *Plant and Soil* 272 (1-2), 11-27.
- WALKER, A.K.; FIORITO, R.J. 1984. Effect of cultivation and plant pattern on yield an apparent harvest index soybean. *Crop Science* 24, 154-155.
- WANG, J.Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41 (4), 785-790.
- WARTON, D.I.; DUURSMA, R.A.; FALSTER, D.S.; TASKINEN, S. 2012. SMATR 3— an R package for estimation and inference about allometric lines. *Methods in Ecology and Evolution* 3 (2), 257-259.
- WEBER, R. 1891. *Lehrbuch der Forsteinrichtung* [Textbook of forest planning]. Springer-Verlag, Berlin.
- WESTOBY, M.; REICH, P.B.; WRIGHT, I.J. 2013. Understanding ecological variation across species: area-based vs mass-based expression of leaf traits. *New Phytologist* 199 (2), 322-323.
- WHITE, J.D.; SCOTT, N.A. 2006. Specific leaf area and nitrogen distribution in New Zealand forests: Species independently respond to intercepted light. *Forest Ecology and Management* 226 (1), 319-329.
- WRIGHT, I.J.; REICH, P.B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D.D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F.; CAVENDER-BARES, J.; CHAPIN, T.; CORNELISSEN, J.H.C.; DIEMER, M.; FLEXAS, J.; GARNIER, E.; GROOM, P.K.; GULIAS, J.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B.B.; LEE, T.; LEE, W.; LUSK, C.; MIDGLEY, J.J.; NAVAS, M.L.; NIINEMETS, Ü.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTER, H.; POOT, P.; PRIOR, L.; PYANKOV, V.I.; ROUMET, C.; THOMAS, S.C.; TJOELKER, M.G.; VENEKLAAS, E.J.; VILLAR, R. 2004. The world-wide leaf economics spectrum. *Nature* 428, 821-827.
- WUBS, A.M.; MA, Y.T.; HEUVELINK, E.; HEMERIK, L.; MARCE-LIS, L.F.M. 2012. Model selection for nondestructive quantification of fruit growth in pepper. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 137 (2), 71-79.
- XU, G.; LEVKOVITCH, I.; SORIANO, S.; WALLACH, R.; SILBER, A. 2004. Integrated effect of irrigation frequency and phosphorus level on lettuce: P uptake, root growth and yield. *Plant and Soil* 263 (1), 297-309.
- YANG, Z.; MIDMORE, D.J. 2005. Modelling plant resource allocation and growth partitioning in response to environmental heterogeneity. *Ecological Modelling* 181 (1), 59-77.
- YIN X.; GOUDRIAAN, J.; LANTINGA, E.A.; VOS, J.; SPIERTZ, H.J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany* 91 (3), 361-371.
- ZEIDE, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science* 39 (3), 594-616.
- ZHANG, D.; ZHANG, Z.; LI, J.; CHANG, Y.; DU, Q.; PAN, T. 2015. Regulation of vapor pressure deficit by greenhouse micro-fog systems improved growth and productivity of tomato via enhancing photosynthesis during summer season. *Plos One*, 10(7), e0133919.
- ZOTARELLI, L.; DUKES, M.D.; SCHOLBERG, J.M.; HANSELMAN, T.; LE FEMMINELLA, K.; MUÑOZ-CARPENA, R. 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on a sandy soil. *Scientia Horticulturae* 116 (1), 8-16.

Aspectos bio y agroclimáticos del cultivo de vid para vinificar en el Valle Inferior del Río Negro

DEL BARRIO, R.A.¹; GALLO, S.L.²; MARTÍN, D.M.^{1,2}

RESUMEN

El cultivo de vid (*Vitis vinífera* L.) con destino a uva para vinificar tuvo una expansión importante en los últimos años en la región norpatagónica Argentina. En Río Negro, el valle de Viedma (40°48' S y 63°05' O) se ha incorporado como una nueva zona de producción vitivinícola tanto para mercado interno como externo.

El objetivo de este trabajo fue determinar la aptitud agroclimática regional para la satisfacción de las exigencias bioclimáticas del cultivo de vid para vinificar.

Se utilizaron estadísticas climáticas (Serie 1965-2011) de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior (INTA-RN) e información fenológica –método de Baggiolini– correspondiente al período 2004-2011 de seis variedades de vid (Merlot, Malbec, Pinot Noir, Sauvignon Blanc, Cabernet Franc y Cabernet Sauvignon).

Se evaluó la satisfacción de necesidades de frío invernal, el riesgo de daño por heladas a través del Índice de Peligrosidad de Heladas de Pascale y Damario –IPH–, las necesidades térmicas por la integral de Winkler, las necesidades heliotérmicas por el producto de Branas y el índice de Huglin, el índice de frescura de noches de Tonietto y el riesgo de enfermedades criptogámicas a partir del índice hidrotérmico de Branas *et al.* (1946).

Los resultados indican que el régimen agroclimático regional cubre las necesidades de enfriamiento invernal, las necesidades térmicas (Zona III de Winkler) y heliotérmicas (IH>6-Branas-, IH4 Huglin-Templado cálido-, Noches frías/muy frías de Tonietto) y presenta riesgo moderado de enfermedades criptogámicas.

Los IPH calculados indican un alto riesgo de incidencia de heladas primaverales; por ello, para lograr una producción vitivinícola económicamente viable es necesario prever la instalación de sistemas de lucha activa contra la ocurrencia de esta adversidad.

Palabras clave: agroclimatología, Patagonia, heladas.

ABSTRACT

*Cultivation of grapevines (*Vitis vinifera* L.) for wine production showed an important growth in Argentinean North Patagonia, in last years. Within this region, Viedma Valley in Río Negro Province (lat. 40° 48' S; long. 63° 05' W) has become a new area for wine production devoted to both domestic and external market.*

The aim of this study was to determine agro climatic competence of this zone, in order to fulfill wine grapes bioclimatic demands.

¹Universidad Nacional de Río Negro. Catedra de Climatología Agrícola. Colón 450 CP 8500 Viedma, Río Negro, Argentina.
Correo electrónico: rdelbarrio@unrn.edu.ar

²EEA Valle Inferior del Río Negro. Convenio Provincia de Río Negro-INTA. RN 3, Km 971 Camino 4 IDEVI CP 8500, Río Negro, Argentina.

Weather records of Low Valley Agrarian Experimental Station INTA-RN (1965-2011) and phenological data by Baggiolini method (2004-2011) of six grapevine cultivars (Merlot, Malbec, Pinot Noir, Sauvignon Blanc, Cabernet Franc and Cabernet Sauvignon) were used.

There were analyzed winter chill requirements, spring frost damage by Pascale and Damario's frost risk index -FRI-, Winkler thermal integral, Branas heliothermal product, Huglin Index and Tonietto night coolness index, as well as Branas et al. hydrothermal index for cryptogamic diseases risk.

Results showed that the regional climate meets grapevine requirements in terms of winter chill, and thermal and helio thermal conditions (Zone III, IH > 6, and IH4: warm temperate, with cold to very cold nights, in Winkler, Branas, Huglin and Tonietto classifications respectively). The local climate also showed a moderate risk to cryptogamic diseases.

Frost risk index showed a high risk of spring frost. To achieve an economically feasible wine grape production, it would be necessary to provide the installation of active frost control systems in the zone."

Keywords: agroclimatology, Patagonia, frost.

INTRODUCCIÓN

La región norpatagónica de Argentina presenta características climáticas que limitan o restringen el desarrollo de ciertas especies de frutales criófilos de hojas caducas debido, fundamentalmente, a la ocurrencia, intensidad y variabilidad de dos elementos: lluvias y bajas temperaturas (Tassara, 2007; Del Barrio y Martín, 2010).

En esta región, las posibilidades de desarrollo de una fruticultura intensiva de clima templado se sustentan necesariamente en la suplementación hídrica vía riego y en la consecución de ciertas condiciones calórico-energéticas, helio e hidrotérmicas necesarias para la vid. Estas condiciones pueden evaluarse mediante sumas térmicas, productos helio e hidrotérmicos, cálculos de requerimientos de frío y de intensidad de las heladas invernales y observaciones sobre la intensidad y fecha de ocurrencia de descensos térmicos primaverales u otoñales. Todo lo expuesto, analizado en relación con las exigencias bioclimáticas de la especie o variedad considerada (Pascale y Damario, 2004; Gariglio *et al.*, 2007; Del Barrio y Martín, 2011).

El cultivo de vid (*Vitis vinífera* L.) con destino a uva para vinificar tuvo una expansión importante en los últimos años en la región norpatagónica argentina. En Río Negro, el Valle Inferior del río homónimo (40°48' L.S. y 63°05' L.O.) se ha incorporado como una nueva zona de producción e industrialización vitivinícola, transformando a la actividad en una cadena de valor con importante crecimiento en el último decenio.

Por su latitud, circulación regional de vientos y cercanía al mar, asociados a un régimen pluviométrico insuficiente y térmico moderado, el valle de Viedma posee características que dan lugar a una vitivinicultura necesariamente bajo riego, con influencia marítima, que permite producir

vinos con buen equilibrio azúcares/acidez (Gallo y Martín, 2007). Los otoños suaves y prolongados asociados a la condición marítima local permiten un largo período de maduración, con buen desarrollo de aromas y colores. Estas características presentan ciertos contrastes al compararlas con otras regiones provinciales con zonas vitivinícolas más tradicionales, como es el caso del Alto Valle del Río Negro, donde las características corresponden a una mayor continentalidad y, consecuentemente, extremos térmicos más marcados y menores contenidos de humedad en el aire (Gallina, 2005).

En el caso de la vid, tanto la productividad como las características cualitativas son el resultado de su interacción con el ambiente. El clima es un factor determinante en la calidad y la tipicidad de los productos vitivinícolas de una región. Las condiciones de manejo del cultivo podrán permitirle expresar su potencialidad, adoptando las medidas necesarias de acuerdo a las condiciones de la región considerada.

En la actualidad la superficie cultivada en el Valle Inferior del río Negro (VIRN) asciende a 150 ha (IDEVI, 2012) que abastecen, principalmente, a dos bodegas locales sobre la base de seis variedades: Merlot, Malbec, Pinot Noir, Sauvignon Blanc, Cabernet Franc y Cabernet Sauvignon (Gallo, 2009).

El ciclo vegetativo de la vid dura, en promedio, 230 días, según variedad y zona de cultivo, es una especie termocíclica y parafotocíclica. El inicio de brotación presenta una dispersión de casi 3 semanas entre las variedades más precoces a las más tardías. (Reynier, 2005).

En cuanto a las necesidades bioclimáticas de la especie, la acumulación de frío invernal es necesaria para una adecuada ruptura de la dormición, emisión de hojas y cuaje de frutos debiendo cubrir en vid un requerimiento medio de

600 horas de frío. Aun así la bibliografía da cuenta de una importante variabilidad respecto de este dato, indicándose rangos que van de 400-500 hasta 800-1200 horas como requerimiento de frío según la variedad que se considere (Westwood, 1982; Sozzi *et al.*, 2007).

Cuanto más al sur se cultiva en el país, tanto mayor es el peligro de daño por heladas en frutales de hojas caducas, tanto en la intensidad de los fríos invernales como en la época de ocurrencia, duración e intensidad de los descensos primaverales u otoñales asociados a fenómenos de termoperiodismo asincrónico (Burgos, 1952) habituales en esta región. Las viñas pueden ser dañadas por heladas otoñales, invernales o primaverales. Las heladas tempranas producen daños si ocurren antes de la caída de las hojas. En nuestra región los descensos térmicos otoñales son relativamente suaves registrándose temperaturas por debajo de 0 °C luego de la cosecha (Del Barrio *et al.*, 2011).

En el caso de las heladas invernales, temperaturas por debajo de -15 °C/-18 °C pueden dañar yemas, brotes de la temporada anterior y vasos floemáticos (Reynier, 2005). Estos extremos térmicos no ocurren en nuestra región donde la temperatura mínima absoluta de toda la serie (1965-2011) llegó a los -9 °C en el mes de julio.

Las heladas primaverales afectan la iniciación de las etapas de crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo: brotación, prefloración, floración e inicio de fructificación pudiendo causar pérdidas de cosecha, parciales o totales, en viñedos maduros y pérdidas de plantas en cultivos jóvenes. La magnitud del daño depende de la sensibilidad propia de la variedad y del estado fenológico de la planta al momento de la ocurrencia del fenómeno tanatoclimático.

Los estudios realizados para cuantificar los riesgos de daños por heladas han llevado a desarrollar distintos índices de peligrosidad de este fenómeno que priorizan diferentes variables en función de la finalidad para la cual fueron desarrollados. Burgos (1947) propuso el Índice Criocindinoscópico (ICK) que consiste en el valor de la temperatura normal del aire en la fecha probable de ocurrencia de heladas perjudiciales una vez cada 5 años.

Resulta de gran utilidad encontrar la manera de relacionar los procesos fenológicos y el régimen de heladas en forma cuantificada, con el fin de utilizarla en comparaciones agroclimáticas. Con ese motivo se han desarrollado Índices Agroclimáticos de Peligrosidad de heladas o Índices Agroclimáticos de Probabilidad de Daños por Heladas, (Pascale y Damario, 1958; Pascale *et al.*, 1997; Pascale *et al.*, 2003), desarrollados inicialmente para manzano y duraznero y luego aplicados también en cerezo (Damario *et al.*, 2006).

Al igual que otros frutales de crecimiento primaveral, la vid tiene una temperatura mínima o umbral de crecimiento que se sitúa alrededor de 10 °C. Al principio este fenómeno es de corta duración y poca intensidad siendo el efecto de las temperaturas diarias acumulativo. La tasa óptima de crecimiento se sitúa entre los 25-30 °C. Por encima de estos registros térmicos el crecimiento se ralentiza y se detiene hacia los 38 °C (Reynier, 2005).

En el caso de la vid para vinificar, además de las condiciones térmicas, tienen gran importancia los aspectos relacionados a la disponibilidad hídrica y al fotoperiodo primavera estival, en particular por la influencia que ejercen sobre la evolución del contenido de azúcar de las uvas y en la calidad de la vendimia en general. (Tonietto, 2003; Ojeda *et al.*, 2003).

La Agroclimatología sostiene entre sus principales objetivos valorar la aptitud local o regional según las disponibilidades climáticas existentes en orden a lograr la satisfacción de las exigencias bioclimáticas de una especie agrícola, (Pascale y Damario, 2004).

El propósito de esta contribución es analizar, a partir del registro fenológico de seis variedades de vid para vinificar, la adecuada satisfacción en la región del VIRN de sus exigencias bioclimáticas, tanto en disponibilidades térmicas, helio-térmicas, riesgo de daño por heladas y condiciones predisponentes a la aparición de enfermedades criptogámicas con el fin último de valorar la aptitud agroclimática regional para la satisfacción de las exigencias bioclimáticas de este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron estadísticas climáticas, serie 1965-2011, de la estación meteorológica ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Los datos utilizados corresponden a valores diarios, (Martin, 2009; EEAVI, 2011) e información fenológica correspondiente al período 2004-2011 de seis variedades de vid implantadas en la parcela A 103 del VIRN ubicada en cercanías del campo experimental con condiciones meteorológicas equivalentes a los fines de este estudio.

Las observaciones fenológicas se realizaron semanalmente, a partir de la segunda semana del mes de septiembre hasta fines del mes de diciembre. Las variedades bajo estudio fueron: Merlot, Malbec, Pinot Noir, Sauvignon Blanc, Cabernet Franc y Cabernet Sauvignon. La superficie sujeta a observación de cada una de ellas supera las dos hectáreas, visualizándose una fila por cuadro por variedad —promedio 30 plantas—. Las fases fenológicas observadas para este estudio abarcan desde “yema de invierno” (Estado “A”) hasta “cierre de racimo” (Estado “L”), siguiendo la metodología de Baggioini (1952).

La disponibilidad de frío invernal se calculó computando las “horas de frío” mediante la metodología de Bennett, (1949); Weinberger, (1950).

$$HF = \sum_{i=T} T_{7,2} \quad \text{con } T_{7,2} = \begin{cases} 0^{\circ}\text{C} < T < 7,2^{\circ}\text{C} : 1 \\ \text{Fuera de dicho rango} : 0 \end{cases}$$

Las necesidades térmicas se expresaron siguiendo las metodologías de cálculo de grados-días de Winkler – Integral térmica efectiva de Winkler (IW) - (1965),

$$IW = \sum_{\substack{30 \text{ de abril} \\ 1^{\circ} \text{ de octubre}}} (T_{md} - 10),$$

Que comprende la sumatoria de las temperaturas medias diarias (T_{md}) que superen los 10 °C (cero fisiológico o temperaturas efectivas para el desarrollo de la planta) entre el 1 de octubre y el 30 de abril para el hemisferio sur.

Las necesidades heliotérmicas se determinaron por medio del producto heliotérmico de Branas (1974),

$$\text{XH} \cdot 10^{-6} = (\text{T}_{\text{md}} - 10) \times (\sum h) \times 10^{-6};$$

donde T_{md} es la temperatura media diaria y *h* es la longitud del día en horas y mediante el índice heliotérmico de Huglin (1978, 1986),

$$\text{HI} = \sum_{1^{\circ} \text{ de octubre}}^{31 \text{ de marzo}} [(T - 10) + (T_x - 10)] / 2] \cdot d,$$

donde *T* es la temperatura media del aire (°C), *T_x* es la temperatura máxima del aire y *d* un coeficiente de duración del día que oscila entre 1,02 y 1,06 en latitudes de 40° a 50°. En el hemisferio sur el índice es calculado a partir de datos medios mensuales climáticos con base en el período de 6 meses del 1 de octubre el 31 de marzo.

El índice de frescura de noches de acuerdo a lo propuesto por Tonietto (2003) y Tonietto y Carbonneau, (2004). Este índice calcula la media de las temperaturas mínimas diarias durante los treinta días anteriores a la realización de la cosecha, en °C.

El riesgo de enfermedades criptogámicas se analizó a través del índice hidrotérmico de Branas *et al.* (1946),

$$\text{IHT} = \sum_{1^{\circ} \text{ de octubre}}^{28 \text{ de febrero}} T \times Pp;$$

que resulta de la suma de los productos mensuales de temperaturas medias en grados centígrados (*T*) por la cantidad de lluvias durante los meses comprendidos entre octubre y febrero (*Pp*).

En el presente trabajo, la probabilidad de daño por heladas tardías se determinó utilizando el Índice de Peligrosidad de Heladas (IPH) siguiendo la metodología de Pascale y Damario, (1958, 2004) y Pascale *et al.*, (1997). En el IPH se vinculan tres aspectos: la duración media en días de los distintos estadios fenológicos considerados, las temperaturas mínimas críticas capaces de provocar daños para cada uno de ellos y las probabilidades de ocurrencia de dichas temperaturas mínimas iguales o inferiores a dichos niveles críticos. Las probabilidades parciales acumuladas de los momentos fenológicos definidos expresan el valor del índice.

Para la aplicación del IPH al cultivo de vid se tomaron como referencia las temperaturas mínimas críticas primaverales observadas para esta especie en el Valle inferior del río Negro que indican registros de -2,5 °C en el estado C-05 —punta verde— y de -0,5 °C en la fase fenológica F-12 correspondiente a racimos visibles (Gallo *et al.*, 2011).

Semanas	Variedades					
	Pinot Noir	Merlot	Malbec	Cab. Franc	Sauvignon Blanc	Cab. Sauvignon
2.º Septiembre	B	B	A - B	A - B	A	A
3.º Septiembre	B	B	B	B	A - B	A - i B
4.º Septiembre	C	C	B - C	B - i C	B	B
1.º Octubre	D - E	E	C - D	C - D	B - C	B - C
2.º Octubre	F - i G	F - i G	E - i F	E - i F	D - E	D - i E
3.º Octubre	G	G	F - G	F - G	F	F
4.º Octubre	H	H	G - H	G - H	G	G
1.º Noviembre	H	H	H	H	G - H	G - H
2.º Noviembre	H - i I	H	H	H	H	H
3.º Noviembre	I	I	H - I	H - I	H - i I	H
4.º Noviembre	J	I - J	I - J	I	I	I
1.º Diciembre	K	J - K	J - i K	J - K	J	J
2.º Diciembre	L	K - L	K - i L	K - i L	K	K
3.º Diciembre	L	L	L	L	K - L	K - L
4.º Diciembre	L	L	L	L	L	L

Tabla 1. Datos fenológicos de 6 variedades de vid obtenidos en el Valle inferior del río Negro. A: Yema dormida; B: Inicio de desborre; C: Punta verde; D: Hojas incipientes; E: Hojas extendidas; F: Racimos visibles; G: Racimos separados; H: Botones florales separados; I: Floración; J: Cuajado; K: Bayas tamaño grano de pimienta; L: Bayas tamaño arveja o cierre de racimos. I: Inicio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos relativos a fenología de las variedades estudiadas en el Valle inferior del río Negro se presentan en la tabla 1. Dentro del grupo de variedades observadas, Pinot Noir y Merlot resultaron las de brotación más temprana; Malbec y Cabernet Franc presentaron fechas medias de brotación mientras que Cabernet Sauvignon y Sauvignon Blanc fueron las de brotación primaveral más tardía.

Esta información surge del procesado de los datos fenológicos relevados con frecuencia semanal durante el período 2004-2011. Se obtuvo la fecha promedio de ocurrencia de los estados: "salida de hojas" y "racimos visibles" (C y F según la metodología de Baggiolini) para cada variedad, con su correspondiente desvío (tabla 2).

Variedad	Estado C	Estado F
Pinot Noire	22/09 ± 4	08/10 ± 5
Merlot	24/09 ± 5	10/10 ± 4
Malbec	28/09 ± 4	13/10 ± 4
Cabernet Franc	29/09 ± 3	14/10 ± 4
Cabernet Sauvignon	04/10 ± 4	19/10 ± 4
Sauvignon Blanc	05/10 ± 4	19/10 ± 4

Tabla 2. Fechas medias de ocurrencia de Estados Fenológicos Críticos, C (Punta Verde) y F (Racimos Visibles) con sus respectivas desviaciones típicas (en días) según variedad de vid en el Valle inferior del río Negro.

Las características térmicas, heliotérmicas e hidrotérmicas indicadoras de aptitud vitícola, en el Valle inferior del río Negro se presentan la tabla 3. Estos índices son de carácter climático calculados por los autores para la región del Valle inferior del río Negro y permiten analizar la viabilidad del cultivo estudiado en esta.

Índice	Valor
Índice térmico de Weinberger	1.660 grados día
Índice heliotérmico de Branas	> 6
Índice heliotérmico de Huglin	4
Índice de frescura de noches de Tonietto	3 y 4
Índice hidrotérmicos de Branas	3242,6

Tabla 3. Índices bioclimáticos calculados para el cultivo de vid para vinificar en el Valle inferior del río Negro.

En este punto resulta interesante resaltar, como se mencionara en la introducción de esta contribución, que si se comparan los resultados de estos índices calculados para el VIRN, con los obtenidos por Gallina (2005) para la región del Alto Valle del río homónimo, puede observarse que la región de VIRN presenta una acumulación menor de grados día (Zona III Winkler) respecto de Alto Valle (Zona IV Winkler),

al igual que un menor índice heliotérmico de Branas (IH 4 para valle inferior e IH 5 para Alto Valle), definiéndose como un región templado-cálida la primera y cálida la segunda. De todas formas, en ambos casos, los resultados indican que no existirían restricciones para la maduración de los cepajes cultivados (Tonietto, 2003). En cuanto al índice de frescura de las noches, la región del Alto Valle presenta noches "muy frías", enmarcadas en un clima cálido, demostrando el carácter continental de la región; en cambio, las "noches frescas" junto con un clima templado-cálido en términos del índice de Winkler para la región de valle inferior, indican la influencia marítima que caracteriza nuestra zona.

El índice hidrotérmico de Branas indica que el riesgo de enfermedades criptogámicas en vid en el VIRN es moderado.

Respecto del requerimiento promedio de frío invernal se computaron, en VIRN, 1.218 horas de frío en el lapso comprendido entre el 1 de mayo y el 31 de agosto para la serie estudiada. Este resultado garantiza los requerimientos de frío de las variedades más exigentes de vid para vinificar (Pinto *et al.*, 2002).

En las figuras 1, 2 y 3 se presentan los cálculos del índice de Peligrosidad de Heladas tardías (IPH) de las variedades estudiadas agrupadas en tipos bioclimáticos (Pascale y Damario, 2004) por precocidad; "tempranos": variedades Pinot Noir-Merlot, "medios": variedades Malbec-Cabernet Franc y "tardíos": variedades Cabernet Sauvignon-Sauvignon Blanc, para los estados fenológicos C ("puntas verdes") y F ("racimos visibles") con umbrales críticos de -2,5 °C y -0,5 °C, respectivamente. Las probabilidades de ocurrencia se calculan, para cada nivel crítico, como la posibilidad que dichas temperaturas críticas tengan lugar a partir de cada fecha considerada.

El IPH se computa como la suma de las probabilidades parciales para cada nivel crítico considerando a este como la fecha media de ocurrencia del estadio fenológico correspondiente ± 1 desvío estándar (DS) de acuerdo a los resultados expuestos en la tabla 2.

El paso de un nivel crítico superior (Fase C -2,5 °C) a un nivel crítico inferior (Fase F -0,5 °C) siguiendo la metodología propuesta por Pascale *et al.* (1997) genera que el área de probabilidad de ocurrencia de temperaturas de -2,5 °C quede incluida en la de -0,5 °C, por lo que debe restarse, una vez llegado al día de la fecha media +1DS del estadio C para no superponer y sobrevalorar las probabilidades de ocurrencia calculadas para el estadio F. Sumando los dos valores parciales se obtiene el IPH indicativo del porcentaje de años de daño por helada en las variedades de vid estudiadas en el VIRN.

Por el hecho de que las probabilidades calculadas para el IPH no son totalmente independientes, el valor del índice solo pretende obtener un indicador útil para comparaciones agroclimáticas como un elemento importante a incluir entre las diversas causas para considerar para la viabilidad de una producción final económicamente rentable. Solamente indica el riesgo comparativo de ocurrir años con daño por heladas en distintos frutales criófilos en distintas ubicacio-

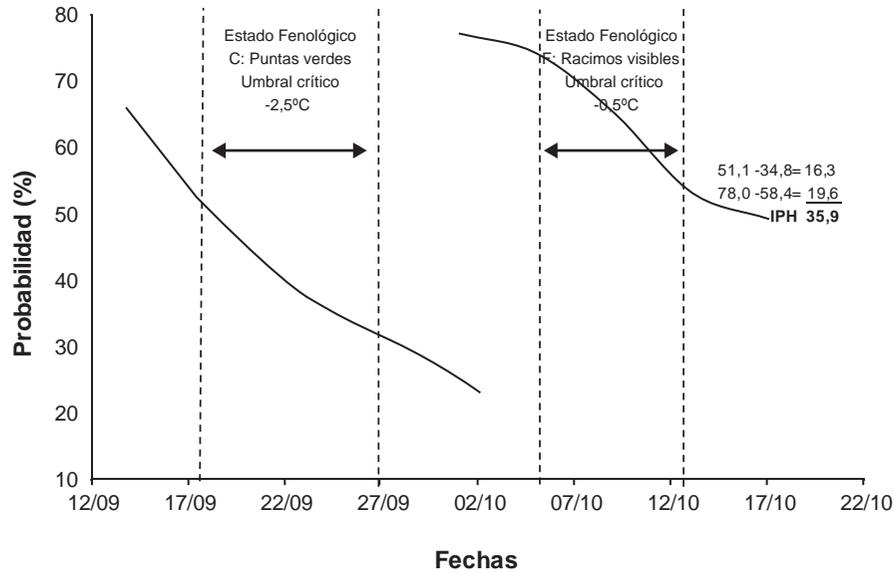


Figura 1. Índice de Probabilidad de Heladas (IPH) para tipo bioclimático “temprano” (variedades Pinot Noir y Merlot) en el VIRN.

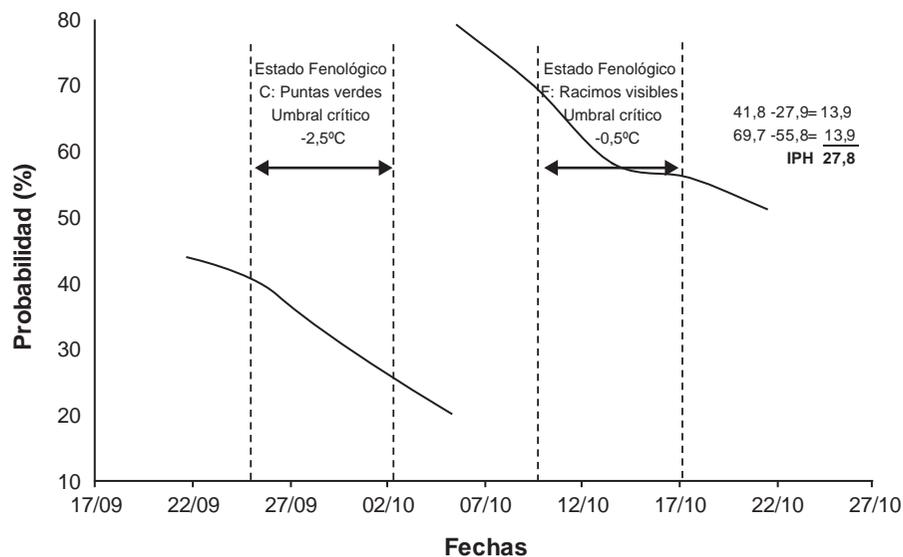


Figura 2. Índice de Probabilidad de Heladas (IPH) para tipo bioclimático “medio” (variedades Malbec y Cabernet Franc) en el VIRN.

nes geográficas o, como en el presente trabajo, con distintas fechas de ocurrencia de estadios fenológicos críticos según las distintas variedades de vid consideradas.

De los resultados obtenidos, aun con las limitaciones metodológicas expuestas, surge que, de las variedades de vid para vinificar estudiadas en el VIRN, el grupo de variedades más precoces (Merlot y Pinot Noir) presenta una alta probabilidad de sufrir daños por heladas primaverales (IPH: 35,9%) mientras que el grupo de variedades interme-

dias (Malbec y Cabernet Franc) y tardío (Cabernet Sauvignon y Sauvignon Franc) presentan riesgo decreciente, pero aún significativo de daños por heladas primaverales con IPHs de 27,8% y 25,6% respectivamente.

Esta condición torna, desde la perspectiva agroclimática, considerablemente riesgosa la producción de vid para vinificar en la zona, es necesario planificar esta previendo la incorporación de dispositivos de prevención y lucha contra heladas (figuras 4a y 4b).

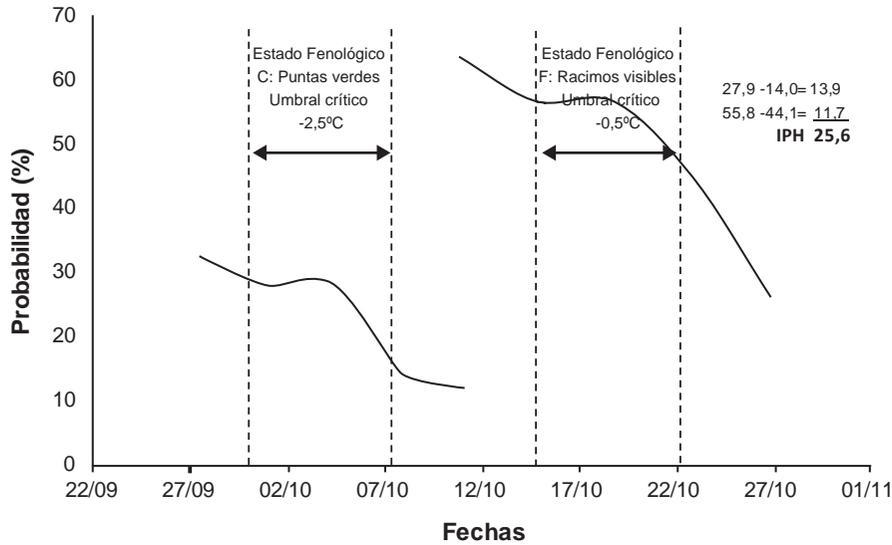


Figura 3. Índice de Probabilidad de Heladas (IPH) para tipo bioclimático “tardío” (variedades Cabernet Sauvignon y Sauvignon Blanc) en el VIRN.



Figura 4a. Brotación normal sin daños de heladas primaverales en el VIRN.



Figura 4b. Brotación dañada por helada primaveral en el VIRN.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el régimen agroclimático regional cubre las necesidades de enfriamiento invernal, las necesidades térmicas (Zona III de Winkler) y heliotérmicas (IH>6-Branas-, IH4 Huglin-Templado cálido-, Noches frías/ muy frías de Tonietto) y presenta riesgo moderado de enfermedades criptogámicas.

Las condiciones heliotérmicas permiten llegar a una madurez completa, y las condiciones nictotérmicas frescas de maduración, favorecen la coloración y los aromas de las uvas, pudiéndose obtener productos de calidad.

Sin embargo, aun con las limitaciones metodológicas expuestas, los índices de peligrosidad de heladas indican una alta probabilidad de incidencia de heladas tardías durante la brotación-floración-fructificación primaveral.

En el Valle inferior del río Negro, según la menor o mayor precocidad de las variedades consideradas puede esperarse una frecuencia de ocurrencia de daño por heladas tardías de 2 a 3 años por decenio considerado.

En consecuencia, para lograr una producción económicamente viable de vid para vinificar en la región estudiada es necesario planificar el cultivo, tanto económica como

agronómicamente, previendo la incorporación de mecanismos de lucha tanto pasiva como activa contra heladas.

BIBLIOGRAFÍA

- BAGGIOLINI, M. 1952. Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne. *Rev. Romande Arbor. Vitic.* 8:4-6.
- BENNET, J.P. 1949. Temperature and bud rest period. *Calif. Agric.* 3(9):12.
- BRANAS, J. 1974. *Viticulture générale*. Dehan, Montpellier. 990 p.
- BRANAS, J.; BERNON, G.; LEVADOUX, L. 1946. "Éléments de viticulture générale". Montpellier.
- BURGOS, J.J. 1947. A cryokindynoscope index useful in agroclimatic researches. SMN. Bs As. CI/INO/T 305.Doc, N.º 30. Toronto. Mimeogr.
- BURGOS, J.J. 1952. El termoperiodismo como factor bioclimático en el desarrollo de los vegetales. *Meteoros.* Año II, N.º 3/4.
- DAMARIO, E.A.; PASCALE, A.J.; TORTEROLO, M.K. 2006. Evaluación agroclimática del riesgo de daños por helada en las regiones de cultivo de cerezo en Argentina. *Rev. Fac. Agr.* 26(3):233-249.
- DEL BARRIO, R.A. Y MARTIN, D.M. 2010. Aspectos bio y agroclimáticos del nogal en el Valle inferior del río Negro. XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología. *Actas RALDA 2010*: 67-68.
- DEL BARRIO, R.A.; MARTIN, D.M. 2011. Aptitud Agroclimática del valle inferior del río Negro para los cultivos de avellano y nogal. *Revista Pilquen Sección Agropecuaria.* Año XIII (11): 1-10.
- DEL BARRIO, R.A.; GALLO, S.L.; MARTIN, D.M. 2011. Aptitud agroclimática del Valle inferior del río Negro al cultivo de vid para vinificar. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura. ASAGO. Exposición oral. Libro de resúmenes. Buenos Aires. Argentina, p. 148.
- EEAVI. 2011. Convenio Provincia de Río Negro-INTA. Informe meteorológico 2009-2011.
- GALLINA, M. 2005. Índices bioclimáticos para la vid en Contralmirante Guerrico, en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *Boletín de divulgación técnica N.º 51.* EEA INTA Alto Valle.
- GALLO, S.L.; MARTÍN, D.M. 2007. Evolución de la madurez (contenido de azúcares y grado de acidez) en los cultivares Merlot y Malbec implantados en el Valle de Viedma, provincia de Río Negro. XXX Congreso Argentino de Horticultura. 1.º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata, Argentina.
- GALLO, S.L. 2009. El cultivo de vid en el Valle de Viedma: Los primeros viñedos argentinos asociados al clima marítimo. *Boletín Técnico N.º 42.* EEA Valle Inferior del Río Negro-INTA.
- GALLO, S.L.; MARTÍN, D.M.; BOUHIER, R.A. 2011. Efecto de las heladas tardías en la producción vitivinícola del Valle de Viedma (provincia de Río Negro). XXXIV Congreso Argentino de Horticultura. Buenos Aires, Argentina.
- GARIGLIO, N.F.; PILATTI, R.A.; AGUSTÍ FRONFÍA, M. 2007. Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. En SOZZI, G. 2007. *Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Cap. 2:43-84. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- HUGLIN, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités heliothermiques d'un milieu viticole. En: *Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la vigne*. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, Contança, pp. 89-98.
- HUGLIN, P. 1986. *Biologie et Écologie de la vigne*. Payot. Lausanne. París, p. 336.
- IDEVI. 2012. Información de superficies implantadas con frutales en el Valle inferior del río Negro. Series técnicas. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior.
- MARTIN, D.M. 2009. Estadísticas climáticas del valle de Viedma. *Información Técnica N.º 27.* Año 4 N.º 9. EEA Valle Inferior-Convenio Provincia de Río Negro-INTA.
- OJEDA, H.; DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A. 2003. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. *Curso Internacional de Vitivinicultura*. Neuquén, Argentina.
- PASCALE, A.J.; DAMARIO, E.A. 1958. Fecha de floración en frutales y probabilidad de años con daño por heladas. *Congreso Frutícola Argentino*. Buenos Aires. Mimeogr. p. 22.
- PASCALE, A.J.; DAMARIO, E.A.; BUSTOS, C.A. 1997. Índice de peligrosidad de heladas primaverales en frutales según fecha de floración. *Rev. Fac. Agron.* 17(1) 25-30.
- PASCALE, A.J.; DAMARIO, E.A.; BETTLER, J.G. 2003. Aptitud agroclimática actual de Cinco Saltos (Río Negro-Argentina) para el cultivo de manzano. XIII Congreso Brasileiro de Agrometeorología. Santa María. RS Brasil. *Anais*: 567-568.
- PASCALE, A.J.; DAMARIO, E.A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Ed. Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires, p. 550.
- PINTO, M.; LIRA, W.; UGALDE, H.; PÉREZ, F. 2002. Fisiología de la latencia de las yemas de vid. Grupo de Investigación Enológica (GIE). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. En: *Fisiología de la latencia de las yemas de vid hipótesis actuales*. (Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/228660332> verificado: 07 de diciembre de 2014).
- REYNIER, A. 2005. *Manual de Viticultura*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 6.ª ed. p. 497.
- SOZZI, G.O.; GARIGLIO, N.F.; FIGUEROA DE ORELL, M.I. 2007. Dormición en árboles frutales de hojas caducas. En SOZZI, G.O. 2007. *Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Cap. 3:85-106. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- TASSARA, M.A. 2007. *Las heladas primaverales: protección en frutales de clima templado-frío*. Ediciones INTA, p. 158.
- TONIETTO, J. 2003. *Zonificación Vitícola*. Curso Internacional de Vitivinicultura. Neuquén 2003. Argentina.
- TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 124(1-2):81-97.
- WEINBERGER, J.H. 1950. "Chilling requirements of peach varieties". *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 56, 122-128.
- WESTWOOD, M. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Segunda edición. Madrid. Editorial Mundi Prensa, p. 461.
- WINKLER, A. 1965. *Viticultura*. México. Compañía Editorial Continental, p. 762.

Atmósferas controladas dinámicas: una alternativa para el control de la escaldadura superficial en peras

CANDAN, A.P.¹; CALVO, G.¹

RESUMEN

El potencial de almacenamiento de las peras Beurrè D'Anjou y Packham's Triumph es muy bueno, pero se ve limitado principalmente por la escaldadura superficial (ES). Ante las restricciones de uso de los antiescaldantes tradicionales, resulta clave encontrar una tecnología que permita el control de este desorden satisfaciendo los requerimientos de inocuidad exigidos. En peras la aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) controla la ES, pero puede impedir la maduración de los frutos; razón por la cual las atmósferas controladas dinámicas (ACD) cobran un particular interés en esta especie. En este ensayo, peras Beurrè D'Anjou y Packham's Triumph fueron almacenadas en frío convencional (FC), en atmósfera controlada (AC), en ACD, o tratadas con 300 ppb de 1-MCP. En comparación con la fruta almacenada en FC y AC, la ACD redujo significativamente el desarrollo de escaldadura superficial, mantuvo el color verde de la epidermis y redujo el ablandamiento sin impedir la normal maduración de los frutos. Aunque los frutos tratados con 1-MCP no maduraron, se concluye que la ACD es una excelente herramienta para el almacenamiento de peras Packham's Triumph. En cambio, el desarrollo de cavernas, impide su recomendación en Beurrè D'Anjou.

Palabras clave: límite mínimo de oxígeno (LMO), 1-metilciclopropeno, cavernas, daño por CO₂, maduración.

ABSTRACT

Storage potential of Beurrè D'Anjou and Packham's Triumph pears is very good but is limited primarily by superficial scald (SS). Given the restrictions on the use of traditional antioxidants, it is crucial to find a technology that allows control of this disorder, considering the safety requirements. In pears, 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment control SS, but may prevent normal fruit ripening; that's why the "dynamic controlled atmosphere" (DCA) had a particular interest in this specie. In this trial, Beurrè D'Anjou and Packham's Triumph pears were stored in regular air (RA), controlled atmosphere (CA), DCA or treated with 300ppb 1-MCP. Compared with fruit stored in RA and CA, the DCA significantly reduced superficial scald development, kept the epidermis green color and reduced the softening without avoiding fruit ripening. Since the fruits treated with 1-MCP did not ripen, it is concluded that ACD is an excellent tool for storing Packham's Triumph pears. However, cavities development, preclude its recommendation in Beurrè D'Anjou.

Keywords: low oxygen level (LOL), 1-methylcyclopropene, cavities, CO₂ injury, ripening.

¹Área Postcosecha, EEA Alto Valle, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). CC782, CP (8332), Gral. Roca, Río Negro, Argentina. Correo electrónico: candan.ana@inta.gov.ar; calvo.gabriela@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Argentina es el principal exportador de peras con 0,46 millones de toneladas (Valenciano *et al.*, 2012), de las cuales el 85% se producen en el Alto Valle del Río Negro y en Neuquén (Sánchez y Villarreal, 2013). El 50% de la cosecha nacional es de la variedad William's, el 30% de Packham's Triumph, seguidas por Beurré D'Anjou con el 11% (SENASA, 2010).

El potencial de conservación de las peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph es muy bueno, pero se ve limitado principalmente por el desarrollo de escaldadura superficial, una fisiopatía de poscosecha que ocasiona grandes pérdidas comerciales (Benítez, 2001). Los frutos afectados presentan manchas marrones de bordes irregulares sobre la piel, debidas a la muerte celular causada por los productos de oxidación de un compuesto denominado "α-farnaseno". La aplicación de antiescaldantes químicos como la etoxiquina o la difenilamina se ha utilizado durante décadas para controlar esta fisiopatía. Sin embargo, los consumidores exigen productos cada vez más sanos y libres de residuos (Calvo y Kupferman, 2012) y la prohibición de uso de dichos antiescaldantes ya es un hecho en la Comunidad Europea. En este marco, resulta clave encontrar una tecnología que permita el adecuado control de la escaldadura superficial, satisfaciendo los requerimientos de inocuidad exigidos.

Al aplicar bloqueadores de la acción del etileno como el 1-metilciclopropeno (1-MCP) se inhibe la síntesis de α-farnasenos logrando un control muy efectivo de la escaldadura superficial en manzanas y peras (Blankenship y Dole, 2003). Sin embargo, la aplicación comercial de esta tecnología no es sencilla para el caso de las peras ya que las dosis de 1-MCP que resultan efectivas para el control de escaldadura pueden impedir el normal ablandamiento de los frutos, lo que causa el rechazo de los estos por parte de los consumidores.

El almacenamiento en atmósfera controlada (AC) retrasa la aparición de escaldadura por una inhibición de la biosíntesis del α-farneseno y de su oxidación a trienos conjugados debida tanto a los bajos niveles de O₂ como a los altos niveles de CO₂ (Lurie y Watkins, 2012). Ha sido demostrado que el máximo control de escaldadura se logra cuando la concentración de O₂ se encuentra cerca del límite mínimo de oxígeno (LMO), pero nunca por debajo, ya que pueden ocurrir daños por anaerobiosis. Los sensores de fluorescencia de la clorofila permiten detectar, de forma rápida y no destructiva, el estrés por bajo oxígeno en manzanas, peras y otras especies, de manera de indicar el momento en que los frutos alcanzan su LMO (Prange *et al.*, 2011). Así surge el sistema de almacenamiento en atmósfera controlada dinámica (ACD) que, a diferencia de las condiciones estáticas de la AC, requiere ajustar la concentración de oxígeno dentro de la cámara cada vez que los frutos alcanzan su LMO (Wright *et al.*, 2010).

En estudios previos con peras William's, la ACD mantuvo la acidez, el color verde de los frutos y logró un control absoluto de los síntomas de escaldadura superficial incluso

después de 6 meses de almacenamiento, sin provocar daños por bajo O₂ (Candan y Calvo, 2012). Esta tecnología también demostró ser efectiva en inhibir el desarrollo de esta fisiopatía en peras D'Anjou (Mattheis y Rudell, 2011) y en otros cultivares de peras (Prange *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el almacenamiento en ACD como método alternativo del control de escaldadura en peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph producidas en el Alto Valle de Río Negro y en Neuquén.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph fueron cosechados el 9 y 17 de febrero del año 2010 respectivamente, en un monte comercial de INTA e inmediatamente trasladados a los laboratorios del Área Postcosecha de la EEA Alto Valle, donde se determinó la madurez inicial de los frutos y se establecieron 4 lotes homogéneos para aplicar los siguientes tratamientos:

- Frío convencional (FC): la fruta se conservó a 0 °C en un contenedor con atmósfera regular.
- 1-metilciclopropeno (1-MCP): la fruta se trató con 300ppb de 1-MCP (SmartFresh®) y se conservó a 0 °C en un contenedor con atmósfera regular.
- Atmósfera controlada (AC): la fruta se conservó a 0 °C en contenedores con 2% de O₂ y 1% de CO₂.
- Atmósfera controlada dinámica (ACD): la fruta se conservó a 0 °C en un contenedor con el siguiente régimen dinámico: barrido inicial hasta 2% O₂ y 1% CO₂ y posterior descenso del O₂ por respiración. Cuando los valores de fluorescencia indicaron el inicio del estrés por bajo oxígeno, se aumentó en un 0,2% el valor de dicho gas.

Los frutos se evaluaron después de 6 y 8 meses (Beurré D'Anjou) o de 6 y 9 meses (Packham's Triumph), tanto a salida de cámara como después de 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. En cada una de las evaluaciones y sobre 3 repeticiones de 20 frutos cada una se determinó:

- Índices de madurez

El color de la epidermis (hue) se midió con colorímetro triestímulo (CR-400, Minolta, Japón), en dos caras opuestas de cada fruto. La firmeza de la pulpa (lb) se determinó con presiómetro electrónico (FTA-GS14, Güss, Sudáfrica), con émbolo de 8 mm, previa extracción de la piel y en dos puntos opuestos del plano ecuatorial. Sobre el jugo de los frutos de cada repetición se determinó el contenido de sólidos solubles totales (SST %) con refractómetro digital (PAL1, Atago, Japón) y la acidez titulable (AT g/L) por titulación con NaOH 0,1N hasta pH 8,2. Al momento de la cosecha se determinó el porcentaje de degradación de almidón mediante la tinción del corte sobre el plano ecuatorial con solución de lugol y por comparación con tablas varietales de INTA (Insúa y Candan, 2010).

- Producción de etileno

Después de la cosecha y de cada periodo de almacenamiento se determinó la producción de etileno sobre 3 repeticiones de un fruto cada una. Después de 30 minutos de encierro de cada fruto en un frasco de 1,5 L se extrajo 1 mL de muestra del espacio de cabeza. La muestra se analizó con un cromatógrafo de gases (GC-14A, Shimadzu, Japón) equipado con columna de alúmina (40 °C) y detector FID (210 °C). Se utilizó helio como gas transportador. Los resultados se expresaron en nL/g/h.

- Escaldadura superficial y otros desórdenes

Se registró en cada evaluación el porcentaje de frutos afectados con escaldadura superficial y la severidad de este desorden mediante la siguiente escala visual: Grado 1 (hasta el 25% de la superficie afectada con manchas), Grado 2 (entre 25 y 50%), Grado 3 (entre 50 y 75%), Grado 4 (más del 75%). Se registró el porcentaje de frutos afectados con cavernas, podredumbres y otros desórdenes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, la cosecha de las peras Beurré D'Anjou puede iniciarse cuando los frutos alcanzan 15,5-16,5 lb de firmeza, 10-11% SST, 3,5-4 g/L AT y 20-25% de degradación de almidón; mientras que la cosecha de las peras 'Packhams Triumph', cuando los frutos alcanzan 15,5-17,5 lb de firmeza, 10-11% SST, 3,5-4 g/L AT y 20-30% de degradación de almidón (Benítez, 2001). Según el Programa Regional de Madurez, la fecha sello para el inicio de cosecha en esta temporada fue el 27 de enero para Beurré D'Anjou y el 10 de febrero para Packham's Triumph, por lo que los frutos de este ensayo se cosecharon 13 y 10 días después del sello respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 1), los frutos utilizados en este ensayo se encontraban en un estado de madurez adecuado para cosecha o madurez comercial.

Para las dos variedades, la producción de etileno posterior a la cosecha se mantuvo indetectable durante todo el periodo evaluado (3 semanas a 20 °C), lo cual indica que los frutos se encontraban en estado preclimático.

	Beurré D'Anjou (9 feb)	Packham's Triumph (17 feb)
Color (Hue)	118,7 ± 0,9	117,7 ± 0,3
Firmeza (N)	62,8 ± 2,2	61,3 ± 2,0
AT (g/L)	2,9 ± 0,2	3,2 ± 0,4
SST (%)	11 ± 0,8	12,4 ± 0,1
Almidón (%)	23 ± 3,1	16,0 ± 2,0

Tabla 1. Índices de madurez al momento de la cosecha de las peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph utilizadas en este ensayo. Cada valor representa el promedio de 3 repeticiones de 20 frutos cada una ±DS.

Efecto de los tratamientos sobre la producción de etileno y la madurez después del almacenamiento

Si bien la producción de etileno fue indetectable durante el periodo de vida en estante posterior a la cosecha, tanto Beurré D'Anjou como Packham's Triumph produjeron etileno después del almacenamiento en FC, AC y ACD (figuras 1 y 2). Este efecto ya ha sido descrito y es un comportamiento normal en las peras de invierno (como Beurré D'Anjou y Packham's Triumph), las cuales necesitan de las bajas temperaturas para iniciar la producción autocatalítica de etileno (Lelièvre *et al.*, 1997).

El efecto de los tratamientos sobre la producción de etileno fue el mismo en las dos variedades estudiadas. Contrariamente a lo esperado, los frutos almacenados en AC y ACD presentaron mayores valores de producción de etileno que FC a salida de cámara y un incremento a lo largo del periodo de vida en estante hasta alcanzar un pico climático para luego descender. Por su parte, el tratamiento con 1-MCP inhibió la producción de etileno de los frutos durante todo el periodo evaluado (figuras 1 y 2).

Se observaron diferencias de producción de etileno entre las variedades estudiadas. Las peras Beurré D'Anjou presentaron un pico climático más tardío y de menor magnitud (11 a 16 nL/g/h) que las peras Packham's Triumph (82 a 93 nL/g/h).

Los tratamientos afectaron significativamente la maduración de los frutos de ambas variedades. En general, las diferencias se observaron en el color de la epidermis y en la firmeza. La acidez titulable se vio menos afectada mientras que no se observó ningún efecto sobre el contenido de sólidos solubles totales (tablas 2 y 3).

El color de la epidermis estuvo significativamente afectado por los tratamientos. Los frutos almacenados en FC amarillaron más rápidamente (menor hue) durante el almacenamiento y la vida en estante. Los frutos almacenados en ACD fueron más verdes (mayor hue) que los almacenados en AC o que los tratados con 1-MCP en casi todas las evaluaciones realizadas tanto en Beurré D'Anjou como en Packham's Triumph. En general, se observó que al extenderse el periodo de vida en estante, las diferencias de color entre ACD y 1-MCP fueron menores, lo que sugirió que el almacenamiento en ACD es más efectivo que el tratamiento con 1-MCP para mantener el color verde principalmente durante el almacenamiento y los primeros días de vida en estante (tablas 2 y 3). La efectividad de la ACD en el mantenimiento del color verde fue previamente observada en peras Williams (Candan y Calvo, 2012) y en manzanas Granny Smith y Cripps Pink (Candan y Calvo, sin publicar). Este resultado es particularmente importante a nivel comercial ya que el color verde de la epidermis es un factor de calidad decisivo para que los compradores acepten el producto.

No se observaron diferencias en la firmeza de los frutos al finalizar ambos periodos de almacenamiento en ninguna de las variedades. En cambio, durante el periodo de vida en estante los frutos de AC y ACD se ablandaron normal-

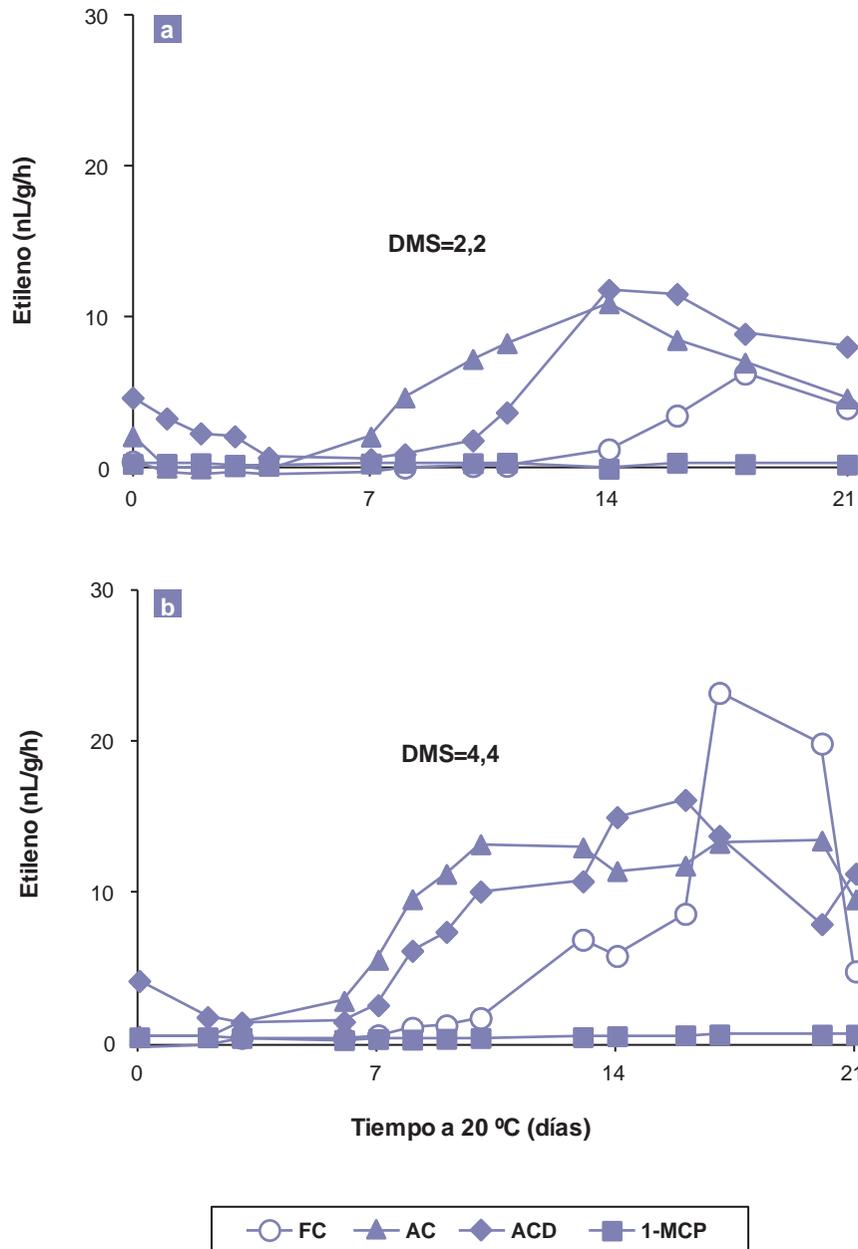


Figura 1. Producción de etileno en peras Beurré D'Anjou después de 6 meses (A) y 8 meses (B) de almacenamiento en frío bajo distintos sistemas de conservación. La barra vertical representa la diferencia mínima significativa (DMS) entre todos los puntos, según Tukey (0,05).

mente (sin diferencias entre ambos) mientras que los frutos tratados con 1-MCP mantuvieron valores de firmeza elevados. Extrañamente, los frutos almacenados en FC presentaron una tasa de ablandamiento menor a la observada en los frutos de AC y ACD, aunque se amarillaron y perdieron acidez normalmente. Este comportamiento fue más notorio en Beurré D'Anjou y se corresponde con los síntomas de la enfermedad del frío, que se caracteriza por la incapacidad de los frutos para madurar normalmente tras largos periodos de almacenamiento en FC. Según ha sido descrito, esta fisiopatía no aparece todos los años ni afecta a todas las partidas y se debe a ciertas condiciones de crecimiento

y/o almacenamiento (Benítez, 2001). En todos los casos, y como la pérdida de firmeza es uno de los parámetros más dependientes de la producción de etileno (Lelièvre *et al.*, 1997), se observó una coincidencia entre la tasa de ablandamiento de los frutos y la producción de etileno de los tratamientos para las dos variedades (figuras 1 y 2).

Se considera que las peras alcanzan la jugosidad deseada cuando alcanzan valores de firmeza de 17,8 a 22,3 N dependiendo de la percepción individual de cada consumidor (Kappel *et al.*, 1995). De acuerdo con estos valores, los frutos almacenados en FC, AC y ACD alcanzaron la firmeza de consumo después de 7 días de vida en estante

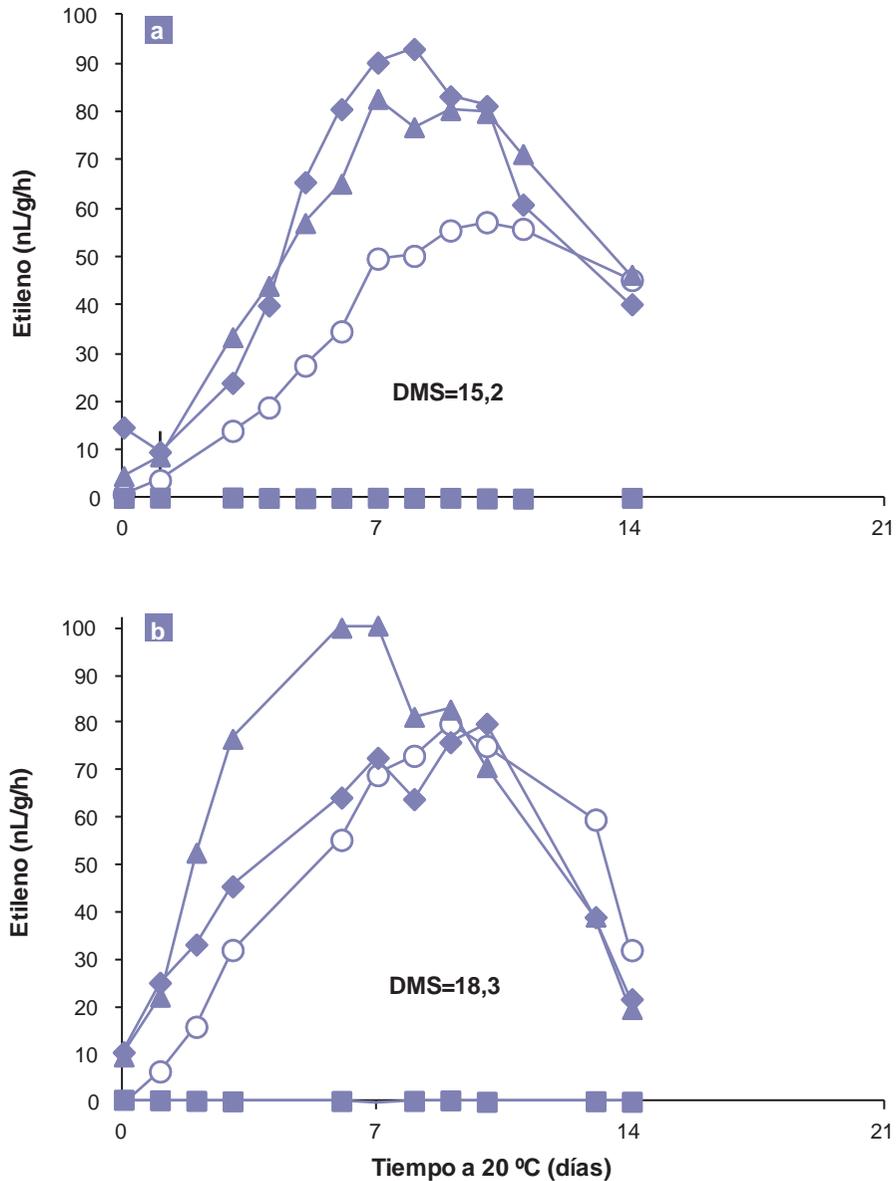


Figura 2. Producción de etileno en peras Packham's Triumph después de 6 meses (A) y 9 meses (B) de almacenamiento en frío bajo distintos sistemas de conservación. La barra vertical representa la diferencia mínima significativa (DMS) entre todos los puntos, según Tukey (0,05).

mientras que los frutos tratados con 1-MCP no alcanzaron valores de consumo durante el periodo de vida en estante evaluado (tablas 2 y 3). El bloqueo de la maduración normal en las peras tratadas con 1-MCP es un problema que ya ha sido reportado anteriormente (Blankenship y Dole, 2003) y que implica la necesidad de adecuar esta tecnología para su correcta aplicación comercial en peras. Es por ello que actualmente se estudian distintas alternativas para modular los efectos del 1-MCP de manera de conseguir los efectos deseables sin perder la capacidad de maduración (Calvo y Candan, 2015). En cambio, y tal como ha sido observado en este trabajo, el almacenamiento en atmósferas controladas asegura una maduración normal de los frutos (Benítez, 2001).

Similarmente a lo observado en peras William's (Candan y Calvo, 2012), las peras de este ensayo almacenadas en ACD o tratadas con 1-MCP mantuvieron mayores valores de acidez que los almacenados en FC o en AC en algunas evaluaciones (tablas 2 y 3).

El efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de escaldadura superficial

La escaldadura superficial se desarrolló durante la vida en estante, observándose una mayor incidencia en las peras Beurré D'Anjou que en las Packham's Triumph. En ambas variedades se observaron diferencias entre tratamientos (figura 3 y 4).

Meses a 0 °C + días a 20 °C	Trat.	Color (hue)	Firmeza (N)	AT (g/L)	SST (%)
6M	FC	116,46	59,2	1,92 b	12,03
	AC	117,11	58,6	2,14 b	12,27
	ACD	118,31	60,1	2,41 a	12,87
	1-MCP	98,36	58,1	2,35 a	12,87
			0,3806	0,7343	0,0071
6M+4D	FC	116,41 b	52,6 b	2,17	12,33
	AC	116,02 b	38,1 d	1,94	12,27
	ACD	117,82 a	42,9 c	2,17	12,57
	1-MCP	116,93 b	58,6 a	2,19	12,3
			0,0015	<0,0001	0,3712
6M+7D	FC	114,12 b	33,2 b	2,01	12,6
	AC	115,44 b	17,4 c	1,83	12,6
	ACD	116,32 a	17,9 c	2,17	13,1
	1-MCP	116,59 a	52,5 a	2,14	13,23
			0,0115	<0,0001	0,0997
8M	FC	115,28 c	52,1	1,79	12,93
	AC	116,62 b	50,6	1,83	12,2
	ACD	118,68 a	53,2	2,23	12,83
	1-MCP	116,30 b	50,6	2,3	16,33
			0,0005	0,2184	0,081
8M+4	FC	114,74 b	45,2 b	1,68 b	12,7
	AC	115,39 b	41,0 b	1,36 b	12,67
	ACD	117,84 a	43,7 b	1,56 b	12,33
	1-MCP	116,32 b	52,0 a	2,10 a	13,37
			0,005	0,0009	0,0091
8M+7D	FC	111,00 b	33,1 b	1,79 b	13,33
	AC	113,97 b	14,9 c	1,65 b	13,17
	ACD	115,52 a	18,8 c	1,74 b	13,33
	1-MCP	116,26 a	53,6 a	1,99 a	13,23
			<0,0001	<0,0001	0,0062

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre los índices de madurez de peras Beurré D'Anjou después de 6 y 8 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Valores seguidos por una letra distinta difieren según Tukey (0,05). Para cada grupo de valores se indica el valor de P.

Después de 6 meses de almacenamiento el porcentaje de frutos de Beurré D'Anjou con escaldadura fue mayor al 40% en FC y AC después de 4 días de vida en estante y al 90% después de 7 días. El almacenamiento en ACD redujo significativamente este desorden con tan solo un 3% de frutos afectados después de 7 días de vida en estante mientras que el tratamiento con 1-MCP logró un control absoluto de esta fisiopatía (figura 3). La incidencia de esta fisiopatía se incrementó al extenderse el almacenamiento, en todos los tratamientos. De esta forma, hubo un 80% de frutos afectados en FC y AC después de 4 días de vida en estante y entre 93 y 100% luego de 7 días. El almacenamiento en ACD mantuvo un bajo porcentaje de fruta afectada hasta los 4 días de vida en estante (6%), pero solo el 1-MCP fue efectivo tras 7 días (figura 3).

En Packham's Triumph, después de 6 meses de almacenamiento, solo los frutos almacenados en FC presentaron síntomas de escaldadura, lo que afectó al 3% de los frutos después de 4 días de vida en estante y al 16% de los frutos después de 7 días. El almacenamiento en AC y ACD así como el tratamiento con 1-MCP lograron un control absoluto de esta fisiopatía durante la vida en estante posterior a los 6 meses de almacenamiento (figura 4). Después de 9 meses de almacenamiento en FC o AC se observaron síntomas de escaldadura superficial que afectaron entre un 25 o 30% y entre un 50 o 40% de los frutos después de 4 y 7 días de vida en estante, respectivamente. El almacenamiento en ACD redujo esta fisiopatía muy significativamente logrando un control absoluto hasta los 4 días de vida en

Meses a 0 °C + días a 20 °C	Trat.	Color (hue)	Firmeza (N)	AT (g/l)	SST (%)
6M	FC	110,11 d	49,4 b	2,1	13,83
	AC	114,21 b	51,3 a	2,08	13,67
	ACD	116,61 a	50,7 a	2,23	13,57
	1-MCP	113,01 c	48,0 b	2,19	14,03
			<0,0001	0,0279	0,8086
6M+4D	FC	108,56 c	36,8 b	2,08 b	14,07
	AC	112,05 b	29,3 b	2,19 b	13,3
	ACD	115,72 a	20,4 c	2,41 a	13,8
	1-MCP	113,05 b	45,5 a	2,12 b	13,93
			0,0005	0,0003	0,0362
6M+7D	FC	104,65 b	14,3 b	2,08	14,5
	AC	106,75 b	13,2 b	1,83	13,97
	ACD	110,50 a	11,4 b	2,23	13,73
	1-MCP	111,59 a	44,5 a	2,37	14,37
			0,0112	<0,0001	0,0642
9M	FC	107,57 c	50,4 a	1,56 b	13,77 a
	AC	111,45 b	54,6 a	1,52 b	12,93 a
	ACD	115,36 a	53,5 a	2,08 a	13,67 a
	1-MCP	112,78 b	53,1 a	2,03 a	13,57 a
			<0,0001	0,1559	0,0005
9M+4D	FC	105,84 d	41,6 b	1,43 b	13,47 a
	AC	109,85 b	29,7 c	1,34 b	12,53 a
	ACD	113,63 a	22,0 d	1,90 a	14,03 a
	1-MCP	111,62 c	51,3 a	1,74 a	13,77 a
			<0,0001	<0,0001	0,021
9M+7D	FC	101,36 c	19,2 b	1,43 c	13,70 a
	AC	103,46 c	14,7 c	1,30 c	13,60 a
	ACD	108,58 b	12,6 c	1,76 b	14,13 a
	1-MCP	112,90 a	58,5 a	2,10 a	13,90 a
			<0,0001	<0,0001	<0,0001

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre los índices de madurez de peras Packhams Triumph después de 6 y 9 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Valores seguidos por una letra distinta difieren según Tukey (0,05). Para cada grupo de valores se indica el valor de P.

estante y presentado solo un 5% de fruta afectada después de 7 días. El tratamiento con 1-MCP logró un control absoluto hasta los 7 días (figura 4).

En William's, tanto la ACD como el 1-MCP lograron un control absoluto de la escaldadura tras 5 y 6 meses de almacenamiento más 7 días de vida en estante (Candan y Calvo, 2012). Este resultado, junto con los obtenidos en este trabajo, demuestra que el efecto de la ACD sobre el control de la escaldadura sería dependiente de la variedad.

La escaldadura superficial es una fisiopatía que afecta numerosos cultivares de manzanas y peras. En presen-

cia de oxígeno el α -farnaseno se oxida dando lugar a los trienos conjugados, que son productos altamente tóxicos. Varios estudios indican que la síntesis de α -farnasenos es dependiente de etileno (Lurie y Watkins, 2012), lo cual explica el control de la escaldadura en los frutos tratados con 1-MCP. Las atmósferas con bajo oxígeno también pueden inhibir la síntesis de α -farnasenos mediante una reducción en la producción de etileno. Sin embargo, en este ensayo, no se observó una menor producción de etileno en los frutos almacenados en ACD, lo cual sugiere que el control de la escaldadura fue por un efecto directo de inhibición de la oxidación de los α -farnasenos.

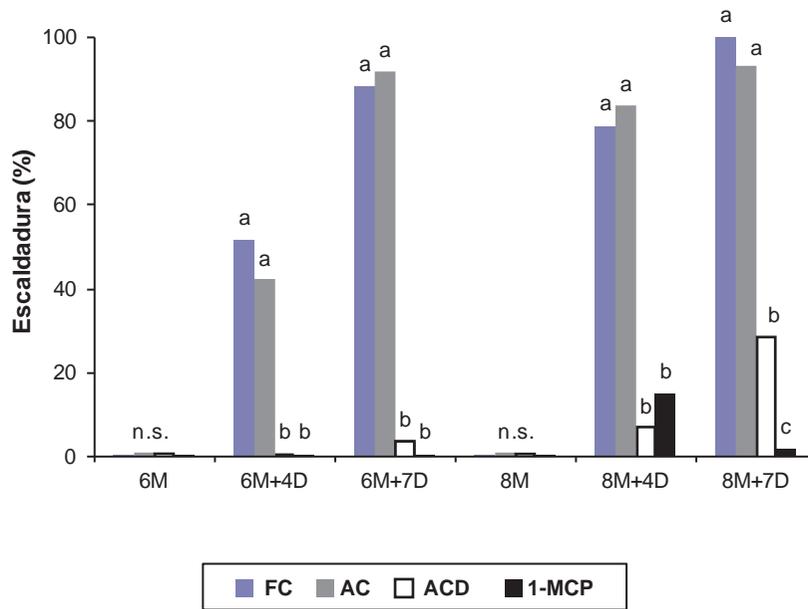


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de frutos afectados con escaldadura superficial en peras Beurré D'Anjou después de 6 y 8 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Dentro de una misma evaluación, las columnas rotuladas por una letra distinta difieren según Tukey (0,05) y n.s. indica diferencias no significativas.

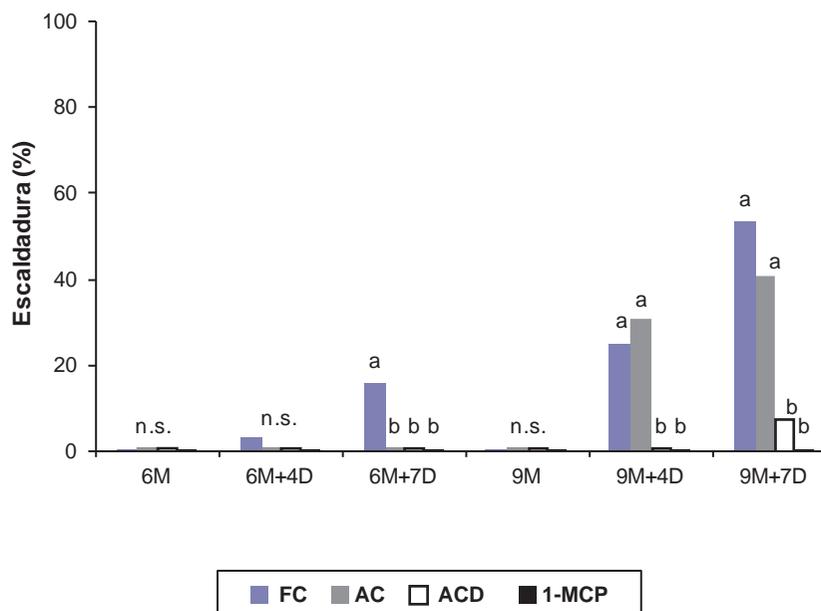


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de escaldadura superficial de peras Packham's Triumph después de 6 y 9 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Dentro de una misma evaluación, las columnas rotuladas por una letra distinta difieren según Tukey (0,05) y n.s. indica diferencias no significativas.

Condiciones de almacenamiento y desarrollo de cavernas

El desarrollo de cavernas fue el principal factor limitante del almacenamiento de las peras Beurré D'Anjou en ACD. Este síntoma afectó a más del 70% de los frutos de este

tratamiento en todas las evaluaciones realizadas desde la primera evaluación de salida de cámara y se mantuvo constante durante la vida en estante. Si bien la atmósfera promedio en ACD para Beurré D'Anjou fue de 1% de O₂ y 0,7% de CO₂, los valores de CO₂ superaron a los valores de O₂ en dos oportunidades: a) durante 11 días del primer

mes de almacenamiento (0,4% O₂ y 0,7% CO₂) y durante 19 días del mes del quinto mes (0,7% O₂ y 0,9% CO₂), lo cual podría haber causado el desarrollo de este desorden.

Mattheis y Rudell (2011) y Mattheis *et al.* (2013) también observaron la ocurrencia de daños internos en peras Beurré D'Anjou almacenadas en regímenes de bajo O₂, lo cual indica que esta variedad es particularmente sensible a este tipo de desórdenes. Al igual que en este ensayo, Mattheis *et al.* (2013) tampoco observaron cambios de fluorescencia asociados con el daño interno de los frutos. Esto podría deberse a que el desarrollo de cavernas está más asociado con altos niveles de CO₂ que con bajos niveles de O₂ (Calvo y Candan, 2010).

La variedad Packham's Triumph no presentó síntomas de cavernas en ninguna de las evaluaciones y para ninguno de los tratamientos. Para esta variedad, se estableció una atmósfera promedio de 0,8% de O₂ y 0,9% de CO₂. Según los resultados obtenidos, esta composición gaseosa sería apropiada para esta variedad.

Límite mínimo de oxígeno detectado

En este ensayo, las peras 'Beurré D'Anjou' manifestaron un pico de estrés a los 19 días de ingreso en la cámara y con una composición gaseosa de 0,2% O₂ y 0,4% CO₂, lo cual sugiere que 0,2% es el límite mínimo de oxígeno (LMO) para esta variedad. Por su parte, las peras Packham's Triumph manifestaron dos picos de estrés durante el almacenamiento. El primero ocurrió a los 8 días de ingreso en la cámara y el segundo, a los 20 días de ingreso a la cámara. Es muy importante destacar que ambos picos ocurrieron con 0,3% O₂, lo que sugirió que este sería el LMO para esta variedad, independientemente de los valores de CO₂, que fueron de 0,6% y 0,9% respectivamente.

Los valores de LMO obtenidos pueden tomarse como referencia, pero debe tenerse en cuenta que pueden cambiar entre especies, según la región de producción y de un año a otro (De Long *et al.*, 2004). Asimismo, la temperatura de almacenamiento y la velocidad de descenso del O₂ también afectan el LMO, observándose un aumento de este cuanto mayor sea la temperatura de almacenamiento de los frutos y cuando el descenso de O₂ es gradual (Wright *et al.*, 2010).

CONCLUSIÓN

Los resultados indican que el almacenamiento en ACD disminuye la maduración de los frutos (alcanzando la madurez de consumo durante la vida en estante) y reduce significativamente el desarrollo de escaldadura superficial en comparación con la fruta almacenada en FC y AC. Estos resultados demuestran que la ACD es una excelente herramienta para el mantenimiento de la calidad poscosecha en peras Packham's Triumph. En cambio, el desarrollo de cavernas impide su implementación comercial en la variedad Beurré D'Anjou.

BIBLIOGRAFÍA

- BENÍTEZ, C.E. 2001. Cosecha y poscosecha de peras y manzanas en los Valles Irrigados de la Patagonia. INTA EEA Alto Valle. General Roca, Río Negro. Argentina. 126 pp.
- BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28, 1-25.
- CALVO, G.; CANDAN, A.P. 2010. Guía para la identificación de fisiopatías en peras y manzanas. ISBN 978-987-679-023-9.
- CALVO, G.; CANDAN, A.P. 2015. Estrategias para modular los efectos de 1-MCP en peras Packham's Triumph: aplicación simultánea con etileno o con CO₂ y tratamientos con calor. *RIA*, 41 (1): 102-110.
- CALVO, G.; KUPFERMAN, E. 2012. Current DPA and ethoxyquin situation and alternatives to superficial scald control in apples and pears. *Acta Hort.* 945, 51-54.
- CANDAN, A.P.; CALVO, G. 2012. Evaluación del sistema de Atmósferas Controladas Dinámicas para la conservación de peras 'Williams'. *Revista de Fruticultura*. N.º 23: 4-11.
- DE LONG, J.M.; PRANGE, R.K.; LEYTE, J.C.; HARRISON, P.A. 2004. A new technology that determines low oxygen thresholds in controlled-atmospheres apples. *Hort Technology* 14 (2): 262-266.
- INSÚA, E.; CANDAN, A.P. 2010. Desarrollo de la 'lámina para la determinación de la degradación de almidón', INTA Alto Valle. (Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/test-de-degradacion-de-almidon>).
- KAPPEL, F.; FISHERFLEMING, R.; HOGUE, E.J. 1995. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. *HortScience* 30, 988-993.
- LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101: 727-739.
- LURIE, S.; WATKINS, C.B. 2012. Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest biology and Technology*, 65: 44-60.
- MATTHEIS, J.; FELICETTI, D.; RUDELL, D. 2013. Pithy brown core in 'd'Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) fruit developing during controlled atmosphere storage at pO₂ determined by monitoring chlorophyll fluorescence. *Postharvest Biology and Technology*, 86: 259-264.
- MATTHEIS, J.P.; RUDELL, D. 2011. Responses of 'd'Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) fruit to storage at low oxygen set points determined by monitoring fruit chlorophyll fluorescence. *Postharvest Biology and Technology*. 60, 125-129.
- PRANGE, R.K.; DELONG, J.M.; WRIGHT, A.H. 2011. Storage of pears using dynamic controlled-atmosphere (DCA), a non-chemical method. *Acta Hort.* (ISHS) 909: 707-717.
- SÁNCHEZ, E.E.; VILLARREAL, P. 2013. Cadena frutales de pepita. Programa Nacional Frutales. Estación Experimental Alto Valle. (Disponible en: www.inta.gov.ar).
- SENASA, 2010. Anuario estadístico 2010 Centro Regional Patagonia Norte. (Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File4832-AnuarioCRPN2010.pdf>).
- VALENCIANO, J.; GIANCINTI, M.A.; URIBE, J. 2012. Revealed comparative advantage and competitiveness in pear. *Int. J. Food System Dynamics*, 3 (1): 1-10.
- WRIGHT, A.H.; DELONG, J.M.; HARRISON, P.A.; GUNAWARDENA, A.H.L.A.N.; PRANGE, R.K. 2010. The effect of temperature and other factors on chlorophyll a fluorescence and the lower oxygen limit in apples (*Malus domestica*). *Postharvest Biology and Technology* 55: 21-28.

Determinación del tamaño muestral para el seguimiento poblacional de tisanópteros (Insecta) en plantaciones tabacaleras de la provincia de Jujuy, Argentina

RODRIGUEZ, S.O.¹; ZAMAR, M. I.²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue establecer el tamaño muestral para el seguimiento poblacional de tisanópteros en el cultivo de *Nicotiana tabacum* L. var. *virginica* (C. Agardh) Comes, "tabaco virginia". Se diseñó un muestreo al azar de hojas (órganos cosechables), de frecuencia quincenal y en dos establecimientos productivos, ubicados en el departamento El Carmen (Jujuy, Argentina), durante las campañas 2012/2013 y 2013/2014. Sobre la base de los muestreos del primer año y aplicando los parámetros calculados de la ecuación de Taylor, se determinó el número mínimo de hojas a muestrear para conseguir errores inferiores o iguales al 20%.

Palabras clave: Trips, tabaco, muestreo.

ABSTRACT

The objective of this study was to adjust the sample size for monitoring thrips population in the cultivation of Nicotiana tabacum L. var. virginica (C. Agardh) Comes "virginia tobacco". A random sampling of leaves (harvestable organs), biweekly frequency and in two tobacco production farms, located in the department of El Carmen (Jujuy, Argentina), during the 2012/2013 and 2013/2014 campaigns. Based on the sampling the first year and the parameters of the Taylor equation calculated, i could determine the minimum number of leaves sampled for less than or equal to 20% errors.

Keywords: Thrips, tobacco, sampling.

¹Cooperativa de tabacaleros de Jujuy Ltda., Departamento Agrotécnico. Urquiza 708, Perico, Jujuy, Argentina (Y4610ZAA), Casilla de correo N.º 15. Correo electrónico: ingrodriguez2002@yahoo.com.ar

²Instituto de Biología de la Altura. Av. Bolivia 1239 (Y4600GNA), S.S. de Jujuy, Argentina. Correo electrónico: mizamar@inbial.unju.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Nicotiana tabacum* L. var. *virginica* (C. Agardh) Comes "tabaco virginia" plantado en el valle de Jujuy se produce desde hace 50 años (Martínez *et al.*, 2010). En la campaña 2014/2015 se plantaron 16.059 ha de tabaco con una producción que alcanzó las 44.503 toneladas (Ministerio de Agroindustria, 2016).

El número de hojas/ha por cosecha determina el rendimiento; por lo tanto el espaciado entre las líneas de plantación, entre plantas y la altura del desflore tienen gran importancia (Hawks Jr. y Collins, 1983).

El cultivo del tabaco es atacado por diversas plagas y enfermedades que pueden ocasionar severos daños a la producción (Castellá *et al.*, 2004). Entre las plagas insectiles, los tisanópteros se destacan por ocasionar daño mecánico, al alimentarse en las zonas próximas a las nervaduras de las hojas, donde provocan pequeñas manchas plateadas, salpicadas de puntos negros (excrementos), pero el mayor perjuicio lo provoca la capacidad de transmitir virosis (Blanchard 1998).

En la Argentina, los últimos relevamientos y la utilización de técnicas serológicas demostraron la presencia de *Groundnut Ring Spot virus* (GRSV) asociado a la presencia de *Frankliniella schultzei* (Trybom) en cultivos hortícolas y tabacaleros del NOA (Ramallo y Ramallo, 2002; De Borbón, 2013). En Jujuy y Salta, estudios locales identificaron la presencia de *Frankliniella schultzei*, *F. gemina* (Bagnall) y *Thrips tabaci* Lindeman en establecimientos productivos de tabaco (Agostini de Manero y Muruaga de L'Argentier, 1987; Gorustovich *et al.*, 1995). En el Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo del tabaco (Massalin Particulares, 2011) se indica que en las provincias mencionadas, los trips causan transmisión de virosis, pero sin indicar las especies responsables de este efecto.

La forma de testear si la abundancia real de trips en el cultivo supera o no aquella aceptable o tolerable para las condiciones de producción es efectuar relevamientos periódicos en el cultivo. En consecuencia, el muestreo juega un papel central y es de gran importancia ajustar un sistema apropiado para determinar el nivel de infestación y auxiliar en las decisiones de manejo de la plaga. El número de unidades a tomar en el muestreo depende del grado de precisión requerido, que es a su vez función del tipo de estudio. Cuando se trata de estudios con fines científicos, el tamaño de muestra apropiado resulta del compromiso entre el objetivo de mantener lo más bajo posible el esfuerzo requerido y la necesidad de tomar un número tal que cumpla satisfactoriamente con los requisitos del método estadístico que se utilizará para el análisis (Carrizo y Klasman, 2002).

Los parámetros de Taylor son el modelo de varianza-media más utilizado para calcular los patrones de dispersión de una plaga y para determinar el tamaño de muestra. Este modelo establece que la varianza es proporcional a una fracción exponencial de la media aritmética de la población (m). Al aplicar logaritmos a la ecuación, el modelo sigue

una relación lineal donde la ordenada al origen depende del tamaño de la unidad de muestreo y la pendiente es un índice de agregación. Carrizo y Klasman (2002) desarrollaron un procedimiento para estimar el tamaño óptimo de muestra en función de la dispersión estadística de la población y de la precisión, esta última definida como una variación relativa del error estándar (EE) de la media. Según Toledo e Infante (2008) en la mayoría de los programas de muestreo, se utiliza una relación EE/m del 10%, 15% y 25%.

El objetivo del presente trabajo fue establecer el tamaño muestral para el seguimiento poblacional de tisanópteros en el cultivo a campo abierto de tabaco virginia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en dos establecimientos tabacaleros ubicados en el departamento de El Carmen, provincia de Jujuy. El primero, llamado San Carlos, estaba ubicado en la localidad de Las Pampitas (24° 25' 21,22"S y 65° 01' 30,98"O), sobre la ruta provincial n.º 53, se cultivaba la variedad K 394, con una superficie total de cultivo de 20 ha y subdividida en dos lotes equivalentes, uno con trasplante realizado durante el mes de agosto o época temprana (SC-TE) y el otro con trasplante en el mes de octubre o época tardía (SC-TA). El segundo, llamado El Ombú, estaba ubicado en la localidad de Santo Domingo (24° 24' 02,07"S y 65° 09' 00,50"O), sobre la ruta provincial n.º 44, se cultivaba la variedad K 394, con una superficie total de cultivo de 20 ha y subdividida en dos lotes equivalentes, uno con trasplante realizado durante el mes de agosto o época temprana (EO-TE) y el otro con trasplante en el mes de octubre o época tardía (EO-TA).

El calendario de labores y manejo fue similar en ambos establecimientos, las aplicaciones de productos fitosanitarios para control de trips se realizaron según detalle en tabla 1.

Tratamiento	Establecimiento	Época de trasplante	Superficie
1 (SC-TE)	San Carlos	Temprano	10 ha
2 (SC-TA)	San Carlos	Tardío	10 ha
3 (EO-TE)	El Ombú	Temprano	10 ha
4 (EO-TA)	El Ombú	Tardío	10 ha

Tabla 1. Calendario de aplicaciones fitosanitarias en los establecimientos San Carlos y El Ombú para las campañas 2012/2013 y 2013/2014.

Muestreo y análisis de los datos obtenidos

La hoja fue elegida como unidad muestral dada su importancia en el rendimiento del cultivo.

En el primer año el número de repeticiones fue de 30 por lote. Los muestreos se realizaron quincenalmente desde el

trasplante hasta el final de la cosecha del cultivo de tabaco, desde agosto/2012 a marzo/2013. Se consideró que las plantas eran homogéneas y que los trips no tendrían preferencia alimenticia por la ubicación y tamaño de las hojas en la planta. Por ello, la distribución de los puntos de muestreo fue al azar y en zig-zag dentro de la plantación. Se seleccionaba aleatoriamente una hoja por planta, esta se introducía con cuidado (para no disturbar a los posibles trips presentes) en una bolsa de polietileno de tamaño adecuado que contenía una hoja de papel de color blanco y luego se cortaba por el pecíolo con un cuchillo. Todo el material recolectado y etiquetado se trasladó en conservadoras refrigeradas al Laboratorio de Sanidad de la Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy.

Las muestras fueron revisadas bajo microscopio estereoscópico (marca Labklass, modelo 217 T), con aumentos dados por oculares de 10x, 20x y objetivos de 5x. Los tisanópteros (larvas y adultos) que se extrajeron con un pincel fino fueron contados y acondicionados en frascos etiquetados conteniendo AGA (alcohol 70%: 8 partes, glicerina: 1 parte, ácido acético glacial: 1 parte) como conservante.

Para calcular el error muestral ocurrido durante el primer año de muestreo y para estimar la cantidad mínima de hojas a extraer para cometer un error de muestreo que sea igual o no supere el 20% durante el segundo año de trabajo, se procedió al cálculo de los parámetros de Taylor mediante regresión y utilizando los registros de adultos más larvas por hoja (media y varianza por cada momento de muestreo) del primer año de muestreo, a partir de la ecuación:

$$\text{Log}_{10} S^2 = b \times \text{log}_{10} m + \text{log}_{10} a \quad (a)$$

donde, S^2 : varianza; m : media; a y b : parámetros de Taylor. Estos coeficientes fueron posteriormente utilizados

para hallar el número de muestras mediante la ecuación de Ruesink (Carrizo y Klasman, 2002),

$$N = \frac{a \times m (b - 2)}{EE^2} \quad (b)$$

donde, N : número de muestras, m : media y EE : error estándar para la media.

A su vez de la ecuación de Ruesink se despejó EE para calcular el error muestral para cada momento de muestreo.

En el segundo año, y a partir de los resultados obtenidos en el primer año calculando N de la ecuación (b) para obtener un EE menor al 20%, el número de repeticiones fue de 240 para los dos primeros muestreos (30 días posteriores al trasplante) y para los dos últimos muestreos (30 días antes al fin de cosecha); en las fechas intermedias (desde el día 45 posttrasplante hasta 45 días antes del fin de cosecha) el número de repeticiones fue de 80. Los muestreos se realizaron quincenalmente desde el trasplante hasta el final de la cosecha del cultivo de tabaco, desde agosto/2013 a marzo/2014.

Los datos del segundo año se analizaron nuevamente despejando EE de la ecuación (b), con el objetivo de estimar EE para cada fecha de muestreo y corroborar que el ajuste de muestreo decidido en el primer año fue el correcto.

RESULTADOS

Primer año (campaña 2012/2013)

Según el ajuste de Taylor el valor de b fue de 1,16 lo cual denota un patrón de distribución agregado (figura 1).

En el lote SC-TE, solo cinco fechas de muestreo tuvieron errores aceptables menores al 20% mientras que en el

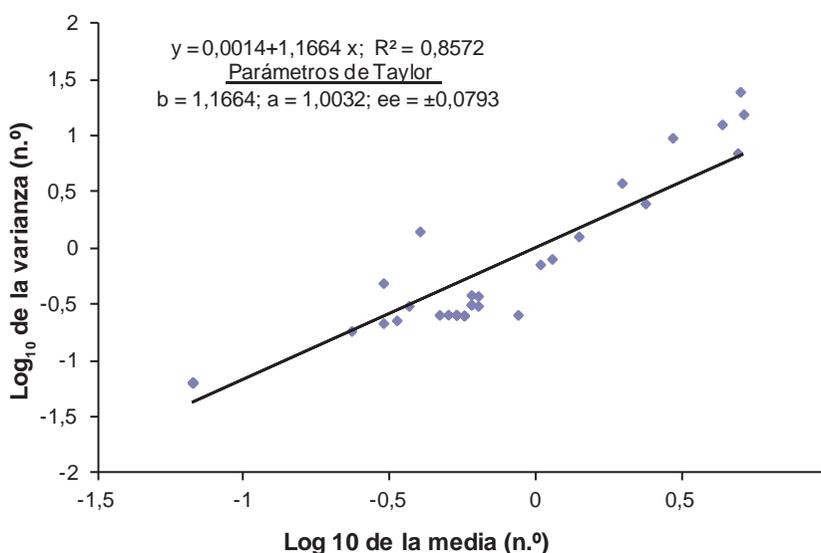


Figura 1. Ajuste de Taylor para la sumatoria de los registros de adultos y larvas de trips en hojas, considerando todos los lotes de tabaco, campaña 2012-2013.

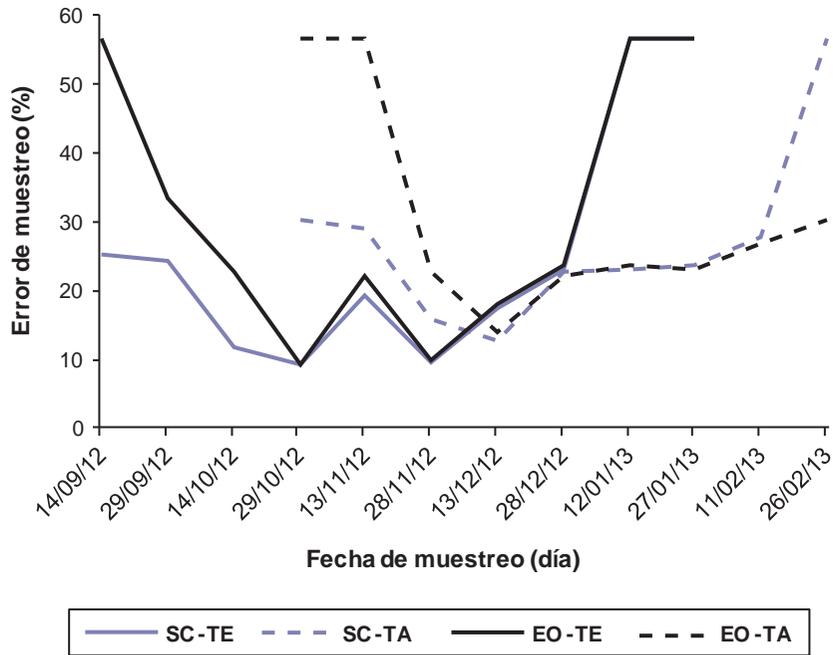


Figura 2. Error de muestreo para la campaña 2012-2013 según la ecuación de Ruesink.

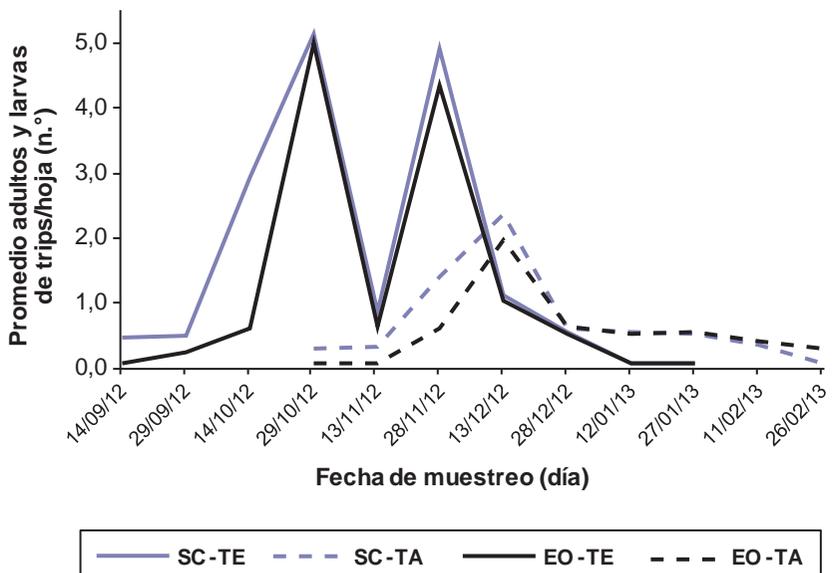


Figura 3. Promedio del número de trips (adultos+larvas)/hoja para cada fecha de muestreo y para cada lote de tabaco. Campaña 2012-2013.

lote SC-TA solo dos. Para el lote EO-TE solo tres fechas de muestreos presentaron errores aceptables en la época temprana y en el lote EO-TA solo una fecha (figura 2).

En la figura 3 se presenta la variación de los promedios de trips (adultos+larvas)/hoja para cada fecha de muestreo y lote de cultivo. En los momentos iniciales del cultivo (primeros 30 días posttrasplante) y en las etapas finales de cosecha (últimos 30 días) se observaron bajas densidades de

trips/hoja; la menor abundancia justificaba mayor tamaño muestral con el fin de disminuir el *EE*. Para detectar densidades de individuos/planta cercanos a 1,07 trips (promedio total para los cuatro lotes) se determinó que el tamaño de muestra necesario para lograr *EE* menores al 15% era de 80 hojas. La densidad más baja fue de 0,07 trips/hoja (figura 3), por lo cual con 240 unidades muestrales se conseguirían errores del 20% según la curva de la figura 4.

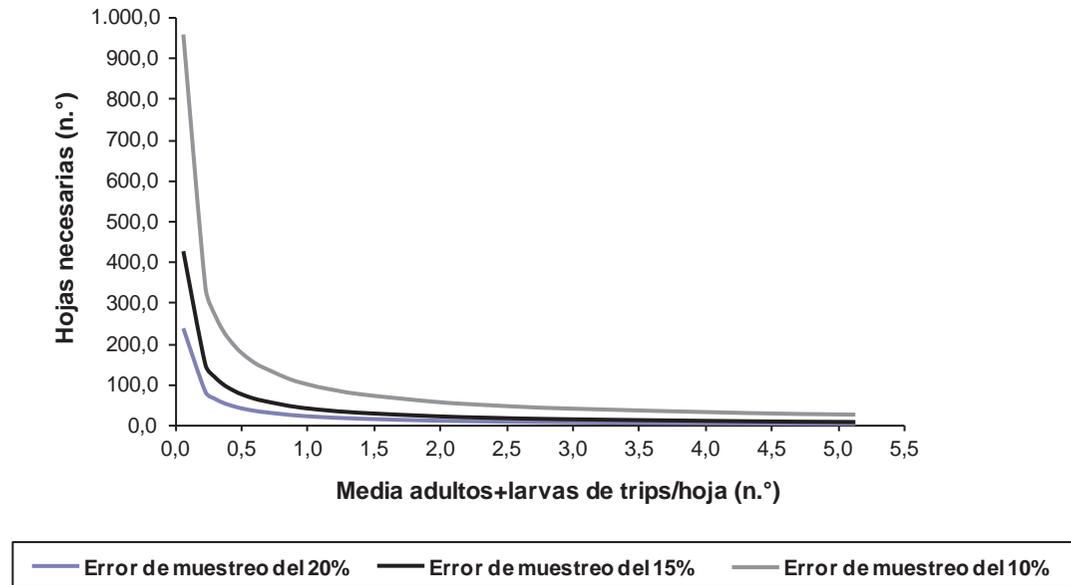


Figura 4. Número de hojas de tabaco necesarias para detectar adultos más larvas en el muestreo, para tres niveles de error de la media (10%, 15% y 20% respectivamente para curvas superior, media e inferior). Campaña 2012-2013.

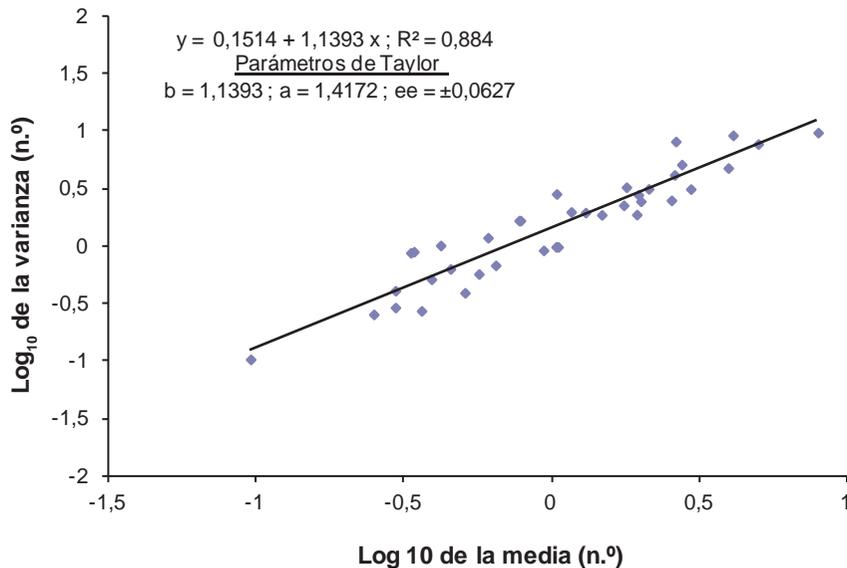


Figura 5. Ajuste de Taylor para la sumatoria de los registros de adultos y larvas en hojas, considerando todos los lotes de tabaco, campaña 2013-2014.

Por ello, para el segundo año (campaña 2013/2014), se decidió extraer 240 hojas en las dos primeras y últimas fechas de muestreo (las de mayor error de muestreo) y en las restantes fechas 80 hojas. De esta manera el error de muestreo sería igual o menor al 20% cualquiera sea el momento considerado figura 4).

Segundo año (campaña 2013/2014)

El ajuste del tamaño de la muestra de hojas de tabaco aplicado en el segundo año de trabajo se muestra en la figura 5, los parámetros de Taylor indicaron un valor de b de 1,13 lo cual evidenció un patrón de distribución agregado (al igual que en el año anterior). En la figura 6 se observa

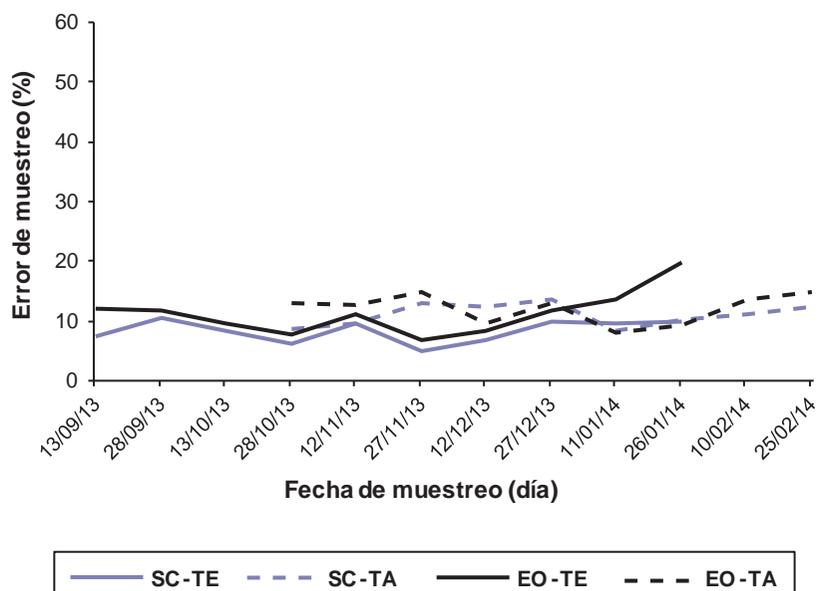


Figura 6. Error de muestreo para la campaña 2013-2014 según la ecuación de Ruesink.

que todos los muestreos tuvieron errores menores al 20%, empleando un $n = 240$ para los dos primeros y últimos muestreos y luego en los muestreos intermedios un $n = 80$.

DISCUSIÓN

La intensidad de muestreo ensayada en el segundo año fue adecuada para las condiciones del estudio. En los primeros 30 días postrasplante (plantas pequeñas y reducido número de hojas) y en los últimos 30 días de cosecha (plantas con pocas hojas grandes y senescentes), al reducirse la abundancia de trips/hoja fue necesario aumentar el número de muestras a 280 hojas/lote; en las etapas intermedias de cultivo (asociadas al crecimiento vegetativo, floración e inicio de cosecha) un muestreo de 80 hojas/lote fue suficiente para obtener *EE* inferiores al 20%.

Otros autores también encontraron variaciones en el número de muestras según el *EE* considerado, momento fenológico estudiado, cultivo observado, etc. Carrizo y Klasman (2002) estudiaron las fluctuaciones de las poblaciones de *F. occidentalis* en clavel bajo invernadero y determinaron que para un error de muestreo del 10% (nivel aceptable para condiciones de campo) sería necesario tomar cerca de 150 flores para detectar un adulto, y más de 500 flores para detectar una larva. Luego de analizar la inviabilidad práctica de este muestreo concluyeron que para un error entre el 15% y 25% sería suficiente tomar 70 y 30 flores respectivamente, lo cual reduciría considerablemente el tiempo necesario para el muestreo y recuento. Cabrera *et al.* (2005) muestrearon *Thrips palmi* Karny en papa y determinaron que para un error de muestreo del 24% el número de unidades muestrales debería oscilar entre 91 y 25 según el momento fenológico. Suris *et al.* (2004), eva-

luando *T. palmi* en el cultivo de papa, encontraron que para un error del 25% en los momentos de menor densidad de trips, la muestra mínima de hojas debería acercarse a los 100 foliolos, a medida que la población incrementaba, una muestra con 50 a 64 foliolos resultaba confiable.

Los valores de *b* encontrados, tanto en el primer como segundo año (1,166 1,139 respectivamente), demostraron un patrón de distribución agregado de los trips sobre hojas de tabaco, coincidiendo con lo informado para estos insectos en otros cultivos. Cabrera *et al.* (2005) muestrearon *T. palmi* en papa y determinaron valores de *b* de 1,43 para las larvas y de 1,20 para los adultos, indicando un patrón agregado. Osorio y Cardona (2003) obtuvieron valores semejantes para *T. palmi* en hojas de *Phaseolus vulgaris* L. (1,40 para las larvas y 1,53 para adultos). Perotti *et al.* (2011) encontraron que *F. schultzei* presenta también distribución agregada en hojas de soja con valores de *b* de 1,26 y 1,35 en dos campañas diferentes.

Waiganjo *et al.* (2008) estudiando la abundancia de trips en hojas de cebolla encontraron que en las trampas adhesivas el número de trips recolectado era aproximadamente ocho veces mayor en comparación con los niveles de infestación registrados al muestrear una planta entera, dando una indicación exagerada de la infestación en las plantas. Los trips fueron probablemente atraídos por la planta de cebolla, pero solo unos pocos colonizaron la planta de cebolla y completaron su ciclo sobre ella. Este hallazgo confirma que las trampas pegajosas son mejores indicadores de actividad que de la densidad de la población sobre el órgano de la planta muestreado. Por ello, se estima que si bien la practicidad de muestrear las hojas de tabaco aleatoriamente es baja, los resultados son más seguros y por ello sería más recomendable realizarlo de esta manera.

Un componente muy importante en el desarrollo de un plan de muestreo consiste en determinar el número de unidades de muestra, ya que solo así se puede satisfacer los objetivos del muestreo y la precisión deseada. A mayor precisión mayor número de muestras y mayor costo (Toledo e Infante, 2008).

CONCLUSIÓN

El tamaño muestral con un *EE* igual o menor al 20%, para el seguimiento poblacional de tisanópteros en el cultivo de tabaco virginia a campo abierto y en las condiciones del estudio, fue de 280 hojas/lote en las etapas culturales iniciales y finales del cultivo, en las etapas intermedias fueron suficientes 80 hojas/lote.

BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINI DE MANERO, E.; MURUAGA DE L'ARGENTIER, S. 1987. Aphididae y Thripidae perjudiciales al cultivo de lenteja en la Prov. de Jujuy. CIRPON, Rev. de Invest. 5 (1-4): 17-26.
- BLANCHARD, D. 1998. Maladies du Tabac. Institut National de la Recherche Agronomique. París, Francia, 376 p.
- CABRERA, A.C.; SURIS, M.C.; GUERRA, W.B.; NICÓ, D.E.E. 2005. Muestreo secuencial con niveles fijos de precisión para *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en papa. Rev. Colomb. Entomol. vol. 31 n.º 1: 37-42.
- CARRIZO, P.I.; KLASMAN, R. 2002. Muestreo para el seguimiento poblacional de *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1985) (Thysanoptera: Thripidae) en cultivos de *Dianthus caryophyllus* (Cariophyllaceae) en invernadero. Entomotropica 17(1): 7-14.
- CASTELLÁ, M.I.; SUEIRO, L.; MACHADO, J.; PÉREZ, J.A.; TORNES, C. 2004. Comportamiento de plagas y enfermedades en el cultivo de tabaco tapado (*Nicotiana tabacum* L.) en la provincia de Granma. Fitosanidad 8 (2): 31-34.
- DE BORBÓN, C. M. 2013. Especies del género *Frankliniella* (Thysanoptera: Thripidae) registradas en la Argentina, una actualización. Rev. FCA UNCUYO, 45(1): 259-284.
- GORUSTOVICH, M.A.; OTERO, C.; BATALLANOS, D. 1995. Plagas en Tabaco. Revista AgroVisión, III (10): 34-38.
- HAWKS Jr., S.N.; COLLINS, W.K. 1983. Principles of flue-cured tobacco production. Raleigh, NC, EUA, 408 p.
- MARTÍNEZ, R.G.; GOLOVANEVSKY, L.; MEDINA, F. 2010. Economía y empleo en Jujuy. CEPAL, Santiago de Chile, Chile, 108 p.
- MASSALIN PARTICULARES S.A. 2011. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de Tabaco Virginia. Philip Morris International, Salta, Argentina. 138 p.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2016. Evolución de la producción primaria de tabaco (1986/1987-2014/2015). (http://www.minagri.gov.ar/site/agricultura/tabaco/02=produccion_y_mercados/01-interno/produccion/evolucion2014.pdf, verificado el 06 de marzo de 2016).
- OSORIO, J.; CARDONA, C. 2003. Fenología, fluctuación de poblaciones y métodos de muestreo para *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en habichuela y frijol. Revista Colombiana de Entomología 29 (1): 43-49.
- PEROTTI, E.R.; GAMUNDI, J.C.; TRUMPER, E.V. 2011. Patrón de distribución muestral desarrollo de un protocolo de muestreo secuencial para estimación de abundancia de *Frankliniella schultzei* (Trybom) en soja. Revista para mejorar la producción n.º 46: 125-128.
- RAMALLO, A.C.; RAMALLO, J.C. 2002. Presencia de GRSV (*Groundnut ringspot tospovirus*) en cultivos de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) en Tucumán. En: Cultivos Industriales: avances, Ediciones INTA. Tucumán, Argentina. 91 p.
- SURIS, M.; PLANA, L.; CABRERA, A. 2004. Diseño de un método de muestreo para *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo de la papa. Revista de Protección Vegetal 19 (1): 41-44.
- TOLEDO, J.; INFANTE, F. 2008. Manejo integrado de plagas. Ediciones Trillas, México, 327 p.
- WAIGANJO, M.M.; GITONGA, L.M.; MUEKE, J.M. 2008. Effects of weather on thrips population dynamics and its implications on the thrips pest management. African Journal Horticultural Sciences 1:82-90.

Beneficio del progreso genético en ovinos de la Argentina

MUELLER, J.P.¹; VOZZI, P.A.²; GIOVANNINI, N.³; ÁLVAREZ, J.M.⁴

RESUMEN

Se analizó el beneficio económico del mejoramiento genético observado en plantales de las razas Merino Astado, Corriedale e Ideal que utilizan el servicio de evaluación genética Provino en Argentina. Con estadísticos poblacionales y parámetros reproductivos de sistemas de producción de referencia de cada raza se calculó el número de corderos descendientes de carneros producidos en los plantales. Usando metodologías de flujo génico se calcularon las expresiones genéticas de cada cordero a través de su vida útil y de la de sus descendientes. El beneficio de 10 años de mejora genética en los plantales, acumulado por 20 años en las majadas comerciales, y descontado a una tasa del 5% anual, resultó ser de 7,70, 0,93 y 0,12 millones de USD para las poblaciones Merino Astado, Corriedale e Ideal, respectivamente. Para las dos primeras razas se consideró una estructura de tres estratos y para la raza Ideal de dos estratos. Los análisis de sensibilidad indicaron que hay amplio margen para aumentar el beneficio económico en la cadena de valor ovina a través del mejoramiento genético en la Argentina. Para ello se deberían alentar políticas de promoción tanto del mejoramiento genético a nivel de los plantales como del aprovechamiento de carneros mejoradores.

Palabras clave: selección, estructura genética, Merino, Corriedale, Ideal, Provino.

ABSTRACT

The economic benefit of genetic improvement observed in stud flocks of the Horned Merino, Corriedale and Polwarth breeds using Provino, the Argentinean sheep genetic evaluation service, was analysed. With population statistics and reproduction parameters estimated from reference production systems of each breed, the number of stud ram progeny was calculated. Using gene flow methodology, genetic expressions were calculated for each lamb throughout his life and that of its descendants. The benefit of 10 years of genetic improvement in the stud flocks accumulated over 20 years in the general flocks and discounted at an annual rate of 5% turned out to be 7.70, 0.93 and 0.12 million USD for the Horned Merino, Corriedale and Polwarth populations, respectively. For the first two breeds a three tier structure was modelled and for the Polwarth breed a two tier structure was modelled. Sensitivity analysis indicated an ample scope to increase the economic benefit of genetic improvement in Argentina. Promotion policies for further genetic improvement in the stud flocks and increased dissemination of rams should be encouraged.

Keywords: selection, genetic structure, Merino, Corriedale, Polwarth, Provino.

¹INTA EEA Bariloche. Modesta Victoria 4450, San Carlos de Bariloche, (8400) Río Negro, Argentina.

Correo electrónico: mueller.joaquin@inta.gob.ar

²INTA EEA Chubut. 25 de Mayo 4870, Trelew, (9100) Chubut, Argentina. Correo electrónico: vozzi.alejandro@inta.gob.ar

³INTA EEA Bariloche. Modesta Victoria 4450, San Carlos de Bariloche, (8400) Río Negro, Argentina.

Correo electrónico: giovannini.nicolas@inta.gob.ar

⁴INTA EEA Valle Inferior. Ruta Nacional 3 km 971, Viedma, (8500) Río Negro, Argentina. Correo electrónico: alvarez.juan@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético del ganado doméstico permite a sus productores aumentar ingresos y eventualmente reducir costos. En el caso de poblaciones estructuradas, como lo son los ovinos en la Argentina, el mejoramiento genético depende de unos pocos plantales que producen reproductores genéticamente superiores que luego diseminan las diferencias genéticas a majadas generales propias o de clientes. El potencial genético de producción de toda la población depende entonces de la efectividad del trabajo de selección en los plantales. En la Argentina varios plantales aprovechan el servicio nacional de evaluación genética de ovinos Provino para obtener estimaciones de mérito genético que se utilizan luego en el proceso de selección (Giovannini *et al.*, 2015). Provino, en su versión "Avanzado", utiliza una metodología de predicción del mérito genético basada en modelos estadísticos mixtos que permiten comparar animales nacidos en diferentes años y plantales, por lo que también permiten el monitoreo del progreso genético en la población evaluada. Provino Avanzado es utilizado por plantales de las principales razas de ovinos desde hace varios años por lo que se conocen sus tasas de progreso genético (Provino, 2015).

La mejora genética en caracteres de importancia económica se traduce en ingresos económicos adicionales que se diseminan en toda la población que recibe genes de los plantales. El aporte económico producto del flujo de genes en la población puede ser muy importante (Amer *et al.*, 2007; Banks, 2000). En este trabajo se revisaron los progresos genéticos logrados en características de interés económico en los plantales de tres razas de ovinos en la Argentina (Merino, Corriedale e Ideal), se les adjudicó un valor económico y se estimó el beneficio económico del mejoramiento genético para la población comercial de esas razas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo analítico

A los fines de convertir cambios genéticos en beneficios económicos es necesario hacer el seguimiento de los genes mejorados en la población cuantificando su dispersión en el tiempo. Hill (1974) y Elsen y Mocquot (1974) desarrollaron una metodología recursiva para describir el flujo de genes (gene flow) en el tiempo. La metodología facilita el análisis del progreso genético en poblaciones de generaciones superpuestas y su evaluación económica. FAO (2010) presentó un ejemplo de análisis del beneficio del mejoramiento genético en un sistema estructurado basado en hojas de cálculo. Amer *et al.* (2007) desarrollaron un modelo parametrizado que permite describir el flujo de genes en poblaciones estructuradas de ovinos y bovinos y lo aplicaron a caracteres de expresión directa y materna. Aquí se reduce el modelo de Amer *et al.* (2007) al caso de ovinos y se adapta para incluir caracteres de expresión repetida, como aquellos relacionados con esquilas anuales. Los símbolos de los parámetros usados en el modelo se eligieron para ser consistentes con los símbolos usados por Amer *et al.* (2007).

- **Progenie de carneros mejoradores:** se supone una población de ovejas correspondiente al conjunto de plantales de una raza que produce carneros mejoradores que son utilizados en majadas comerciales o "generales". La cantidad de corderos con genes de esos carneros puede modelarse suponiendo que hay un total de c ovejas en los plantales y que a partir de cada oveja se producen y venden b carneros por año. Luego, cada uno de esos carneros es usado en majadas generales por u años con una probabilidad constante de sobrevivencia de año a año de λ . En cada año, cada carnero sirve a f ovejas que producen en promedio p corderos por año cada una. Entonces, el número de corderos que nacen en el año sucesivo k de los u años de uso de los carneros mejoradores es $O_k = c \times b \times \lambda^{k-1} \times f \times p$ para $0 < k \leq u$.

- **Expresión de la superioridad genética:** un cordero hijo de un carnero mejorador expresará la superioridad genética de su padre y la transmitirá a su propia descendencia si eventualmente pasa a formar parte de la población reproductiva. La expresión genética (ya sea la propia del cordero o la de su descendencia) puede dividirse en una componente "directa" y otra "adulta". Una expresión directa es, por ejemplo, el peso al destete y una expresión adulta es, por ejemplo, un peso de vellón o un parto. Se denomina $d_{i,j}$ a las expresiones genéticas directas y $m_{i,j}$ a las expresiones genéticas adultas de un cordero y las expresiones de sus descendientes en sucesivas generaciones j . El cordero hijo de un carnero mejorador nace en el año 0 y se vende al destete en el año 1 o se mantiene hasta cumplir su vida útil. Entonces, el cordero hijo de un carnero mejorador expresa la mitad de los genes de este en forma directa al destete solo en el año 1 ($i = 1$), tal que $d_{1,1} = 1/2$, y el resto de la columna de expresiones directas a través del tiempo queda en cero, es decir $d_{i,1} = 0$ para $i > 1$. Si el cordero no es faenado, expresa genes como adulto a través de los años tal que $m_{i,1} = d_{i,1} \times w_k$ donde w_k es la probabilidad de ese cordero de expresarse en el año k después de nacido. Expresiones de la descendencia de ese cordero se presentan como generación 2 ($j = 2$) y así sucesivamente. En general, $m_{i,j} = \sum d_{i+1-k,j} \times w_k$ donde la sumatoria es para $k = 1$ a i . A partir de la expresión de genes adultos es posible calcular en forma recursiva la expresión de genes directos en la próxima camada, tal que $d_{i+1,j} = m_{i,j-1} \times 1/2 \times p$ para $j > 1$, donde x es el número de años entre nacimiento y primer servicio (o primer parto, $x = 2$ en sistemas ovinos típicos). El factor $1/2$ expresa la proporción de genes pasados a la progenie.

La suma de expresiones (a través de j generaciones) de los genes de un carnero mejorador a través de los años (i) puede ser calculada como $\sum d_i = \sum d_{i,j}$ para rasgos directos y como $\sum m_i = \sum m_{i,j}$ para rasgos adultos, con sumatorias que van de $j = 1$ a j_{max} , donde j_{max} es el máximo número de generaciones sobre las cuales se cuentan expresiones. Como a la cuarta o quinta generación, las expresiones del cordero inicial se tornan insignificantes, en este trabajo se fijó $j_{max} = 5$.

- **Expresiones genéticas en estratos adicionales:** hasta aquí se ha modelado una estructura de dos estratos:

planteles y majadas generales. Los establecimientos comerciales medianos suelen tener planteles multiplicadores para producir sus carneros y eventualmente vender excedentes. Los establecimientos comerciales grandes suelen tener los tres estratos: planteles, multiplicadores y majadas generales. La modelación del flujo génico con un estrato adicional es sencilla. Corderos que nacen en el estrato adicional expresan la mitad de los genes de los carneros producidos en el estrato multiplicador ($d_{1,1} = 0,25$). Si la cantidad de carneros producidos por oveja multiplicadora (b), su sobrevivencia (λ) y la cantidad de ovejas servidas por cada uno (f) es similar a los parámetros de referencia usados en el estrato superior de planteles, entonces la cantidad de carneros multiplicadores producidos en los u años de uso de cada carnero mejorador es $c \times b^2 \times \sum \lambda^{k-1} \times f$ con sumatoria que va de $k = 1$ a u .

- **Incorporación de tendencia genética:** se supone que s_i es la superioridad genética en términos económicos por rasgos expresados en la faena (en forma directa) de un cordero nacido en el año i respecto al valor económico en el año $i - 1$. Se supone también que a_i es la superioridad genética en términos económicos para rasgos de expresión en adultos (o en forma materna). Se define T como el número de años que dura el programa de mejora genética y H el número de años que se van a considerar en la evaluación del impacto del programa de mejoramiento, tal que $T \leq H$. Entonces, el progreso genético directo acumulado en el año i del período de análisis ($i = 1$ a H) es $y_i = \sum s_j$ y el adulto acumulado $z_i = \sum a_j$ con sumatorias que van de $j = 1$ a i para $i = 1$ a T . Si $T < H$, $y_i = y_T$ y $z_i = z_T$ para i de $T+1$ a H .
- **Beneficio económico total descontado:** el beneficio económico del progreso genético $e_{i,j}$, donde i es el año en que se realiza el primer apareamiento de carneros mejoradores y j es el año en que se materializan los beneficios de ese apareamiento en la majada general, se obtiene como $e_{i,j} = \sum O_k (y_{i-k+1} \times \sum d_{j+i-1} + z_{i-k+1} \times \sum m_{j+i-1})$ con sumatoria para $k = 1$ a i y $j \geq i$. Si $k > u$, $O_k = 0$. Sumando los beneficios económicos de todos los años ($i = 1$ a H) como $v_j = \sum e_{i,j}$ y luego actualizando esos valores multiplicando con el factor de actualización $q_j = (1/(1 + r))^{j+1}$, donde r es

la tasa de descuento, se obtiene el beneficio total descontado como $\epsilon = \sum q_j v_j$ con sumatoria para $j = 1$ a H .

Para el análisis de estructuras de dos estratos, el beneficio se realiza a partir del año 1, considerando que en el año 0 se realiza el apareamiento de ovejas comerciales con carneros que las majadas comerciales compran con un costo de oportunidad. Para el análisis de estructuras de tres estratos se considera que los primeros carneros multiplicadores tendrán su primera progenie al segundo año de nacidos, es decir, al año 2 y los primeros ingresos se computan a partir de la venta de corderos en el año 3.

Sistemas analizados

Se analizó el impacto económico de programas de mejoramiento en las razas Merino, Corriedale e Ideal. Las dos primeras son las principales razas de ovinos de la Argentina mientras que la raza Ideal tiene importancia en la región del litoral (Mueller, 2005). La raza Merino se cría en su tipo Astado y Mocho. Aquí consideramos el tipo Astado, que representa el 90% de la raza. A los fines de estimar los parámetros necesarios que permitan calcular el número de descendientes que portan genes de carneros producidos en los planteles con evaluación genética se analizaron las correspondientes bases de datos de registros Provino y se resumieron estadísticos poblacionales típicos que permiten calcular el número de corderos nacidos de carneros mejoradores en cada raza (tabla 1).

El cordero nacido de un carnero mejorador va a expresar la superioridad (o inferioridad) genética adquirida como cordero (a la faena) o como adulto (a través de los años). Para determinar las expresiones de adultos se requiere conocer la probabilidad de ese cordero de estar presente a través de años sucesivos (w_k). En majadas comerciales normalmente solo las hembras son retenidas, y por ello, los valores de w_k se obtienen de la distribución de edades de ovejas y las tasas de reemplazo en majadas comerciales típicas. Estas distribuciones de edades y tasas de reemplazo dependen de la tasa reproductiva, mortandades y vida útil de las ovejas. Para considerar el caso de retención de machos como capones productores de lana habría que

Parámetro	Símbolo	Merino	Corriedale	Ideal
Cantidad de ovejas en planteles Provino Avanzado	c	1500	600	300
Cantidad de carneros que produce cada oveja de plantel	b	0,3	0,25	0,3
Años de uso de los carneros en las majadas comerciales	u	4	4	4
Sobrevivencia de carneros de un servicio a otro	λ	0,9	0,9	0,9
Cantidad de ovejas servidas por carnero	f	30	35	35
Cantidad de corderos (nacidos) por oveja	p	0,75	0,80	0,75
Mortandad anual a partir del primer año	m^2	0,05	0,03	0,03
Cantidad de esquilas de hembras (=servicios +1)	uf	6	7	7

Tabla 1. Parámetros productivos a nivel de plantel y majadas comerciales.

agregar un vector, por ejemplo $c_{i,p}$ que contenga la proporción de capones retenidos por cordero nacido a través de los años de vida. En general, los productores de ovinos no retienen capones o retienen muy pocos. Por ello, ese caso no es considerado en el presente análisis.

A los fines de modelar w_k hay que determinar la distribución de edades. Si m_1 es la mortandad desde nacimiento hasta el primer año y m_2 es la mortandad anual a partir del primer año, entonces el vector w se puede modelar determinando las proporciones de animales en cada categoría de edad como $q_t = 1/\sum (1 - m_2)^t$ con sumatoria de $t = 1$ a uf donde uf es el número de esquilas (= pariciones + 1) de ovejas y $q_0 = q_1(1 + m_1)$. El porcentaje de reemplazos es entonces $re = 2 q_0/p$ y $w_t = q_t \times re$ para t de 1 a uf y $w_0 = 0$. Nótese que si p se define como la cantidad de corderos producidos por oveja al destete (año = 1) entonces m_1 se puede ignorar. En efecto, a los fines del presente estudio, p se define como porcentaje de corderos al destete. En la tabla 1 se incluyen los valores típicos para los parámetros necesarios en el modelo de w_k .

Para las razas Merino y Corriedale se analizaron las estructuras genéticas de tres estratos y para la raza Ideal se analizó una estructura de dos estratos. Para las tres razas se optó por presentar el beneficio económico solamente del estrato de majadas generales.

Se realizaron análisis de sensibilidad sobre los carneros producidos por oveja (b) y las ovejas servidas por carnero

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (kg/año)	0,122	0,027	0,138
Peso de vellón limpio (kg/año)	0,008	0,002	0,002
Diámetro de fibras (μ m/año)	-0,038	-0,049	-0,101
Número corderos destetados (cord/año)	--	0,001	--
Peso adulto (kg/año)	0,282	0,055	0,162

Tabla 2. Progreso genético anual realizado en unidades del rasgo (pendientes en las regresiones de la figura 1).

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (USD/kg)	19,46	19,46	15,20
Peso de vellón limpio (USD/kg)	64,82	39,76	59,71
Diámetro de fibras (USD/ μ m)	-3,51	-2,01	-4,72
Número corderos destetados (USD/cord)	486,53	505,99	364,87
Peso adulto (USD/kg)	5,40	5,40	4,51

Tabla 3. Beneficio (precio – costo) de cambios unitarios.

Fuente: Precios de carne basados en IPCG (2015) del 20 de noviembre de 2015 y precios de lana basados en SiPyM (2015) del 26 de noviembre de 2015. Costos en porcentaje de precios basados en Álvarez *et al.* (2014).

(f) tomando como referencia los valores típicos y calculando el efecto de cantidades menores y mayores. También se analizaron la tasa de sobrevivencia de carneros (λ) y la tasa reproductiva (p) para valores menores y mayores de las referenciales para cada raza.

Caracteres analizados y su progreso genético

Se analizó el progreso genético en peso al destete (PCD) como carácter de expresión directa, y el peso de vellón limpio (PVL), promedio de diámetro de fibras (PDF), peso adulto (PCA) y el número de corderos destetados (NCD)

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (USD/año)	2,37	0,53	2,10
Peso de vellón limpio (USD/año)	0,52	0,08	0,12
Diámetro defibras (USD/año)	0,13	0,10	0,48
Número corderos destetados (USD/año)		0,51	
Peso adulto (USD/año)	1,52	0,30	0,73
Rasgos de expresión directa (USD/año)	2,37	0,53	2,10
Rasgos de expresión adulta o materna (USD/año)	2,18	0,98	1,33

Tabla 4. Progreso genético anual realizado en unidades económicas.

Resultados	Merino	Corriedale	Ideal
Cantidad de ovejas en planteles Provino	1500	600	300
Carneros E1 producidos por año en planteles E1	450	150	90
Carneros E1 x vida útil	1548	516	310
Ovejas E2 apareadas por carneros E1	46427	18055	10833
Corderos E2 producidos por carneros E1	34820	14444	8125
Carneros E2 producidos por ovejas E2	13928	4514	
Carneros E2 x vida útil	47898	15523	
Ovejas E3 apareadas por carneros E2	1436947	543290	
Corderos E3 producidos por carneros E2	1077710	434632	
Beneficio económico acumulado (en miles de USD)	7697	933	120

Tabla 5. Cantidad de animales en mejoramiento genético y beneficio económico acumulado en 20 años por mejora genética en los sistemas de referencia.

Nota: E1, E2 y E3 son los estratos de planteles, multiplicadores y majadas generales, respectivamente.

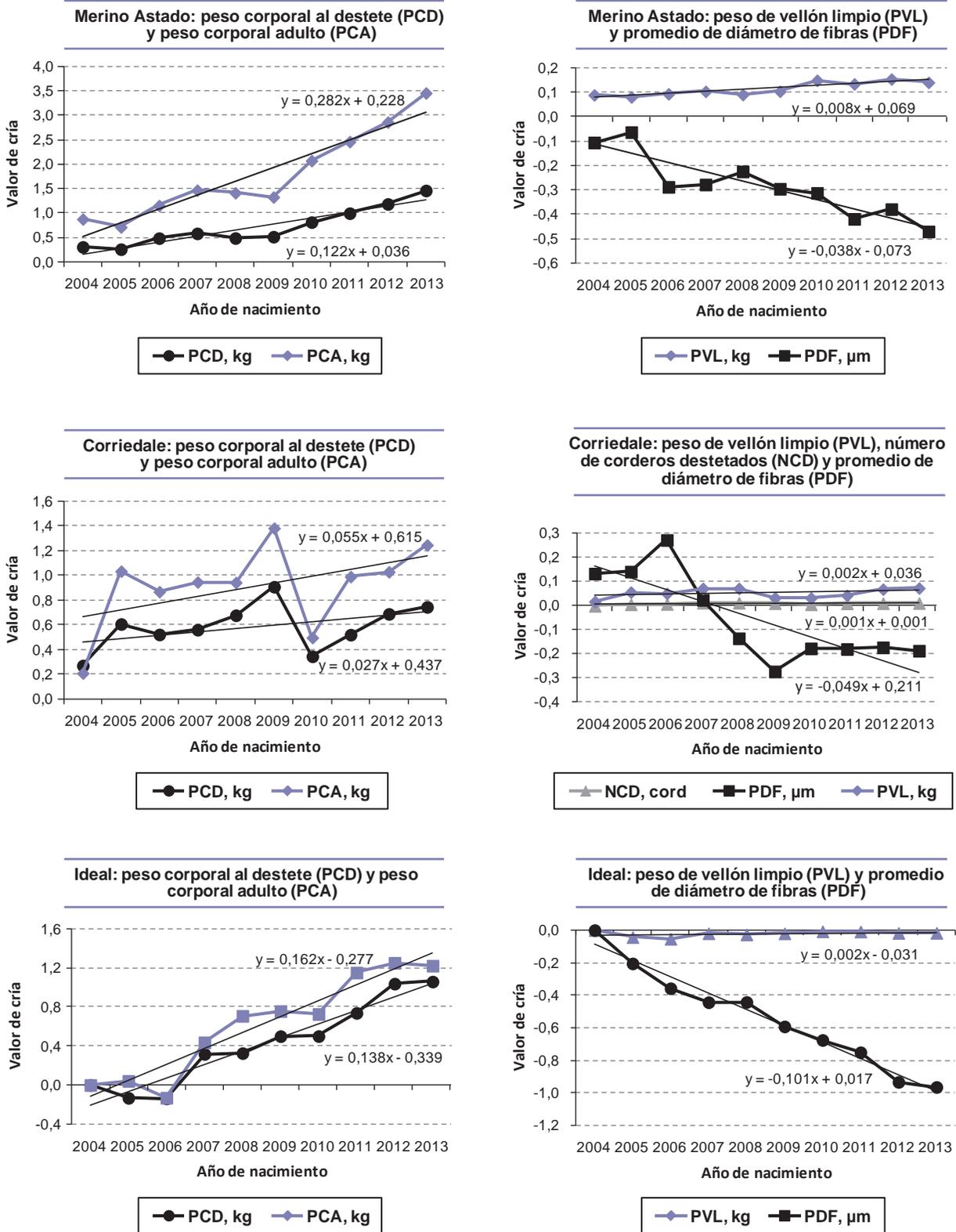


Figura 1. Progreso genético en rasgos de interés económico de tres razas en los últimos diez años (adaptado de Provino, 2015).

como caracteres de expresión adulta. En las razas Merino e Ideal no se consideraron progresos en NCD ya que se trata de una característica de poca importancia en los planes de mejora genética en las respectivas razas y de

las cuales tampoco hay suficiente información de tendencia genética. Los méritos genéticos promedio anuales de los rasgos de interés en las tres razas registradas en los catálogos correspondientes (Provino, 2015) se observan

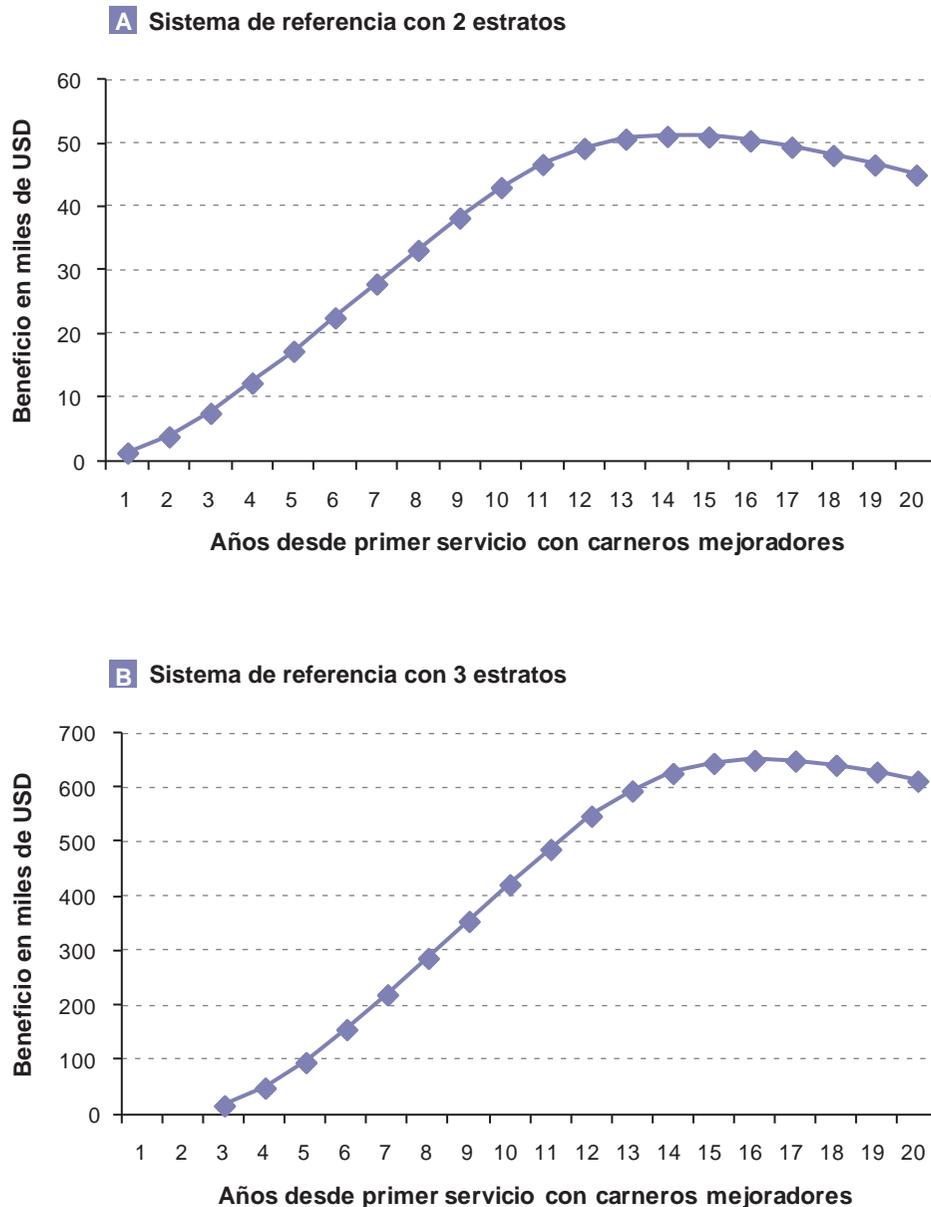


Figura 2. Beneficio anual descontado en el estrato de majadas comerciales de la raza Merino Astado que utiliza carneros del estrato de cabañas Provino Avanzado (A) o de un estrato de MPR multiplicador (B). Parámetros del sistema de referencia: años de mejora = 10, tasa de descuento = 0,05, carneros producidos por madre = 0,3, ovejas servidas por carnero = 30, reproducción = 0,75, sobrevivencia anual de carneros = 0,9.

en la figura 1. A los fines de reflejar las tasas de progreso genético anual promedio se usaron las regresiones lineales de los valores de cría para los últimos 10 años como indicadores de progreso genético anual (tabla 2).

Progreso genético en términos económicos

A fines de determinar el valor económico del progreso genético anual observado en cada rasgo se usaron precios vigentes en noviembre de 2015 y costos de producción publicados por Álvarez *et al.* (2014). Estos costos se aplica-

ron como porcentaje del valor del producto en el año 2014 y ese porcentaje se aplicó luego al año 2015 para llevar los valores monetarios a un mismo nivel de referencia. El resultado obtenido de los precios menos los costos por unidad de cambio en cada rasgo se presenta en la tabla 3. El tipo de cambio utilizado para todos los cálculos fue de 10 pesos por USD. El progreso genético en términos económicos logrado en PCD por cordero y en NCD, PVL, PDF y PCA por oveja adulta se presenta en la tabla 4.

El beneficio económico a nivel de majadas comerciales se evaluó para todas las razas a un horizonte de 20 años

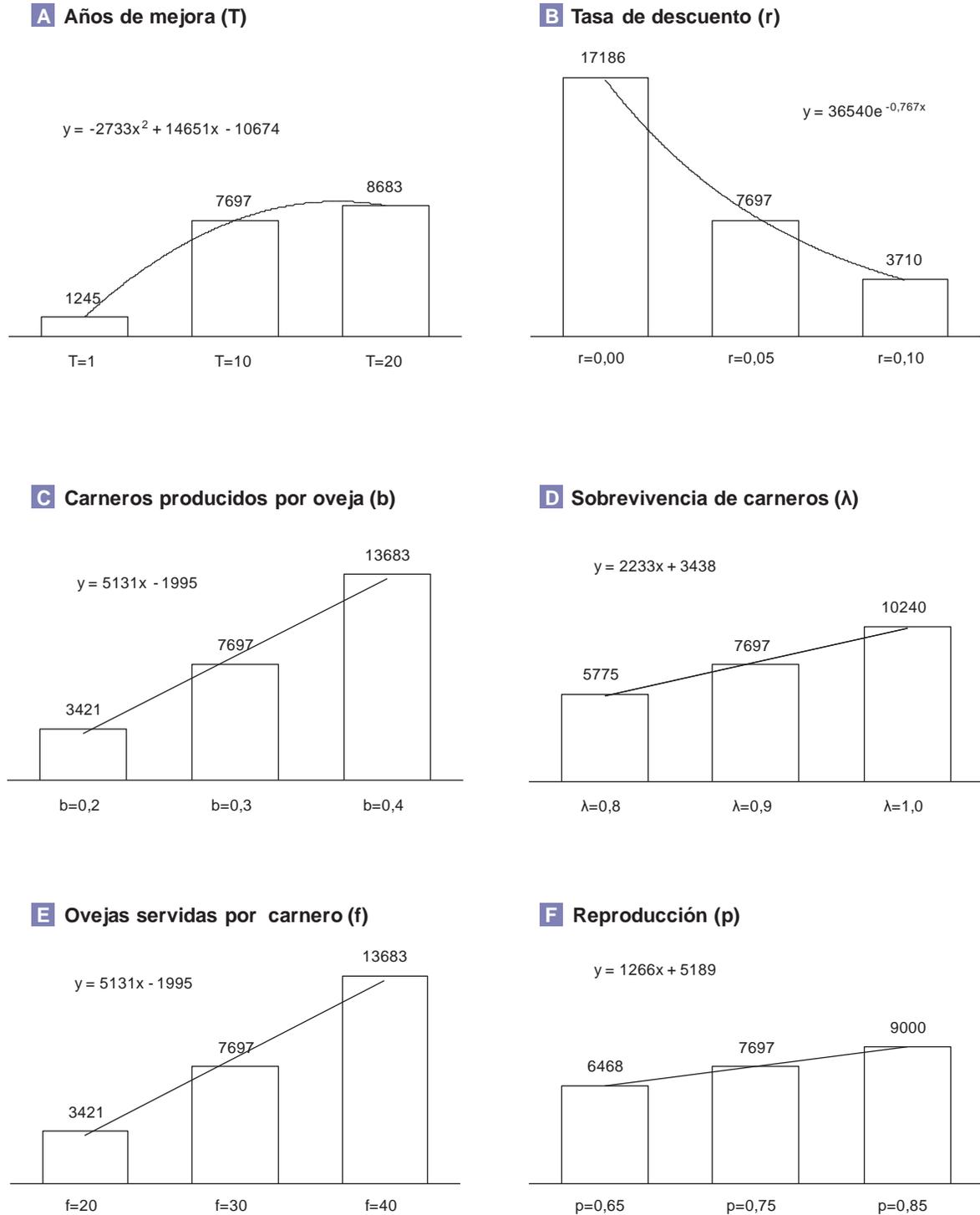


Figura 3. Beneficio descontado y acumulado en 20 años resultante de 10 años de progreso genético realizado en la raza Merino Astado (en miles de USD). Sensibilidad a cambios en los parámetros supuestos en el sistema de referencia: años de mejora = 10, tasa de descuento = 0,05, carneros producidos por madre = 0,3, ovejas servidas por carnero = 30, reproducción = 0,75, sobrevivencia anual de carneros = 0,9.

($H = 20$) considerando el efecto de 10 años de mejoramiento ($T = 10$) y una tasa de descuento del 5% ($r = 0,05$) que se adecúa a programas de interés racial o nacional (Bird y Mitchell, 1980). La sensibilidad de los resultados se analizó

también para programas de mejoramiento de un año ($T = 1$) o veinte años ($T = 20$) y para programas sin descuento ($r = 0,0$) y con un descuento adecuado a programas de interés individual con un mayor costo de oportunidad ($r = 0,1$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Beneficios según raza

Los beneficios descontados acumulados en 20 años (específicamente los años 2004 a 2023) debidos a 10 años (específicamente los años 2004 a 2013) de mejora genética en los planteles resultaron en 7,70 millones de USD para el sistema de referencia de la raza Merino Astado, en 0,93 millones de USD para Corriedale y en 0,12 millones de USD para Ideal (tabla 5). La diferencia del beneficio entre Merino y Corriedale se debe fundamentalmente al tamaño de la población involucrada y a las tasas de progreso alcanzadas en sus planteles. La mayor cantidad de ovejas en los planteles Merino implica una mayor diseminación a mayor cantidad de ovinos en planteles multiplicadores y majadas generales (tabla 5). Las tasas anuales de progreso genético en Merino son mucho mayores que las tasas en Corriedale en todas las características, salvo en PDF en que la diferencia resultó menor (tabla 2). La diferencia del beneficio de la raza Ideal con las otras, aparte de la diferencia en el tamaño de los planteles (tabla 1), se debe fundamentalmente a la estructura de 2 estratos considerada para esta raza. Los carneros producidos por los productores de Ideal agrupados en Cabañas Integradas se usan más que nada en majadas generales. Si esos carneros se usaran en planteles multiplicadores, el progreso se multiplicaría a más majadas y el beneficio en ese estrato alcanzaría aproximadamente a 1,55 millones de USD, proporcionalmente mayor a Merino y Corriedale que tienen más ovejas en planteles, pero menores tasas de progreso que la población de la raza Ideal analizada.

En todo caso, los beneficios económicos del mejoramiento genético son notables. Por ejemplo, el beneficio por oveja de la raza Merino Astado fue de 5,36 USD (7,697 millones de USD/1,437 millones de ovejas, tabla 3), 32% más que el valor de un kg de lana (4,06 USD/kg para lanas Merino parto de 20 μ m de finura y 60% de rinde al peine, SiPyM, 2015). El beneficio calculado también es coherente con análisis similares realizados para poblaciones de ovinos de Australia y Gran Bretaña. Por ejemplo, Greeff (1997) calculó en un millón de dólares australianos el beneficio económico descontado y acumulado en 14 años por un programa de mejora de 40000 ovejas en el oeste de Australia cuyo progreso genético anual promedio en 6 años fue de -0,1 μ m en PDF, 0,04 kg en PVL y 0,26 kg en peso corporal al año. Atkins (1993) estimó que el beneficio de 30 años de mejoramiento genético de ovinos en Australia genera 3500 millones de dólares acumulados. Para los cálculos, Atkins (1993) asumió una tasa anual de progreso de 1 dólar australiano, equivalente a 2,7% de margen bruto anual. Amer *et al.* (2007) estimaron el beneficio de 10 años de mejoramiento genético de ovinos en Gran Bretaña como cercano a 17,8 millones de libras esterlinas.

Para las tres razas se consideró solamente el beneficio en el estrato de las majadas generales. La contabilización del beneficio en los estratos superiores aumentaría el beneficio total un 9%. Se optó por no reportar este beneficio adicional ya que la estructura de ingresos y costos suele

ser diferente en los estratos productores de carneros que en las majadas comerciales. Aunque sencillos de incluir en los análisis, no se contemplaron los costos del mejoramiento genético, pero se puede asumir que son compensados ampliamente con los ingresos adicionales no considerados en los estratos superiores.

Análisis de sensibilidad a los supuestos

Para las tres razas se analizaron los beneficios descontados acumulados en 20 años ($H = 20$) luego de 10 años de mejora genética ($T = 10$). En la figura 2 se observa que en la raza Merino Astado el beneficio alcanza un máximo anual después del final de los años del programa de mejora (años 1 al 10), esto es por el retraso en la manifestación del progreso a través de los estratos y por la multiplicación del número de animales portadores de mejora en la medida en que pasa el tiempo. Luego, progresivamente, el beneficio anual actualizado disminuye por el factor de actualización (q) que se reduce con el tiempo. Resultados adicionales indican que el efecto de la actualización es mucho mayor que el efecto de dilución de genes mejoradores con el tiempo. La reducción del beneficio con el tiempo se observa primero en el estrato multiplicador y luego en el estrato de majadas comerciales (figura 2A y 2B). El beneficio descontado acumulado además depende en forma cuadrática de los años de mejora genética modelada (figura 3A), en cambio, la tasa de descuento tiene un efecto exponencial sobre el beneficio (figura 3B).

Aparte del tamaño de población involucrada, el número de estratos considerados, la tasa de progreso anual, el número de años de mejora genética y la tasa de descuento, el beneficio depende de los parámetros de los sistemas de producción de referencia. Varios de los parámetros supuestos modifican linealmente los resultados. Por ejemplo, la cantidad de carneros producidos por madre en los estratos superiores (figura 3C), la sobrevivencia de esos carneros (figura 3D), la cantidad de ovejas servidas por carnero (figura 3E) y la tasa reproductiva (figura 3F). Así por ejemplo, la reducción del número de carneros producidos por madre (b) de 0,3 a 0,2 reduce el beneficio en forma equivalente a la reducción del número de ovejas servidas por carnero (f) de 30 a 20.

Los modelos de referencia suponen servicio natural. En el sistema de referencia con Merino Astado cada carnero mejorador es usado anualmente sobre 30 ovejas ($f = 30$), pero al menos algunos carneros podrían ser usados en programas de inseminación artificial (IA) con semen fresco. Si por ejemplo un 5% de los carneros nacidos en el estrato superior y en el estrato multiplicador se usan en IA sirviendo 300 ovejas cada uno ($f = 300$), el 95% restante se usa en servicio natural ($f = 30$) entonces el promedio de servicios por carnero sube a 43,5 (f promedio ponderado = 43,5), el número de corderos con genes de carneros mejoradores aumenta de 1,1 millones a 2,3 millones y el beneficio acumulado descontado en las majadas generales aumenta a más del doble. Es más probable que la IA se aproveche para usar menos carneros, pero genéticamente

superiores que para aumentar el número de corderos. En ese caso, la tasa de progreso utilizada en los modelos aplicados debe ser incrementada en función de los incrementos en los diferenciales de selección alcanzados.

Progreso genético y su diseminación

El beneficio se calculó sobre el progreso genético registrado en los planteles que utilizan Provino Avanzado. De los 27 planteles activos de la raza Merino Astado, solo 5 participan de la evaluación poblacional Provino Avanzado, aunque estos 5 planteles proveen el 48% de carneros a multiplicadores (445 de 924, base de datos AACM, nacimientos 2014, Epper, C.E., comunicación personal). No se puede inferir el progreso genético de los planteles Merino que no participan de Provino Avanzado. En el supuesto que estos planteles tuviesen el mismo progreso genético, el beneficio calculado y los ovinos mejorados se incrementarían proporcionalmente. Es decir, que el beneficio total sería casi el doble de los 7,70 millones de USD calculados para la población participante de Provino Avanzado.

Cabe señalar que la cantidad de ovejas Merino Astado de majada general que resultan del modelado del sistema de referencia (1,44 millones, tabla 3) es aproximadamente el 46% de las ovejas Merino Astado del país, suponiendo que todas las ovejas de Río Negro y Chubut y la mitad de las ovejas de Santa Cruz (SENASA, 2015) son Merino y 90% de ellas son del tipo Astado. Si toda la población Merino de Argentina tiene vinculación genética con los planteles, entonces el 46% es consistente con el 48% de carneros provistos por los planteles que utilizan Provino Avanzado.

El progreso genético registrado en los planteles se calculó usando la metodología habitual de predicción de valores de cría por año de nacimiento. La metodología depende de los parámetros genéticos supuestos, por lo que el beneficio calculado también depende de esos parámetros. Provino Avanzado utiliza parámetros obtenidos de la propia población evaluada que, para la raza Merino, suelen ser consistentes con promedios de la literatura (Safari *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2003). Para otras razas con poblaciones más pequeñas (raza Ideal) o menos información publicada (raza Corriedale), Provino utiliza parámetros de la literatura que pueden diferir levemente de los apropiados a la raza en Argentina y, en consecuencia, generar estimaciones de progreso menos exactas. En todo caso, los progresos genéticos usados en el cálculo del beneficio son determinantes y en la figura 1 se observan algunos caracteres con fluctuaciones anuales importantes, en particular en la raza Corriedale. La consideración de la varianza en el progreso genético permitiría asignar límites de confianza al progreso genético y, en consecuencia, también al beneficio económico calculado (Ponzoni *et al.*, 2007).

Los criadores participantes de Provino Avanzado utilizan las evaluaciones genéticas junto con la propia experiencia e intuición en sus decisiones de selección. Estos mismos criadores también suelen realizar introducciones de carneros de otros planteles e incluso del exterior. En el caso de la

raza Merino los animales importados tienen gran relevancia genética (Vozzi *et al.*, 2014) y no es posible determinar fehacientemente la proporción del progreso genético adjudicable a la mayor exactitud de selección por información Provino y la proporción adjudicable a las introducciones y otras decisiones de reemplazo de ovejas y carneros. Sin embargo, es posible estimar el progreso genético teórico que se podría alcanzar por selección dentro de los planteles usando los méritos genéticos estimados por Provino y los diferenciales e intervalos generacionales de los sistemas de referencia.

La teoría de índices de selección también permite predecir progresos genéticos posibles si los criadores basaran su selección exclusivamente en índices de selección propuestos por Provino (Álvarez *et al.*, 2014). En el caso de la raza Merino Astado, la definición por un índice de selección, basado en mediciones de PC a la esquila, PVL y PDF usado en muchos planteles y asumiendo parámetros del sistema de referencia, la teoría predice progresos genéticos anuales de 0,17 kg, 0,03 kg, -0,11 μm y 0,36 kg, para PCD, PVL, PDF y PCA, respectivamente. Las tasas de progreso efectivamente alcanzadas (tabla 2) indican que los criadores lograron aproximadamente el 70% del progreso posible en pesos corporales (PCD y PCA) y aproximadamente el 30% en rasgos del vellón (PVL y PDF). El margen para aumentar el progreso genético es entonces amplio, aun sin la incorporación de carneros del exterior.

Implicancias del beneficio

La evaluación de un programa de mejoramiento genético no debería restringirse a la población animal involucrada, sino debería considerar las consecuencias a lo largo de la cadena de valor de los productos mejorados genéticamente (FAO, 2010). Por ejemplo, los beneficios debidos a la producción de lanas más finas no se restringen a los criadores y productores de majada general, sino que se multiplican en la industria lanera. En efecto, análisis preliminares indican que el eslabón más beneficiado por el afinamiento de las lanas Merino en la Argentina es la industria que puede producir bobinas de lana de mayor valor a partir de una mejor materia prima (Mueller, sin publicar).

La adopción de tecnologías de mejora genética depende de la disponibilidad de facilidades crediticias, productos de investigación, servicios de extensión y servicios de evaluación genética. Banks (2001) estimó en 71 millones de dólares australianos en un período de 5 años el beneficio de Lambplan, el servicio de evaluación genética de ovinos de Australia equivalente al Provino argentino. Atkins (1993) estima que al menos la mitad del beneficio del mejoramiento genético ovino australiano se debe a los productos de la investigación y extensión en mejoramiento genético.

CONCLUSIÓN

El beneficio económico acumulado y descontado que genera el mejoramiento genético en los planteles y su di-

seminación en las majadas generales de las razas Merino Astado, Corriedale e Ideal en la Argentina es sustancial como lo es también el margen para aumentar ese beneficio a través del aumento de la tasa de progreso genético en los plantales y el incremento de la cantidad y diseminación de carneros mejoradores. Estos resultados deberían alentar políticas de promoción, basadas en los beneficios económicos comprobados, tanto del mejoramiento genético a nivel de los plantales como del aprovechamiento de carneros mejoradores.

AGRADECIMIENTOS

A Peter Amer de AbacusBio Ltd por su sugerencia de incluir caracteres de expresión anual, como los de esquila, en el vector de caracteres maternos (aquí adultos). A Carlos Epper de la Asociación Argentina Criadores de Merino por facilitar estadísticas y genealogía de la raza Merino. A Daniel Maizon de INTA La Pampa por sugerencias de mejora a versiones preliminares de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMER, P.R.; NIEUWHOF, G.J.; POLLOT, G.E.; ROUT-GHSEGE, T.; CONINGTON, J.; SIMM, G. 2007. Industry benefits from recent progress in sheep and beef populations. *Animal* 1: 10, 1414-1426.
- ÁLVARIZ, J.M.; MUELLER, J.P.; VOZZI, P.A.; MILICEVIC, F. 2014. Objetivos de mejoramiento e índices de selección para la raza Corriedale en Argentina. Memorias xv Congreso Mundial Corriedale, 21-22 de julio, Buenos Aires, Argentina.
- ATKINS, K.D. 1993. Benefits of genetic improvement to the Merino wool industry. *Wool Technology and Sheep Breeding* 41, 257-268.
- BANKS, R. 2000. LAMBPLAN. A sheep breeding strategy. En: GALAL, S., BOYAZOGLU, J.; HAMMOND, K. (Eds.) *Developing breeding strategies for lower input animal production environments*. FAO ICAR Technical Series N.º 3 pp. 521-539.
- BIRD, P.J.W.N.; MITCHELL, G. 1980. The choice of discount rate in animal breeding investment appraisal. *Animal Breeding Abstracts* 48, 499-505.
- ELSEN, J.M.; MOCQUOT, J.C. 1974. Recherches pour une rationalisation technique des schémas de sélection des bovins et des ovins. *Bulletin Technique de Département de Génétique Animale* 17, INRA, París.
- FAO. 2010. Evaluación de las decisiones de inversión. Sección F del libro: *Estrategias de mejora genética para la gestión sostenible de los recursos zoogenéticos*. Directrices FAO: Producción y Sanidad Animal N.º 3. Roma, pp. 114-128.
- GIOVANNINI, N.; VOZZI, P.A.; ÁLVAREZ, M.; MAIZON, D.O.; MUELLER, J.P. 2015. Genética. En: MUELLER, J.P.; CUETO, M.I. Y ROBLES, C.E. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2015*. INTA Bariloche, pp. 95-111.
- GREEFF, J.C. 1997. Cost-benefit analysis of realized genetic improvement of wool production in an open nucleus breeding scheme. *Wool Technology and Sheep Breeding* 45, 157-166.
- HILL, W.G. 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Animal Production* 18, 117-139.
- IPCG. 2015. Informe de precios de carne y ganado de la Patagonia. Informe N.º 19. INTA.
- MUELLER, J.P. 2005. Síntesis de las razas ovinas y su uso en la Argentina. En: MUELLER, J.P. Y CUETO, M.I. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2005*. INTA Bariloche, pp. 111-123.
- MUELLER, J.P. 2010. Progreso genético y evaluación económica de programas de mejora genética. En: MUELLER, J.P. Y CUETO, M.I. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2010*. INTA Bariloche, pp. 117-139.
- MUELLER, J.P.; BIDINOST, F.; TADDEO, H.R. 2003. Parámetros genéticos en dos plantales Merino de la Patagonia. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32, 161-172.
- PONZONI, R.W.; NGUYEN, H.N.; KHAW, H.L. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 269, 187-199.
- PROVINO. 2015. Servicio argentino de información y evaluación genética de ovinos, caprinos y camélidos (www.provino.com.ar verificado 27 de noviembre de 2015).
- SAFARI, E.; FOGARTY, N.M.; GILMOUR, A.R. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science* 92, 271-289.
- SENASA. 2015. Sistema integrado de gestión de sanidad animal (SIGSA). Indicadores ganaderos. Ovinos. SENASA, Argentina.
- SIPYM. 2015. Sistema de precios y mercados (www.labraw.com.ar/infos-sipym.php verificado 27 de noviembre de 2015).
- VOZZI, P.A.; MUELLER, J.P. 2014. La variabilidad genética de la raza Merino. *Journal of Basic & Applied Genetics* 25 (Supp. 1), 29-30.

Modelación de la calidad nutritiva de pasturas defoliadas

INSÚA, J.R.^{1,2,3}; AGNUSDEI, M.G.³; MACHADO, C.F.³; BERGER, H.³

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue desarrollar un modelo de simulación de calidad foliar de pasturas, de base morfogénica, para integrar el efecto de la edad y el largo foliar sobre la digestibilidad en relación con el manejo de la defoliación. El modelo se construyó y calibró con datos de morfogénesis foliar, fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad de la FDN (DFDN) y digestibilidad *in vitro* de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.). Luego se lo validó con datos observados en pasturas manejadas a dos alturas de forraje remanente con similar producción de biomasa. El modelo predijo adecuadamente la calidad nutritiva de las pasturas de diferente altura de remanente. Las variaciones en calidad durante el rebrote de pasturas vegetativas se debieron principalmente a los cambios de DFDN. Estos resultados indican que la consideración de la dinámica de DFDN en relación con la morfogénesis foliar permitiría mejorar la predicción de la calidad nutritiva en los modelos de pasturas.

Palabras clave: morfogénesis, altura de remanente, DFDN, edad foliar, largo de lámina, modelos de simulación.

ABSTRACT

The aim was to develop a simulation model of pasture quality dynamics on the basis of morphogenetic approach that takes into account the effects of leaf age and length on the forage digestibility in relation to management defoliation. The model was created by detailed data of tall fescue (*F. arundinacea*) leaf morphogenesis, and their NDF content and *in vitro* digestibility of NDF and DM (NDFD and DMD). The model was validated against observed data from two pasture regrowths differing in residual pasture height. The model simulated with reasonable accuracy the morphogenesis and leaf quality dynamics of pasture regrowth from different pasture residual height. The variations of leaf quality during regrowth of vegetative pasture were due to changes in NDFD. These results indicate that the variations of NDFD in relation to leaf morphogenesis allowed to improve the prediction of a pasture quality model.

Keywords: morphogenesis, stubble height, NDFD, leaf age, leaf length, simulation model.

¹Becario doctoral de CONICET.

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Balcarce. Correo electrónico: insua.juan@inta.gob.ar

⁴Facultad de Ciencias Veterinarias, UNICEN, Tandil.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación biofísicos son una herramienta complementaria interesante para la investigación de campo (Bryant y Snow, 2008). Un aspecto crítico para la modelación de los sistemas pastoriles es la representación del crecimiento y calidad de las pasturas (Woodward y Rollo, 2002). Recientemente, Berger *et al.* (2014) reportaron un buen ajuste de las estimaciones a resultados experimentales de acumulación de biomasa aérea de pasturas de festuca alta bajo diferentes condiciones de crecimiento.

La mayoría de los modelos de crecimiento de pasturas basados en variables climáticas que generan estimaciones de calidad nutritiva utilizan parámetros indicadores de calidad nutritiva, tales como N, fibra detergente neutro (FDN) o digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), que acoplan directamente a la dinámica fenológica-productiva (Johnson *et al.*, 2008; McCall y Bishop-Hurley, 2003). Estudios recientes han demostrado que la digestibilidad de la FDN (DFDN) de las pasturas vegetativas decrece continuamente durante todo el rebrote posterior a una defoliación por corte o pastoreo. Esta caída de calidad no está simplemente relacionada con la biomasa que se acumula durante el rebrote, sino que también guarda estrecha asociación con la edad y el tamaño de las hojas que componen esa biomasa (Agnusdei *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013; Groot y Neuteboom, 1997; Insua *et al.*, 2012; 2013; 2014).

La modelación basada en este nuevo enfoque que integra el crecimiento y la morfología de las hojas con la calidad de las pasturas puede ser una herramienta útil para incorporar a los modelos existentes de crecimiento de pasturas, y de esta forma mejorar la comprensión de sus cambios de calidad, y así ayudar al diseño de nuevas estrategias de manejo de la defoliación. Esto no solo aportaría un respaldo mecanístico y ecofisiológico a la estimación de la calidad del forraje, sino que también permitiría evaluar apropiadamente el efecto combinado del manejo del remanente de forraje postpastoreo y la frecuencia de defoliación (Chapman *et al.*, 2012; Insua *et al.*, 2014), e incluso su posterior impacto en la respuesta animal a través del consumo y de la calidad de la dieta. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de calidad nutritiva foliar de base morfofisiológica que estime las variaciones de digestibilidad durante el rebrote de pasturas vegetativas manejadas con diferente altura de remanente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayos

Los datos para la construcción y validación del modelo fueron obtenidos a partir de dos experimentos de festuca alta (*F. arundinacea* Schreb.) que se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce. Se sembraron "micro pasturas" (500 macetas de plástico de 20 x 40 cm) en la primavera del 2009 para las evaluaciones de los rebrotes de verano 2009/10 (Insua *et al.*, 2012), y en la primavera-verano del 2011 (Insua *et al.*, 2014). Las plantas crecieron al aire libre, sin limitantes hídricas

ni nutricionales. En ambos experimentos se evaluaron dos tratamientos: en el verano 2009/10 (desde el 8/12 al 5/3) se evaluaron dos cultivares de festuca alta continental (El Palenque Plus^{INTA} y Grasslands Advance^{Gentos}) mientras que en la primavera-verano 2011 (desde el 27/10 al 10/2) se evaluaron dos alturas de remanente (4 y 10 cm). Previo a cada período experimental, las plantas se cortaron 3 veces (cada ~20 días) a la altura correspondiente a cada tratamiento, de modo de generar estructuras de pasturas densas y foliosas con suficiente biomasa foliar remanente (>30% láminas) para garantizar un rápido crecimiento inicial del rebrote –ver Insua *et al.* (2012) e Insua *et al.* (2014) para más detalle–. En cada experimento se utilizaron 250 macetas por tratamiento dispuestas en un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con 3 repeticiones.

Mediciones de campo

En ambos ensayos se marcaron 15 macollos por tratamiento para monitorear la morfogénesis foliar tres veces por semana. En cada macollo marcado se registró: tasa de elongación foliar (TEF), intervalo de aparición de hoja (IAH), número de hojas vivas por macollo (NHV) y vida media foliar (VMF). Paralelamente, se realizaron cosechas destructivas durante el período del rebrote, con una frecuencia establecida por el momento de aparición de las sucesivas hojas (ej. H1, H2, H3, H4). El material cosechado fue separado en lámina y vaina. En las láminas se determinó el contenido de FDN (Van Soest *et al.*, 1991), como así también la DFDN y DAMS por incubación *in vitro* a 24 h en el equipo Daisy^{II} (ANKOM Corp., Fairport, NY, EE. UU.). La DAMS se calculó restando a la digestibilidad verdadera de la MS (DVMS) el factor metabólico 11,9 propuesto por Van Soest (1994).

Descripción del modelo

Se desarrolló un modelo de calidad nutritiva de base morfofisiológica foliar para estimar las variaciones de DAMS de la población de macollos vegetativos durante el rebrote de pasturas de festuca alta defoliadas a diferente altura de remanente. El modelo describe a la pastura en estados variables (rectángulos en figura 1), los que estima en función de los procesos de morfogénesis que simula durante el rebrote (óvalos en figura 1). El modelo fue desarrollado mediante una planilla electrónica (200x MS Excel[®]).

La simulación comienza calculando el tiempo térmico del rebrote en grados-día de crecimiento (GDC, °Cd), con la acumulación de la temperatura media diaria (Tm) menos la temperatura base (Tb) (McMaster y Wilhelm, 1997):

$$GDC = \sum_{i=1} (T_m - T_b) \quad (\text{Ec.1})$$

El largo del tubo de vainas (LV, cm) al inicio del rebrote (LV₀) es determinado directamente por la altura del remanente de defoliación (Di Marco *et al.*, 2013; Duru y Ducrocq, 2002) y se incrementa con los GDC del rebrote a una tasa de elongación constante por unidad térmica (TEV, cm °Cd⁻¹).

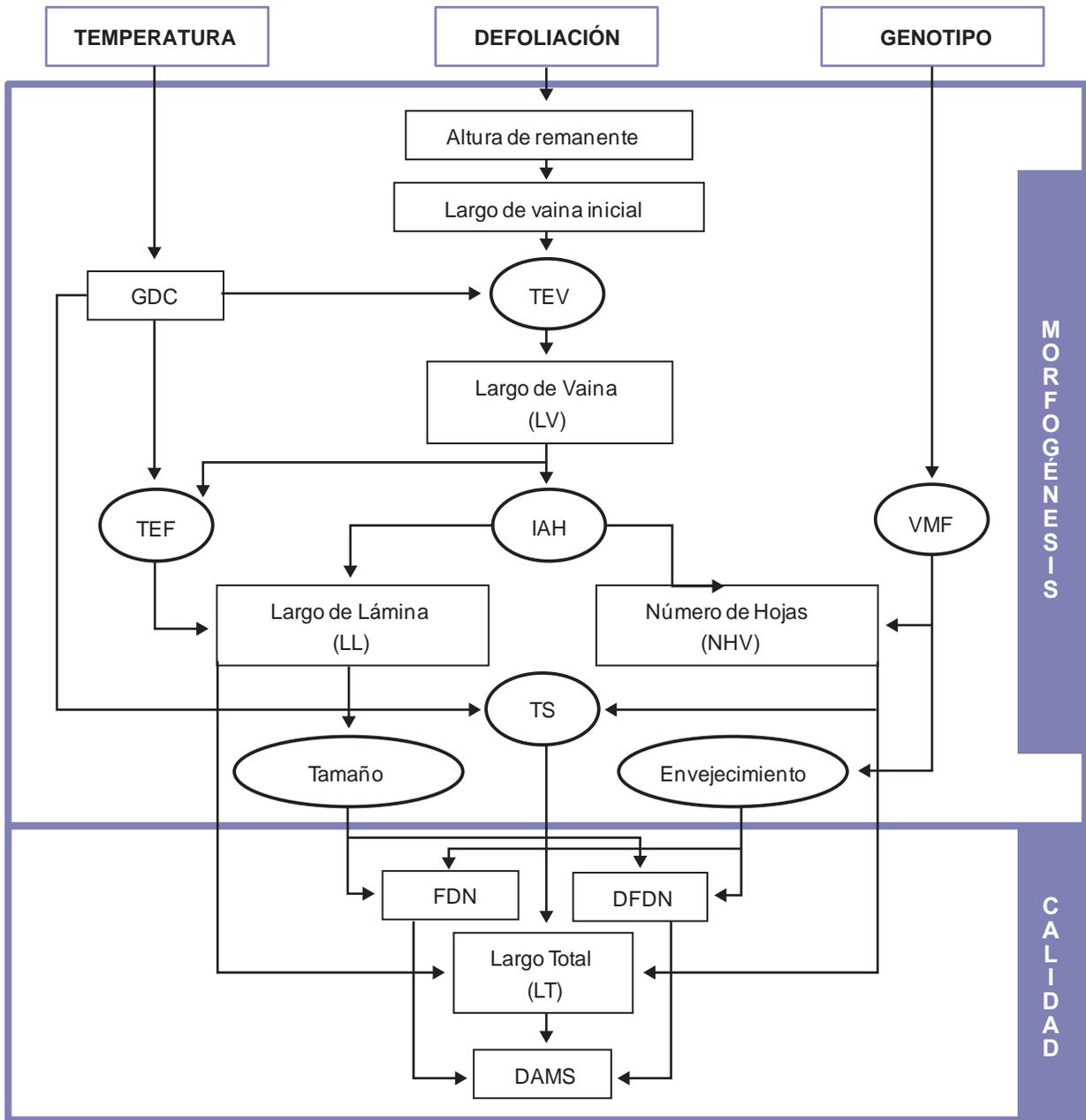


Figura 1. Diagrama de flujos del modelo.

La TEF (cm °Cd⁻¹) aumenta con el LV como consecuencia de la relación entre el tamaño de vaina y el meristema de crecimiento de la hoja (Arredondo y Schnyder, 2003). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 2.

$$TEF \text{ (cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}\text{)} = 0,01 \text{ LV} + 0,06 \text{ (R}^2 = 0,65; \text{ p} < 0,0001\text{)} \text{ (Ec. 2)}$$

El IAH (°Cd) aumenta con el LV debido a que cuanto más largo es el tubo de vainas, mayor es el tiempo que necesita la hoja en crecimiento para emerger por fuera de él (Skinner y Nelson, 1994). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 3.

$$IAH \text{ (} ^\circ\text{Cd}\text{)} = -1,8886 \text{ LV}^2 + 47,6 \text{ LV} + 6,01 \text{ (R}^2 = 0,63; \text{ p} < 0,0001\text{)} \text{ (Ec.3)}$$

La duración de la elongación foliar (DEF, °Cd) se asume igual al IAH ya que se considera que los macollos presentan una única lámina en crecimiento por vez. Una vez que la hoja termina su fase de elongación, alcanza su largo final y permanece verde durante su VMF. Esta coordinación en el crecimiento de las hojas sucesivas del macollo fue asumida a partir de lo observado por Skinner y Nelson (1994) para festuca alta.

El largo final de la lámina (LL, cm) de cada hoja es determinado por la Ec.4 propuesta por Lemaire y Agnusdei (2000).

$$LL \text{ (cm)} = TEF \times DEF \text{ (Ec.4)}$$

Cuando finaliza la VMF, la hoja comienza a senecer a una determinada tasa (TS, cm °Cd⁻¹). El proceso de se-

nescencia foliar avanza desde el ápice hacia la base de la lámina (Lemaire y Agnusdei, 2000), determinando así la proporción relativa de tejido muerto en la hoja (LL_m/LL).

El NHV (hojas verdes macollo⁻¹) depende de la velocidad con que aparecen y senecen las hojas, lo cual es calculado en la Ec.5 según lo reportado por Lemaire y Agnusdei (2000).

$$NHV = VMF / IAH \tag{Ec.5}$$

Varios trabajos experimentales muestran que, dentro de cada especie forrajera, cuanto más larga es una hoja menos calidad nutritiva tiene (Agnusdei *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013; Insua *et al.*, 2013). Este efecto negativo del largo foliar sobre la calidad nutritiva de las láminas se incluyó en el modelo mediante la incorporación de una relación lineal entre LL con la FDN y DFDN (L_{FDN} y L_{DFDN} , % cm⁻¹). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 6 y 7, donde los parámetros de las ordenadas al origen (FDN_0 y $DFDN_0$) representan los máximos valores de calidad (teóricos) para hojas de cero cm de longitud.

$$FDN = FDN_0 + L_{FDN} \times LL \tag{Ec.6}$$

$$DFDN = DFDN_0 - L_{DFDN} \times LL \tag{Ec.7}$$

Adicionalmente, la lámina disminuye su digestibilidad por envejecimiento del tejido foliar (Duru y Ducrocq, 2002; Groot y Neuteboom, 1997) a una tasa constante con su edad (T_{DFDN-V} , % °Cd⁻¹), la cual aumenta en senescencia (T_{DFDN-S} , % °Cd⁻¹) cuando finaliza la VMF (Insua *et al.*, 2012).

$$Envejecimiento_{DFDN} = \begin{cases} T_{NDFD-V} & \text{si GDC} < \text{VMF} \\ T_{NDFD-S} & \text{si GDC} > \text{VMF} \end{cases} \tag{Ec.8}$$

Con respecto a las variaciones de FDN con la edad foliar, el modelo considera que solo aumenta durante la senescencia, manteniéndose sin cambios mientras la hoja permanece verde (Groot y Neuteboom, 1997; Agnusdei *et al.*, 2012; Insua *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó el aumento de FDN por efecto

del envejecimiento foliar como consecuencia del progresivo incremento en la proporción del tejido muerto en la lámina (LL_m/LL) y su contenido de FDN (FDN_m).

$$Envejecimiento_{FDN} = \begin{cases} 0 & \text{si GDC} < \text{VMF} \\ FDN * \left(\frac{LL - LL_m}{LL} \right) + FDN_m * \left(\frac{LL_m}{LL} \right) & \text{si GDC} > \text{VMF} \end{cases} \tag{Ec.9}$$

Para calcular la calidad nutricional total de la pastura (*C-pastura*), la Ec.10 pondera la contribución de FDN y DFDN que hace cada hoja individual al conjunto de láminas de diferente edad que componen el macollo:

$$C - pastura_j = \sum_{i=1}^n \left[C - lámina_{ij} * \left(\frac{LL_i}{LT_j} \right) \right] \tag{Ec.10}$$

donde *C-lámina* = calidad (FDN o DFDN) de la lámina individual, *LL* = longitud de lámina, *LT* = largo total de lámina acumulado por macollo, *i* = generación de hoja (H1, H2, H3, *n*), *j* = tiempo térmico (GDC) del rebrote.

El modelo utiliza la FDN y DFDN para calcular la DAMS a partir de la Ec.11 propuesta por Van Soest (1994).

$$DAMS (\%) = 1 + FDN * (DFDN - 1) - 11,9 \tag{Ec.11}$$

Parametrización y validación

Los parámetros del modelo se estimaron sobre un cuerpo robusto de datos de morfogénesis y calidad foliar de dos cultivares de festuca alta generados en Insua *et al.* (2012) bajo un mismo manejo de defoliación. El modelo se validó con los valores de TEF, IAH, NHV, LL, LT, FDN, DFDN y DAMS observados por Insua *et al.* (2014) en rebrotes de un cultivar de festuca alta bajo dos alturas de remanente (4 y 10 cm). Para la simulación se utilizaron los mismos datos de temperatura registrados en el sitio experimental. Las comparaciones entre los valores observados y espera-

Parámetros		Unidad	Festuca alta
Tb	Temperatura base	°C	4
VMF	Vida media foliar	°Cd	630*
TEV	Tasa de elongación vaina	cm°Cd ⁻¹	0,0081
TS	Tasa de senescencia	cm°Cd ⁻¹	0,10163
L_{FDN}	Efecto de largo sobre FDN	%cm ⁻¹	0,106
L_{DFDN}	Efecto de largo sobre DFDN	%cm ⁻¹	-0,529
T_{DFDN-V}	Tasa de pérdida de DFDN en VMF	%°Cd ⁻¹	-0,0398*
T_{DFDN-S}	Tasa de pérdida de DFDN en senescencia	%°Cd ⁻¹	-0,1206*
FDN₀	Mínimo teórico de FDN foliar	%	51,5
DFDN₀	Máximo teórico de DFDN foliar	%	70,1
FDN_m	FDN tejido foliar muerto	%	64,9

Tabla 1. Parámetros del modelo de simulación ajustado a valores promedios de dos cultivares de festuca alta reportados en Insua *et al.* (2012). *Solo para el cultivar El Palenque Plus

Parámetros	Altura de remanente	Promedios		Desvío (Observado-Esperado)	
		Observado	Esperado		(%)
TEF (cm día ⁻¹ macollo ⁻¹)	Baja	1,4	1,7	-0,3	21
	Alta	2,3	2,4	-0,1	4
IAH (°Cd)	Baja	275	242	33	12
	Alta	354	304	50	14
NHV (hojas macollo ⁻¹)	Baja	2,5	2,4	0,1	4
	Alta	2,0	2,1	-0,1	5

Tabla 2. Variables morfogénicas foliares observadas y esperadas durante la VMF de rebrotes de festuca alta manejados a diferente altura de remanente: baja (4 cm) y alta (10 cm).

dos se realizaron mediante análisis visuales y estadísticos (desvíos entre observados y esperados). Para las variables de calidad se analizó la regresión lineal entre datos observados y esperados (Mayer y Butler, 1993), incluyendo el test F para los parámetros de intercepto cero y pendiente uno (exactitud del modelo), y el coeficiente de determinación (R^2 , precisión del modelo).

RESULTADOS

Parametrización

Los valores de los parámetros se presentan en la tabla 1. Excepto TEV y TS, que fueron calculados sobre datos de nuestro grupo no publicados, el resto de los parámetros fueron reportados en Insua *et al.* (2012).

Validación

Los valores esperados de TEF, IAH y NHV fueron similares a los observados durante la VMF –primeros 630 GDC del rebrote– (tabla 2). La figura 2 muestra cómo las simulaciones de la evolución del NHV, LL y LT durante la VMF fueron similares a los valores observados. Los desvíos entre valores esperados y observados para NHV y LT aumentaron con el avance del rebrote en ambos tratamientos (figura 2a y c) debido a que posterior al cumplimiento de la VMF el modelo subestimó un ~38% el IAH ($-180\text{ }^\circ\text{Cd}^{-1}$) y sobreestimó un ~50% la TEF ($+1,2\text{ cm día}^{-1}$), respectivamente.

El menor IAH y TEF que mostró la pastura baja (tabla 2) determinó que produjera mayor NHV de menor LL respecto de la pastura alta (figura 2a y b). A su vez, el mayor NHV no compensó el menor LL, determinando que el LT de la pastura baja sea inferior que el de la alta (figura 2c). Vale aclarar que la producción de forraje no varió entre tratamientos debido a que el menor LT por macollo de la pastura baja fue compensado por un mayor número de macollos con respecto a la pastura alta (datos no presentados).

La figura 3 muestra que el modelo predijo adecuadamente la mayor DAMS foliar de la pastura baja respecto de la alta, estimada a través de la dinámica de sus dos componentes: FDN y DFDN. De las tres variables, la FDN fue subestimada ~5 puntos porcentuales en ambos tratamientos. Consecuentemente, los ajustes entre observados y es-

perados mostraron mayor precisión predictiva para DFDN y DAMS que para FDN ($\text{DFDN}=0,86x+5$, $R^2=95$, $p<0,0008$; $\text{DAMS}=1,09x-8$, $R^2=92$, $p<0,002$; $\text{FDN}=1,93x-47$, $R^2=75$, $p<0,02$) y valores más cercanos a los parámetros de intercepto cero (todos $p>0,2$) y pendiente uno (todos $p>0,1$).

DISCUSIÓN

El modelo desarrollado ofrece la posibilidad de simular la calidad de las pasturas sobre la morfogénesis foliar de las plantas. Este enfoque difiere de los modelos fisiológicos (ej. Johnson *et al.*, 2008) y utiliza una cantidad más reducida de parámetros, en nuestro caso en solo 11 ecuaciones. Ello permite simplificar procesos complejos, especialmente el efecto de la radiación sobre la fotosíntesis y el crecimiento (Lemaire y Agnusdei, 2000).

El principal objetivo del modelo fue describir la dinámica de calidad foliar durante el rebrote de pasturas bajo diferentes manejos de defoliación. En ese sentido, el modelo fue capaz de estimar las variaciones de DAMS de las pasturas a partir de la modelación de sus dos componentes, la FDN y DFDN (figura 3), en función del recambio foliar y el tamaño de las hojas que se acumularon en cada rebrote (figura 2). En particular, durante las simulaciones se predijo más del 95% de las variaciones de DFDN de las hojas (figura 3b), variable identificada como principal responsable de los cambios de calidad durante la VMF de pasturas con diferente estructura vegetativa (Insua *et al.*, 2012; 2013; 2014).

La capacidad del modelo para predecir la DFDN de las pasturas en relación con los cambios en el tamaño y edad de las hojas que se producen como respuesta al manejo de la defoliación (figura 3b) es el rasgo original y más importante del modelo con vistas a ser incorporado en modelos de crecimiento que no contemplan esta variable de calidad (ej. APSIM, McCown *et al.*, 1996), o que la consideran como factor fijo (ej. DairyMod, Johnson *et al.*, 2008). Con respecto a la FDN, el modelo predijo su dinámica con similar comportamiento al observado a campo (figura 3a), pero con una subestimación de 5%. Esta menor exactitud para predecir la FDN (figura 3a) se debería a que esta variable depende principalmente de las condiciones de crecimiento (radiación, temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes), y por lo tanto escapa a la naturaleza morfogénica del modelo que solo

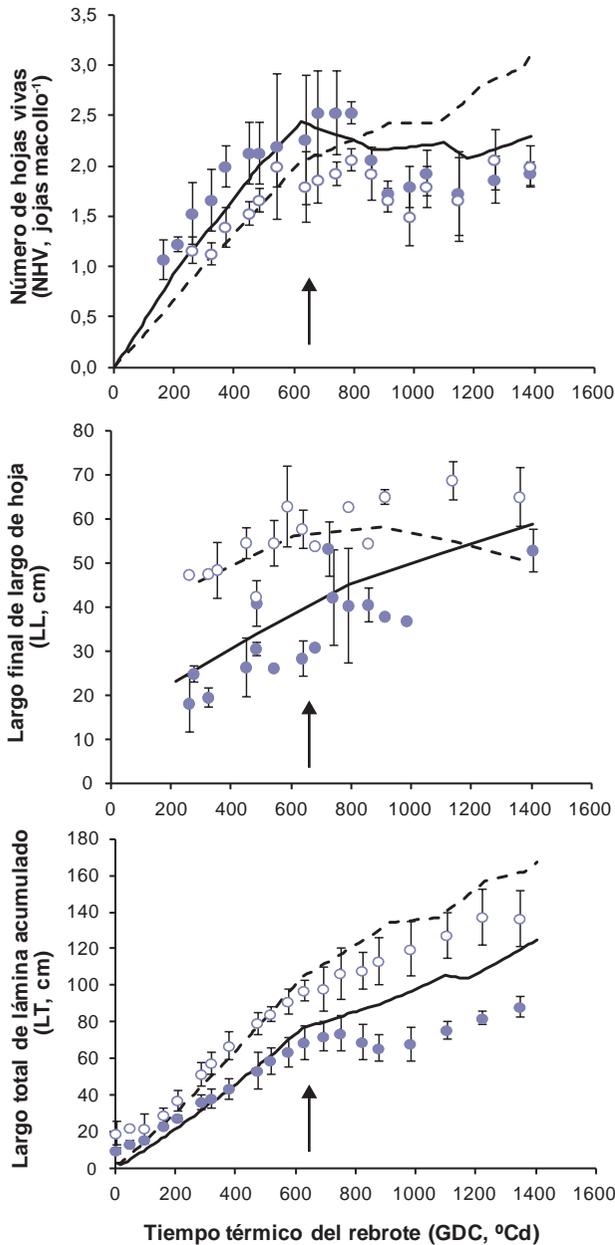


Figura 2. Datos observados (símbolos) y esperados (líneas) durante el tiempo térmico (GDC) del rebrote en pasturas de festuca alta manejadas con dos alturas de remanente (baja, ● y alta, ○). Las fechas indican fin de la vida media foliar (VMF). Barras indican desvío estándar de la media.

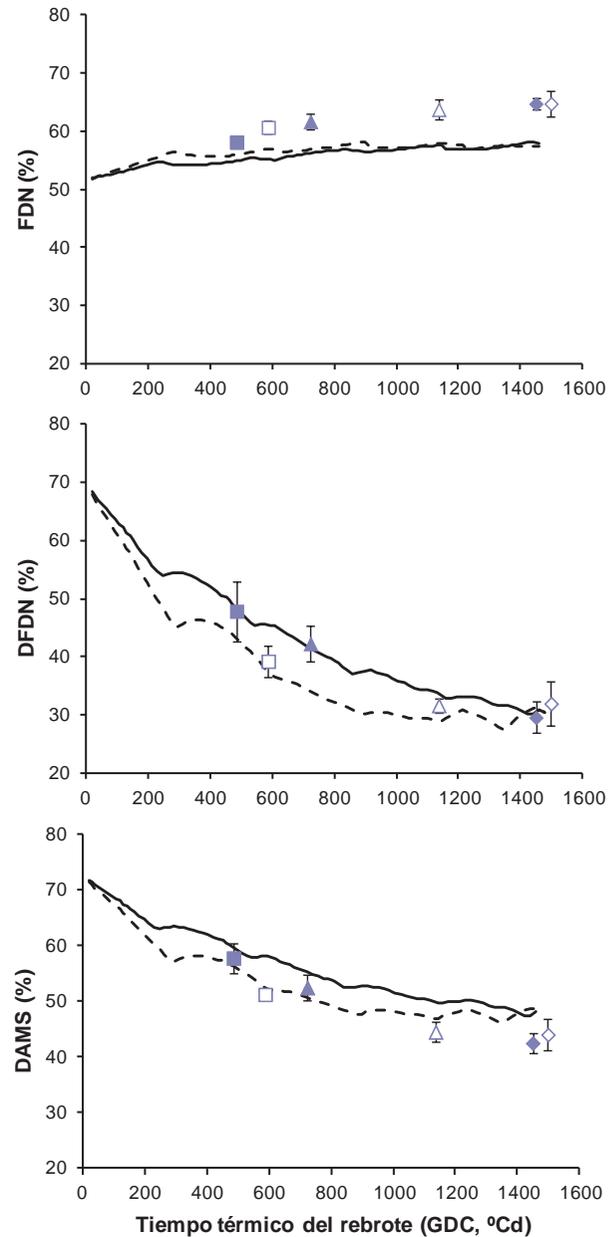


Figura 3. Datos observados (símbolos) y esperados (líneas) durante el tiempo térmico (GDC) de pasturas de festuca alta manejadas con dos alturas de remanente: baja (4 cm, negro) y alta (10 cm, blanco). Símbolos indican estados de hojas: H2 (■), H3 (▲) y H4 (◆). Barras indican desvío estándar de la media.

considera la temperatura (Lemaire y Agnusdei, 2000). A pesar de estas limitaciones, las subestimaciones de la FDN produjeron leves sobreestimaciones en la DAMS, sin afectar la capacidad predictiva de su dinámica durante el rebrote (figura 3c).

Para entender cómo el manejo de la defoliación afectó la calidad de las pasturas, primero se debe explicar los cambios morfológicos que sucedieron durante los rebrotes. Al igual que lo observado por Di Marco *et al.* (2013) en agropiro, la reducción de la altura de remanente generó una pastura con vainas de menor tamaño que ocasionó una mayor velocidad de aparición de hojas (tabla 2). Este sim-

ple cambio morfológico con la altura de remanente no solo causó que se acumulara un mayor número de hojas más cortas (figura 2a y b), sino que también significó un cambio en la edad y largo foliar con que cada hoja (H1, H2, H3) contribuyó al total de biomasa acumulada. En otras palabras, para un mismo momento del rebrote, las pasturas provenientes de remanentes de menor altura produjeron forraje compuesto por un mayor número de hojas que a su vez fueron más jóvenes y de menor tamaño (ej. mayor DFDN) que el de pasturas manejadas a mayor altura. En términos generales estos cambios morfológicos en

respuesta al manejo de la altura de remanente fueron predichos aceptablemente por el modelo, en especial durante la VMF (figura 2). La pérdida de capacidad de predicción de las variables morfológicas luego de la VMF (figura 2) se debió simplemente a la acumulación de los errores de predicción de las variables morfogenéticas (TEF, IAH) con el correr de la simulación del rebrote. Cabe destacar que esta falta de predicción en estados avanzados del rebrote no solo tuvo poco impacto en la estimación de calidad (debido a la gran cantidad de biomasa acumulada en esos momentos), sino que también ocurrió en períodos de poca relevancia para manejos adecuados del pastoreo orientados a la utilización del forraje dentro de la VMF (Fulkerson y Donaghy, 2001; Lemaire *et al.*, 2009).

Los resultados de modelación respaldan que el largo de vaina puede ser utilizado como un indicador eficiente para controlar la altura de remanente necesaria para manejar la calidad de la pastura a campo. Además, debido a que el largo de vaina puede asociarse a la biomasa foliar (Duru y Ducrocq, 2002), esa característica morfológica puede ser un posible enlace para integrar el presente modelo de calidad nutritiva con modelos de crecimiento de pasturas ya desarrollados.

CONCLUSIÓN

El modelo predijo con aceptable precisión y exactitud las variaciones de DAMS de las pasturas bajo diferentes alturas de defoliación, indicando que las bases morfogenéticas con las que se construyó el modelo serían las que explican la mayor parte de los cambios de calidad observados. Adicionalmente, estos resultados indican que la DFDN, usada en el modelo para definir la calidad nutricional, es una variable de peso para predecir las variaciones de digestibilidad observadas durante el rebrote de pasturas de diferente estructura. Esto sugiere que la descripción de la dinámica de DFDN en relación con la morfogénesis foliar tiene un gran potencial de aporte para la experimentación y predicción de la calidad nutritiva de pasturas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de la tesis doctoral del Ing. Agr. Juan Ramón Insua para presentar al programa de Postgrado de la Universidad Nacional de Mar del Plata como parte del requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrarias.

BIBLIOGRAFÍA

AGNUSDEI, M.G.; DI MARCO, O.N.; NENNING, F.R.; AELLO, M.S. 2012. Leaf blade nutritional quality of rhodes grass (*Chloris gayana*) as affected by leaf age and length. *Crop Past Sci.* 62: 1098-1105.

ARREDONDO, J.T.; SCHNYDER, H. 2003. Components of leaf elongation rate and their relationship to specific leaf area in contrasting grasses. *New Phytol.* 158: 305-314.

BERGER, H.; MACHADO, C.F.; AGNUSDEI, M.; CULLEN, B.R. 2014. Use of a biophysical simulation model (DairyMod) to represent tall fescue pasture growth in Argentina. *Grass Forage Sci.* 69: 441-453.

BRYANT, J.R.; SNOW, V.O. 2008. Modelling pastoral farm agro-ecosystems: a review. *N. Z. J. Agric. Res.* 51: 349-363.

CHAPMAN, D.F.; THARMARAJ, J.; AGNUSDEI, M.G.; HILL, J. 2012. Regrowth dynamics and grazing decision rules: further analysis for dairy production systems based on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) pastures. *Grass Forage Sci.* 67: 77-95.

DI MARCO, O.N.; HARKES, H.; AGNUSDEI, M.G. 2013. Calidad de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en estado vegetativo en relación con la edad y longitud de las hojas. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 39: 105-110.

DURU, M.; DUCROCQ, H. 2002. A model of lamina digestibility of orchardgrass as influenced by nitrogen and defoliation. *Crop Sci.* 42: 214-223.

FULKERSON, W.J.; DONAGHY, D.J. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 261-275.

GROOT, J.C.J.; NEUTEBOOM, J.H. 1997. Composition and digestibility during ageing of Italian ryegrass leaves of consecutive insertion levels. *J. Sci. Food. Agric.* 75: 227-236.

INSUA, J.R.; AGNUSDEI, M.G.; DI MARCO, O.N. 2012. Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de "festuca alta" (*Festuca arundinacea* Schreb). *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 38: 190-195.

INSUA, J.R.; DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G. 2013. Calidad nutritiva de láminas de "festuca alta" (*Festuca arundinacea* Schreb.) en rebrotes de verano y otoño. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 39: 267-272.

INSUA, J.R.; DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G. 2014. Longitud de la vaina como determinante de la calidad de hojas de *Festuca arundinacea* durante un período de rebrote. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 40: 202-207.

JOHNSON, I.R.; CHAPMAN, D.F.; SNOW, V.O.; ECKARD, R.J.; PARSONS, A.J.; LAMBERT, M.G.; CULLEN, B.R. 2008. DairyMod and EcoMod: biophysical pasture-simulation models for Australia and New Zealand. *Agric. Sys.* 48: 621-631.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M.G. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. *En: LEMAIRES, G.; HODGSON, J.; DE MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Eds.) Grassland ecophysiology and grazing ecology.* CAB International, 265-287 pp.

LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.G.; WADE, M.; HODGSON, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass Forage Sci.* 64: 341-353.

MAYER, D.G.; BUTLER, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling.* 68: 21-32.

MCCALL, D.G.; BISHOP-HURLEY, G.P. 2003. A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agric. Sys.* 76: 1183-1205.

MCCOWN, R.L.; HAMMER, G.L.; HARGREAVES, J.H.G.; HOLZWORTH, D.P.; FREEBAIRN, D.M. 1996. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Sys.* 50: 255-271.

MCMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest. Meteorol.* 87: 291-300.

SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. 1994. Epidermal Cell Division and the Coordination of Leaf and Tiller Development. *Ann Bot.* 74: 9-16.

VAN SOEST, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed, 476 pp. Ithaca, Nueva York, Cornell University Press.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74: 3583-3597.

WOODWARD, S.J.R.; ROLLO, M.D. 2002. Why pasture growth prediction is difficult. *Agronomy.* 32: 17-26.

Huella de Carbono de la cadena de maní de Argentina

BONGIOVANNI, R.^{1,2}; TUNINETTI, L.³; GARRIDO, G.³

RESUMEN

El objetivo general de este caso de estudio es realizar la Huella de Carbono de la producción, procesamiento y transporte del maní en Córdoba, Argentina, para evaluar la contribución de las emisiones de CO₂ equivalente en las diferentes etapas del ciclo de vida de la cadena de valor del maní; estudiar la performance ambiental de esta cadena; y proponer alternativas de mejora a los sistemas de producción, transporte y procesamiento en Córdoba, Argentina; optimizar los procesos agroindustriales para el logro de mejoras ambientales. Este estudio intenta generar resultados que puedan ser comunicados públicamente a diferentes audiencias.

Para cumplir con el objetivo, se relevaron datos de la campaña 2012-2013, con una producción de 1.022.516 t, y un rendimiento promedio de 3,05 t/ha. Los datos se obtuvieron de entrevistas con productores, profesionales e industrias de maní que procesaron un 46% del total, obteniendo 223.000 t de maní confitería y blanchado. La unidad funcional es una tonelada de maní sucio y húmedo en la puerta del campo. Se realizó un análisis de la Huella de Carbono -basado en la norma ISO 14067 (ISO, 2013)- desde la cuna hasta la puerta, que fue el puerto de embarque, ubicado en Zárate (Argentina), incluyendo producción, procesamiento y transporte. La asignación de la carga ambiental entre los productos y subproductos se hizo por valor económico.

Los resultados de la Huella de Carbono obtenidos son: la producción primaria y la industria aportan 87 kg CO₂ eq (37%) y 91 kg CO₂ eq (38%), respectivamente, mientras que el transporte contribuye con 59 kg CO₂ eq (25%). Este análisis también considera el uso de subproductos, tales como la cáscara y el tegumento de maní. A pesar de que el uso industrial de la cáscara genera algunas emisiones, se derivan importantes beneficios ambientales por la combustión de cáscara para la cogeneración de electricidad y calor, lo que reduce las emisiones de CO₂ eq en 196 kg CO₂ eq (-83%), con lo que la cadena alcanza un valor final de 41 kg CO₂ eq. Si no se incluyera el crédito ambiental por valorizar la cáscara y tegumento, los resultados de la Huella de Carbono ascenderían a 237 kg CO₂ eq.

Los resultados también se pueden expresar en función de productos elaborados. Los valores van desde 0,4 kg de CO₂ eq por kg de producto para maní frito, maní tostado, y aceite refinado; 0,7 para harina de maní, maní crocante, garrapiñada, y grana; 0,8 para pasta de maní; y 1 kg de CO₂ eq por kg de extracto de maní. Mientras más fraccionado se venda el producto, mayor será la Huella de Carbono. En algunos casos, el aporte del envase supera al del producto.

El punto crítico en la producción agrícola es la cosecha, explicado por el alto consumo de combustible fósil. La labranza reducida y la reposición de nutrientes al suelo, generan mayores emisiones, que incrementan la huella de carbono del maní. En la industria procesadora, el punto crítico es el secado, por el empleo de gas licuado de petróleo (GLP). El uso del tren a puerto, en lugar de camión, disminuye la Huella de Carbono.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta 9 km 636, X5988AAB Manfredi, Córdoba, Argentina.

²Universidad Católica de Córdoba, Av. Armada Argentina 3555. X5016DHK Córdoba, Argentina. +54 9 3572 528646. Correo electrónico: bongiovanni.rodolfo@inta.gob.ar

³Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro Regional Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1561, X5000JKC Córdoba, Argentina.

Se realizó un análisis de Huella de Carbono de la producción, procesamiento y transporte del maní en Córdoba, Argentina. Este trabajo constituye la primer estimación completa de la contribución de la cadena de valor del maní al potencial de calentamiento global. Los resultados son de utilidad para el análisis de la Huella de Carbono de otros productos alimenticios que usan el maní como ingrediente.

Palabras clave: Córdoba, cáscara, manteca de maní, puntos críticos.

ABSTRACT

The general objective of this study is to perform a Carbon Footprint of peanut production, transportation and processing in Córdoba, Argentina, in order to have a better understanding of the contribution of global warming potential (GWP) emissions in each stage of peanut value chain; study the environmental sustainability performance of this value chain; and to find hotspots in the existing farming, hauling and processing systems, that may be improved for environmental purposes. The intent of the study is to generate results that can be publicly communicated to different audiences.

Methods: Surveys were conducted for the 2012-2013 crop season, in the province of Córdoba, with information supplied by farmers and companies that processed 46% of the total national production (1,022,516 t), i.e., 470,000 t of raw peanuts or 223,000 t of shelled peanuts. The functional unit is 'one metric ton of raw peanuts in Argentina, at the farm gate'. A Carbon footprint analysis -based on the ISO 14067 standard (ISO, 2013)- from cradle-to-gate was conducted, up to the 'port of export' located in Zárate (Argentina), including crop production, processing and transportation. The environmental load allocation was based upon economic value.

Results from Carbon Footprint are: Crop production and mill processing contribute with 87 kg CO₂ eq (37%) and 91 kg CO₂ eq (38%), respectively, while transportation contributes with 59 kg CO₂ eq (25%). This analysis also considers the use of co-products, such as hull and skin. Even though its industrial use also generates some emissions, substantial environmental benefits were derived from the combustion of peanut hulls for electricity cogeneration and heat, which reduced CO₂ eq emissions by 196 kg CO₂ eq (-83%), reaching a final value of 41 kg CO₂ eq. Without considering the use of co-products, results from Carbon footprint are 237 kg CO₂ eq.

GWP was also estimated for a set of peanut-based final products, and expressed in terms of kg of CO₂ eq per kg of product. CO₂ values ranged from 0.4 for fried peanut, toasted peanut, and refined oil; 0.7 for peanut flour, coated peanut, caramelized peanut, and chopped peanut; 0.8 for peanut butter; and 1.0 for essential oil. In some cases, packaging environmental burdens overtake that of the products.

The main hotspot in the farm stage was harvesting, explained by fuel consumption. Reduced tillage and soil nutrient reposition increased CO₂ eq. emissions. In the milling stage, curing was the hotspot, due to the use of liquefied petroleum gas (LPG). Replacing road transportation by railway transportation decreases carbon footprint values.

Conclusions: A Carbon Footprint analysis was successfully performed on the Argentine peanut value chain. This research is the first assessment of the peanut value chain contribution to the global warming potential. Results are useful for the analysis of other food products that use peanut as ingredient.

Keywords: Córdoba, peanut hull, peanut butter, hotspots.

INTRODUCCIÓN

Argentina es el principal exportador de productos de maní, seguido por China, India y EE. UU. (USDA, 2015). En 2014, la industria argentina del maní, integrada por 24 empresas procesadoras y sus respectivos productores asociados, exportó el 94% de su producción a más de 106 países (Uncomtrade, 2015). La industria del maní está con-

centrada en el centro-sur de la provincia de Córdoba, representando un caso típico de un sector de competitividad no precio (o competitividad estratégica), donde hay otros factores distintos al precio que hacen atractivos a los productos (Brue y McConnell, 2002). En otras palabras, es un encadenamiento productivo regional de fuerte integración, que reafirma su competitividad sobre la introducción de cambios tecnológicos en productos o procesos (innovaciones tecnológicas) y cambios organizacionales (innovación

organizacional) dirigidos al aseguramiento de la calidad (marcas, imagen empresarial y publicidad, diseño, imagen "país"), a una vocación exportadora, y al desarrollo de sinergias público-privadas (redes y acuerdos comerciales) (Bongiovanni *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo es calcular la huella de carbono de la cadena del maní producido e industrializado en la provincia de Córdoba, Argentina, con la finalidad de identificar las actividades que generan los mayores impactos y que tienen el mayor potencial de mejora. Desde el punto de vista de la cadena, interesa la potencialidad de esta metodología para determinar puntos críticos en la producción, procesamiento y transporte para poder plantear alternativas tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia, bajo la mirada de la sustentabilidad. Este trabajo busca generar resultados que puedan ser comunicados a todos los actores interesados.

No existen muchos antecedentes científicos de estudios similares en maní, aunque se pueden mencionar los estudios el Ramsey Report (2010) y el estudio general del Environmental Working Group (2011).

El análisis está destinado a los diferentes actores de la cadena del maní: productores agrícolas, productores industriales, cámaras, asociaciones vinculadas, etc., quienes podrán utilizar los resultados: a) para que las propias empresas trabajen en la mejora continua de la gestión ambiental interna; b) para comparar el desempeño de la cadena del maní con productos alternativos, o con las mismas cadenas en otros países; c) como herramienta de marketing, competencia, y diferenciación, d) para brindar información a los consumidores, a los mercados nacionales/internacionales (huella de carbono u otros impactos); o e) como herramienta para gestionar políticas de apoyo al sector y a la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El relevamiento de datos se realizó para la campaña de cultivo 2012-2013, en la provincia de Córdoba, con información proporcionada por productores y empresas que procesaron el 46% del total de la producción nacional (que fue de 1.022.516 t), es decir, se relevó el sistema productivo y de procesamiento de 470.000 t de maní en caja o bien 223.000 t de maní confitería. Se realizó un Análisis de Huella de Carbono del tipo "desde la cuna hasta la puerta", que fue el puerto de Zárate (Argentina), debido a que Argentina exporta el 94% de los productos de maní. El análisis incluye el impacto directo de la producción primaria, procesamiento y flete. El sistema también incluye los impactos indirectos derivados de la extracción de materias primas; los recursos y energía necesarios para las labores culturales, el procesamiento industrial y los fletes, hasta llegar al puerto.

La unidad funcional es "una tonelada de maní sucio y húmedo en caja en la puerta del campo, en Argentina". La asignación de la carga ambiental entre los productos y sub-productos se hizo por valor económico.

El estudio incluyó tres fuentes de información: 1) relevamiento a productores y procesadores sobre datos de producción y procesamiento en la región central de Córdoba, Argentina, 2) bases de datos estandarizadas para Análisis de Ciclo de Vida (Ecoinvent, 2014), y 3) bibliografía.

El protocolo para el cálculo de la Huella de Carbono basado en la norma ISO 14067 (ISO, 2013) se implementó en el software Simapro® 8.0.3 (Pré-consultants, 2014) usando el modelo CML2000 (Guinée, *et al.*, 2002). Para los factores de caracterización se usó el estándar desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Los factores se expresan como Potencial de Calentamiento Global para el horizonte de tiempo de 100 años (GWP100).

Se realizó un análisis de sensibilidad con respecto a las prácticas culturales, tipo de flete, y balance de nutrientes.

Descripción de los sistemas

Cultivo: el maní no debe sembrarse en el mismo lote, sino después de transcurridos cuatro años, en un esquema de rotación que incluya cultivos resistentes a enfermedades que puedan afectar al maní, en suelos con buen drenaje, arenosos a franco arenosos. El maní debe ser rotado con cultivos resistentes a nematodos, hongos del suelo y otras enfermedades. Los cultivos recomendados son maíz, sorgo, trigo, cebada, centeno, y pasturas perennes con alto porcentaje de gramíneas. La fecha de siembra aproximada es a partir del 15 de octubre de cada año, seguida por un promedio de ocho tratamientos en forma de pulverizaciones para la protección del cultivo (malezas, insectos y enfermedades). La cosecha del maní es un proceso de dos etapas relacionadas, el arrancado y el descapotado, de modo que la eficiencia de la primera condiciona el resultado de la siguiente. La cosecha comienza con el arrancado, que consiste en arrancar, sacudir, y ubicar las plantas de varias hileras en una sola hilera, en forma invertida. Las cajas de maní quedan en la parte superior de dicha hilera, lo que permite un primer secado natural a campo por pérdida de humedad. El mejor momento de arrancado es cuando el cultivo tiene el porcentaje más alto de granos enteros maduros y el mayor rendimiento. El momento óptimo no es fácil de establecer, debido a que el maní es una planta indeterminada y continúa emitiendo nuevos clavos y desprendiendo las vainas viejas hasta el momento de la cosecha o de la senescencia. El descapotado es la operación mecánica que consiste en separar las vainas del resto de la planta, a través de una serie de procesos que se realizan dentro de la máquina descapotadora. Se realiza cuando la humedad del maní en la hilera desciende del 40-45% (al momento de arrancado) al 20-24%, después de cuatro a diez días de oreado (inicio del descapotado). Los restos vegetales vuelven al suelo mientras que las vainas (cajas) se depositan en la tolva de la descapotadora. Después de la cosecha, se suele realizar un barbecho verde (o verdeo de cobertura) con centeno o trigo para generar una cobertura vegetal y proteger el suelo de los vientos de agosto y lluvias de primavera, especialmente en zonas susceptibles a la erosión hídrica o eólica.

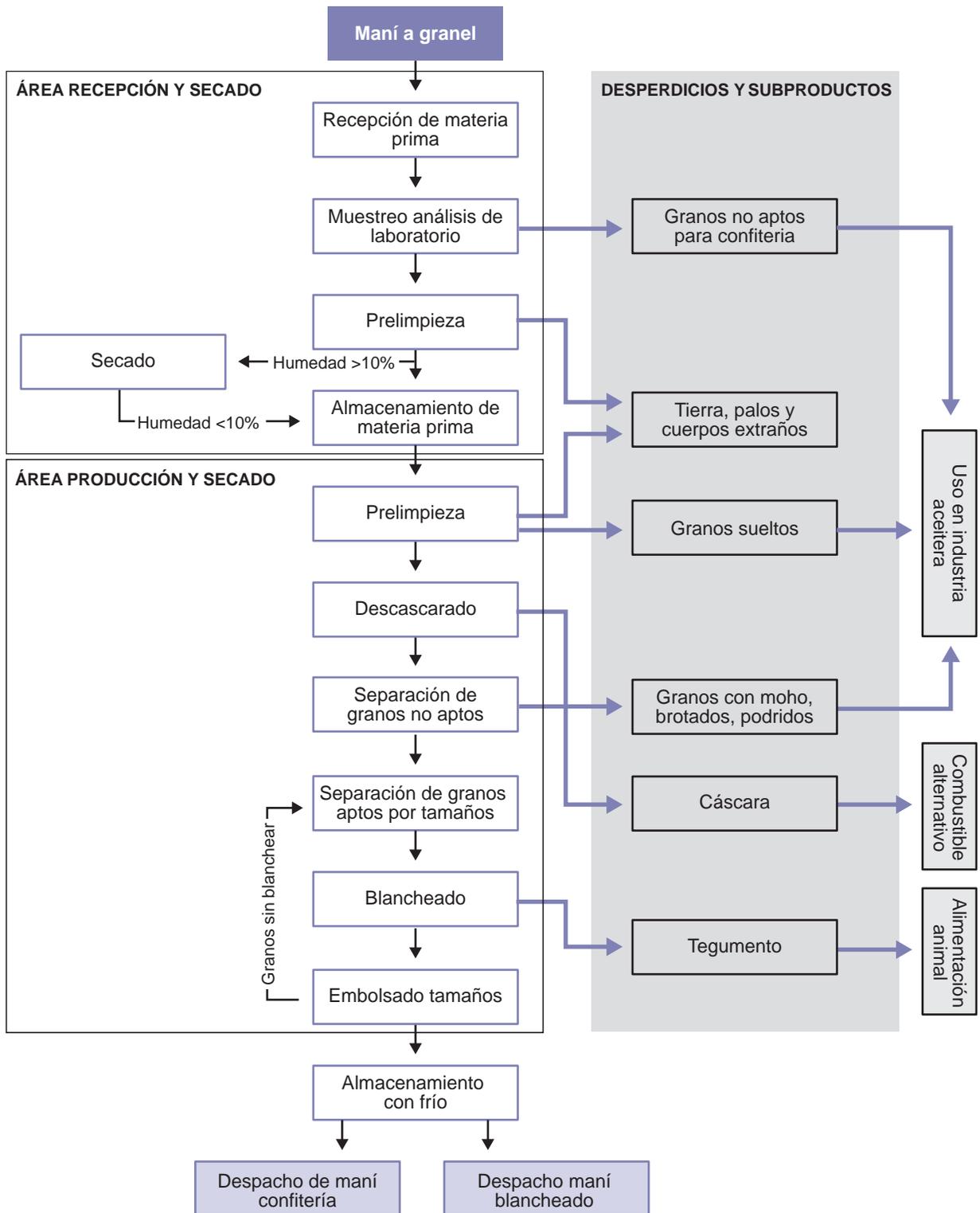


Figura 1. Operaciones dentro de la planta procesadora de maní.

Fase industrial (figura 1): el maní se comercializa en vainas, principalmente a granel, y es transportado desde el campo en camiones. Al ingresar a la planta procesadora, los camiones son pesados en una báscula y se extrae una muestra según la Norma de Calidad para la Comercializa-

ción de Maní, Resolución 12/99 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Si no reúne los requisitos para maní confitería, no se admite la descarga y se destina a la industria aceitera. Si reúne los requisitos para maní confitería, se ingresa en planta, y se inician los

Compañía	C5	C4	C3	C2	C1
Producción (%)	47,91%	6,43%	18,95%	13,84%	12,86%
Cultivo de maní					
Rendimiento (t/ha)	3,05	3,50	3,05	4,79	3,05
Precipitaciones durante el ciclo (m ³ por UF)	2525	1710	2960	1120	1340
Uso de vehículo (km por UF)	6,54	12,86	4,72	15,87	3,41
Uso de vehículo (kg diésel por UF)	0,55	1,29	0,44	1,20	0,26
Transporte de semillas, por camión (tkm)	47,50	32,50	37,50	16,56	47,79
Transporte de semillas, por camión (kg diésel por UF)	0,22	0,13	0,17	0,09	0,25
Siembra del maní (kg de semilla por UF)	40,98	42,62	40,98	28,21	44,26
Siembra del maní (kg diésel por UF)	0,90	1,59	1,27	0,76	2,13
Tractor, producción (kg por UF)	0,13	0,10	0,13	0,08	0,13
Sembradora, producción (kg por UF)	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06
Tinglados (m ² por UF)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Protección del cultivo					
Pulverización (kg diésel por UF)	1,17	1,31	0,75	0,86	1,34
Pulverizadora, producción (kg por UF)	0,32	0,19	0,32	0,14	0,22
Tinglados (m ² por UF)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Agua de pozo para pulverizar (L por UF)	252	249	420	167	420
Glifosato (kg por UF)	0,87	0,64	0,47	0,35	0,56
Adherente (kg por UF)	0,01	0,16	0,12	0,11	0,18
Herbicidas, otros (kg por UF)	0,57	0,40	0,50	0,27	0,42
Insecticidas, otros (kg por UF)	-	-	0,001	-	-
Lactophen (kg por UF)	-	-	-	0,02	0,04
Fungicidas (kg por UF)	0,14	0,12	0,16	0,14	0,14
2,4-DB (kg por UF)	0,10	0,24	0,11	0,14	0,22
2,4-D (kg por UF)	0,26	0,25	0,17	0,15	0,23
Ácido fosfórico (kg por UF)	0,34	0,01	-	0,01	0,02
Aceite mineral (kg por UF)	0,66	0,29	0,36	0,21	0,33
Bidones HDPE (kg por UF)	0,16	0,14	0,19	0,10	0,16
Cosecha					
Arrancado (kg diésel por UF)	3,05	2,66	1,91	1,34	3,66
Tractor, producción (kg por UF)	0,13	0,40	0,13	0,31	0,48
Arrancadora, producción (kg por UF)	0,05	0,16	0,05	0,12	0,19
Tinglado (m ² por UF)	0,13	0,004	0,001	0,003	0,004
Descapotado (kg diésel por UF)	4,57	3,45	3,19	3,48	4,57
Tractor, producción (kg por UF)	0,13	0,40	0,13	0,38	0,60
Descapotadora, producción (kg por UF)	0,06	0,19	0,06	0,19	0,29
Tinglado (m ² por UF)	0,001	0,004	0,001	0,003	0,01
Cultivo de cobertura					
Siembra (kg de centeno por UF)	9,84	-	13,11	-	26,23
Siembra (kg diésel por UF)	1,98	-	0,46	-	0,17
Tractor, producción (kg por UF)	0,25	-	0,13	-	0,02
Esparcidora, producción (kg por UF)	0,02	-	0,01	-	0,002
Tinglado (m ² por UF)	0,002	-	0,001	-	0,00002
Transporte					
Del campo a la industria (kg diésel por UF)	5,21	5,07	5,49	3,59	4,86
Flujo de residuos finales					
Bidones de HDPE (kg por UF)	0,16	0,14	0,19	0,10	0,16

Tabla 1. Inventario de las compañías relevadas (C5 a C1) en la producción primaria.

procesos industriales. La prelimpieza se realiza mecánicamente. Una máquina limpiadora típica cuenta con un sistema de aspiración y de zarandas.

El segundo proceso es el de secado mecánico. La humedad del maní se suele mantener por debajo del

10% para prevenir el desarrollo de hongos que producen aflatoxinas. Este contenido de humedad es difícil de alcanzar con el secado natural a campo, ya que también pierden humedad los tallos y las cajas, lo que reduce la eficiencia de la descapotadora. El secado normalmente

Compañía	C5		C4		C3		C2		C1	
Recepción, prelimpieza, acopio y secado	Input	Output								
Maní en caja (sucio)	1000		1000		1000		1000		1000	
Material extraño		39,60		98,80		58,20		49,20		119,90
Tierra		29,70				70,40		36,60		
Humedad		19,90		18,00		25,60		25,60		21,70
Muestreo (va a molino aceitero)		1,10		1,10		1,10		1,10		1,10
<i>Maní que va a descascarado</i>		910		882		845		888		857
Electricidad (kwh)	27,40		21,90		13,70		17,30		9,40	
Gas natural (m³)	5,40		1,60		8,40		3,60			
GLP (propano) (kg)			0,30				0,30		4,10	
Diésel (L)	0,30				0,90					
Descascarado										
Maní en caja (limpio y seco)	910		882		845		888		857	
Tierra						5,90				42,90
Material extraño						31,00				
Otros residuos						25,00				
Cáscara		247,20		266,10		180,60		270,00		203,50
Maní que va a molino aceitero		148,30		127,70		130,70		123,40		76,40
<i>Maní descascarado</i>		514		488		471		494		535
Electricidad (kwh)	44,20		48,20		46,90		39,90		51,70	
Diésel (L)	0,40		1,00		1,00					
Almacenamiento en frío										
<i>Maní descascarado</i>	514		488		471		494		535	
Diésel (L)	0,0		0,50		0,20		0,70		0,80	
Electricidad (kwh)	5,80		6,30		4,20				5,80	
GLP (propano) (kg)							0,50		0,40	
Blancheado										
<i>Maní descascarado</i>	334		254		356		198		428	
Piel		11,70		5,20		6,40		10,90		7,50
Humedad		5,00		5,20		7,10				
Maní que va a molino aceitero		16,70		29,20		12,50				15,00
Maní blanchado		301		215		330		187		397
Electricidad (kwh)	10,00		10,60		11,70		10,10		9,90	
Gas natural (m³)	2,70		4,70		8,10		3,80		5,30	
Diésel (L)					0,0					
GLP (propano) (kg)							0,10		0,0	
Transporte										
Camión a puerto (km)	10				495		542		551	
Tren a puerto (km)	522									

Tabla 2. Inventario de procesamiento en las compañías relevadas (C5 a C1). Valores en kg, o en la unidad indicada.

se realiza en acoplados-tolva secadores con doble fondo, por el que se insufla aire natural (turbina) o caliente (turbina con un quemador), dependiendo de la humedad ambiental. El maní se seca hasta alcanzar el 10% de humedad. El proceso de limpieza también se realiza mecánicamente con una máquina equipada con un sistema de aspiración y de zarandas. El flujo de material a limpiar recibe una primera aspiración, que evita la formación de polvillo. Luego, una segunda aspiración remueve polvillo, ramas, hojas, cajas rotas y prepara el material para la clasificación que se hace a través de diferentes tipos de zarandas. Un tercer proceso de aspiración, combinado con cribas ajustables, permite que el maní pase a través de las aperturas, y que los cuerpos extraños sean barridos. Las cajas (vainas) limpias que salieron de la máquina de limpieza pasan al descascarado. Esta sección está equipada con cilindros descascaradores y cóncavos reemplazables. Simultáneamente, un sistema de aspiración remueve el polvillo y los fragmentos de vainas, equipado con una trampa para granos para evitar que se pierdan granos. Las vainas aspiradas caen a una expansión de la cámara de aspiración (ciclón), saliendo fuera del circuito. Este material es retirado por camiones. El maní obtenido del proceso de limpieza es sometido a la selección, que consta de tres etapas, según el grado de precisión: (A) Selección por vibradoras, donde las máquinas separan por diferencia de peso específico los granos sanos y los granos enteros, de los granos con moho, brotados o podridos, y los cuerpos extraños. (B) Selección electrónica, donde las máquinas electrónicas policromáticas separan los granos fuera de estándar, destinándolos a la industria aceitera. (C) Selección por tamañadoras, donde la selección se hace según el tamaño y las máquinas separan los granos de diferente calibre (número de granos por onza). El producto de esta etapa, que es el maní confitería, se envasa en bolsas de 25-50 kg (o big-bags de 1250 kg) y se almacena en cámara de frío hasta su despacho. El maní confitería obtenido puede ser blanchado. Para esto se transporta a una tolva de horno, atravesando cuatro zonas de calor con temperatura en forma ascendente entre 75° y 90 °C. Luego atraviesa dos zonas a temperatura ambiente, que permite la contracción del grano y el desprendimiento de la piel. El maní es alimentado a las peladoras que consisten en rolos con superficie rugosa para retener y aspiran la piel. Luego es alimentado a la electrónica (seleccionadora bicromática) la cual separa maní con daños visibles. El primer rechazo de la electrónica es transportado en elevador hasta la tolva que alimenta nuevamente al pelador, el segundo rechazo de electrónica es transportado en elevador y embolsado como maní industria. El maní aceptado por la electrónica se transporta hacia el elevador de embolsado. El maní atraviesa una zaranda que separa el maní entero del partido. Dicha zaranda al ser vibratoria actúa también como transporte. Al final de esta se encuentran colocadas trampas magnéticas para la retención de metales ferrosos. Finalmente, se transporta a tolva de embolsado de maní entero o tolva de maní partido.

Inventario ambiental

La tabla 1 muestra la información de inventario de las empresas productoras relevadas, junto con el flete del campo a la industria, mientras que la tabla 2 presenta los datos de las empresas procesadoras, incluyendo el flete de los productos finales hasta el puerto de exportación.

Producción primaria

La cantidad de CO₂ fijada por los cultivos depende de la materia seca que generan. En la fotosíntesis, las plantas convierten el dióxido de carbono y agua en glucosa (C₆H₁₂O₆) y oxígeno, de acuerdo a la siguiente reacción: 6 CO₂ (g) + 6 H₂O (l) --> luz solar --> 6 O₂ (g) + C₆H₁₂O₆ (g). Resolviendo esta ecuación de la estequiometría de la fotosíntesis (6CO₂+6H₂O = C₆H₁₂O₆ + 6O₂), las plantas fijan 1,47 g de CO₂ por gramo de materia seca del cultivo. Dado que la materia seca del maní es -en promedio- de 1,5 t MS/ha (Haro *et al.*, 2007), se puede deducir que la fijación de CO₂ en el cultivo de maní fue de 2,205 t de CO₂/ha. También se consideró la fijación de CO₂ por parte del verdeo de cobertura que se hace luego de la cosecha del maní. La materia seca del centeno es de 3,437 t MS/ha; por lo tanto la fijación de CO₂ en el verdeo de cobertura fue de 5,05 t de CO₂/ha (Bai-gorria y Cazorla, 2010). Finalmente, se obtiene una fijación total para una ha de campo sembrada con maní y luego con centeno como verdeo de cobertura, de 7,25 t de CO₂/ha. Sin embargo, y de acuerdo con la norma ISO 14067:2013 de Huella de Carbono, la fijación de CO₂ por la biomasa al inicio del cultivo, y la emisión de CO₂ por la biomasa en el punto de oxidación, al final del ciclo del cultivo, resultan en un balance neutro de emisiones de CO₂.

El modelo promedio ponderado de producción se basó en un rendimiento de 3,05 t/ha (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2013). La semillas son los mismos granos de maní, previamente clasificados y seleccionados por las propias empresas procesadoras, los cuales reciben un tratamiento con un polímero (peleteado/coating) y un fungicida. La cantidad de semilla sembrada es en promedio, 128 kg/ha o 42 kg/tonelada de maní cosechado, dato relevado en las visitas a campo. Las semillas son embolsadas en las mismas bolsas big-bags que transportan el maní confitería. Estos envases son devueltos y vueltos a usar, hasta que se rompen o descartan. Se considera que cada bolsa se usa 1,5 veces antes de ser descartada. Las semillas son transportadas en camiones desde las plantas industriales hasta el campo, 369 km considerando la ida y la vuelta. La siembra se lleva a cabo con una sembradora de siembra directa, con 16 surcos a 0,70 m, arrastrada por un tractor.

Se consideró la asistencia técnica, que incluye visitas de recorrida, de reconocimiento de malezas para control, de mensura y planimetría, viajes para trasladar los agroquímicos en cada una de sus aplicaciones, control del cultivo y viajes durante la cosecha. Se considera el uso de una camioneta y combustible diésel.

La pulverización se realiza con una pulverizadora auto-propulsada, según los tratamientos necesarios, entre siete

y nueve pasadas. Se usan -en promedio- 1280 litros/ha de agua durante todo el ciclo de cultivo, incluyendo la limpieza del equipo. El efluente resultante de la limpieza del equipo se redistribuye en el lote con la misma pulverizadora. Los productos agroquímicos utilizados, considerando los ingredientes activos, se muestran en la tabla 1. Las cantidades se relevaron en las visitas a campo. Los envases de agroquímicos pueden tener diferentes destinos. En algunos casos quedan distribuidos en los propios campos sin un destino cierto, en otros, se entregan para su reciclado. Para este estudio de caso, se consideró a los envases como residuo sólido tóxico, con una generación de 0,5 kg de plástico por hectárea.

El arrancado se lleva a cabo con una arrancadora – invertidora y un tractor de doble tracción. El descapotado se lleva a cabo con una descapotadora de arrastre, doble hileras (8 surcos) y un tractor de doble tracción.

El 94% de los productores relevados realiza barbecho verde o verdeo de cobertura, de los cuales el 49% siembra al voleo, y el 51% con sembradora. La cantidad de semillas efectivamente sembradas es de 33 kg/ha u 11 kg/t de maní cosechado.

Los consumos de combustible para todas las labores culturales se informan en la tabla 1. Además se considera la ocupación de una parte de un cobertizo donde se resguardan las máquinas de las inclemencias climáticas.

Fase procesamiento industrial

El traslado del maní desde los campos hasta las plantas procesadoras se realiza en camiones de alrededor de 22,5 toneladas. La distancia recorrida es de 369 km, que es valor medio estimado ida y vuelta, (los camiones van vacíos al campo y retornan llenos a su origen).

En la fase de recepción, prelimpieza, acopio y secado, el maní ingresa a la planta, y se seca, de acuerdo con su humedad. Debido a que para el secado puede utilizarse gas natural o gas licuado de petróleo (GLP), en este caso se considera el uso de una combinación de ambos combustibles. También se usa energía eléctrica para secar, tomada de la matriz energética nacional (gas natural: 44,5%, hidráulica: 35,5%, petróleo: 12,3%, nuclear: 5,9%, carbón: 1,8%) (Secretaría de Energía, 2014).

En esta etapa hay una pérdida de granos por el muestreo y análisis que se destinan a la industria aceitera, y también hay mermas de peso por la disminución de la humedad en el secado (2%) y por la prelimpieza, etapa de la cual se extraen palos y tierra (10%). La asignación de cargas a los flujos de salida de productos y subproductos se hizo en función al valor económico, los cuales se muestran en la tabla 3.

La segunda etapa de la industrialización del maní es el procesamiento, donde se separa la cáscara del grano y se seleccionan los granos según su tamaño y aptitud. Para este proceso se usa energía eléctrica. También se incluyen en esta etapa los consumos energéticos derivados de los servicios generales de planta, como ser: instalaciones

Producto	USD/t
Aceite esencial	5.000
Harina	2.500
Aceite refinado	1.500
Aceite	1.114
Blancheado	750
Descascarado	750
Maní para aceite	420
Piel	300
Expeller	280
Piel	150
Cáscara	10

Tabla 3. Factores de asignación económica.

del personal, laboratorios, transformadores con y sin carga (pérdidas), compresor, oficinas técnicas, pañol. En esta etapa hay pérdida de granos por no ser aptos para el proceso, los cuales se destinan a la industria aceitera (14%). También hay mermas de peso derivadas de la limpieza, etapa en la que se extrae tierra; y del descascarado, actividad en la que se quita un alto porcentaje del peso en cáscara (23%). Debido a que los subproductos son aprovechados, la carga ambiental del perfil se distribuye entre las tres salidas del proceso de acuerdo al valor económico. Se incluye el consumo de aceite lubricante usado en las máquinas y equipos para su mantenimiento. También es considerada el agua para riego del predio.

Luego del procesamiento (descascarado y selección) el maní pasa a almacenamiento. En esta etapa se usa energía eléctrica para mantener los granos a la temperatura adecuada. También se usa GLP y diésel para el funcionamiento de autoelevadores, minipalas, un camión volcador que saca la tierra de la planta y una camioneta usada para gestiones varias.

El maní almacenado se encuentra listo para ser despachado y vendido. Una parte de este producto es sometido a un proceso de blanchado donde se le quita la piel (tegumento). Para llevar a cabo este proceso, se utiliza energía eléctrica y calor, el cual es provisto a través de la quema de gas natural. Existen mermas en esta operación, por un lado la misma piel del maní (tegumento) que es usada para alimentación de animales. También hay una merma por selección del maní, de la que se extrae el maní para industria aceitera. Finalmente hay una merma por horneado, etapa de la que surge material volátil. La carga ambiental de este perfil se distribuye entre los productos y subproductos obtenidos de acuerdo al valor económico. Este maní blanchado se almacena en frío a la espera de su traslado hacia despacho. El maní almacenado, ya sea blanchado o sin blanchar es embalado en big-bags, con capacidad para 1250 kg. Estos bolsones son adquiridos en localidades de la misma provincia de Córdoba y trasladados hasta la industria manisera en un utilitario liviano.

Los granos de maní no aptos para comercializarse como confitería, se van separando del proceso como maní industria y se entregan a una aceitera para la producción de aceite de maní. El transporte de los granos se hace con camión, y se estimó un promedio de 55 km (ida y vuelta). El camión retorna vacío. Existen dos tecnologías para la extracción de aceite de los granos de maní: en frío y al solvente. Para este estudio se asumió que el 20% del aceite es prensado en frío y el 80% al solvente. El perfil ambiental del prensado del maní industria en frío se relevó en las visitas a planta, mientras que en el caso de la extracción al solvente, se tomó un perfil de la base de datos Ecolnvent versión 2.0 (Ecolnvent, 2014), adaptando los consumos energéticos para Argentina. Durante el procesamiento de los granos de maní industria, además del aceite, se obtiene otro producto denominado “expeller de maní” que se usa para alimentación animal; la carga ambiental del perfil se distribuye entre los dos productos obtenidos de acuerdo al valor económico.

Se tuvo en cuenta la infraestructura de la planta manisera. La infraestructura se consideró con una vida útil de 50 años, tanto edificios como maquinaria.

Traslado de producto terminado hasta puerto

Las big-bags conteniendo maní confitería, blanchado o sin blanchear son transportadas hasta el puerto de Zárate, desde donde se despachan hacia su destino final. El traslado se realiza en camiones de 22,5 toneladas. Se asume el recorrido de unos 1045 km (ida y vuelta). En el caso del aceite el transporte se realiza en tren, la misma cantidad de kilómetros. La tabla 4 brinda información detallada de las emisiones del transporte y de las demás etapas productivas del maní.

Valorización de subproductos

La cáscara de maní, luego de separada del grano, puede tener diferentes destinos, y atravesar diferentes operaciones, como la molienda para aumentar su densidad y facilitar su transporte. De acuerdo a la información relevada, se determinó que el 71% se destina a cogeneración de energía eléctrica y vapor, sin molienda previa y con transporte; el 27% se destina a valorización energética en horno cementero con molienda y con transporte en camión (440 km ida y vuelta); y el 2% restante se destina a

Kg CO ₂ eq por t de maní en caja	C5	C4	C3	C1+2*	Sector	STD
Total sin valorización de subproductos	229	236	256	254	237	13
Total con valorización de subproductos	-1,1	-4	110	93	41,1	61
Fase agrícola - producción primaria	92	80	79	85	87	6
Uso de vehículo	3	6	2	1	2	2
Siembra (semilla y siembra)	17	15	15	16	16	1
Producción de agroquímicos	19	17	14	15	17	2
Pulverización	7	7	7	7	7	0
Cosecha - arrancado	16	16	16	16	16	0
Cosecha - descapotado	19	19	19	19	19	0
Cultivo de cobertura (semillas y siembra)	12	0	6	11	10	3
Transporte	51	67	73	78	59	12
Del campo a la industria	33	22	35	31	32	6
De la industria al puerto	18	45	38	48	27	13
Fase industrial	87	90	105	90	91	8
Recepción, prelimpieza, acopio y secado	33	27	37	24	31	6
Descascarado y procesamiento	23	27	26	28	25	2
Almacenaje	4	5	3	7	5	2
Blanchado	12	16	26	21	17	6
Envasado	3	3	2	3	3	0
Producción de aceite y transporte	13	12	11	7	11	2
Valorización de subproductos	-231	-240	-146	-160	-196	48
Uso de la cáscara	-228	-239	-145	-160	-195	47
Uso de la piel	-2,3	-1,0	-1,3	0,0	-1,4	1

Tabla 4. Huella de Carbono por etapa y por compañía C1 a C5 (impacto en kg de CO₂ eq por t de maní en caja).

*Las compañías C1 y C2 se consideraron juntas. A pesar de que se relevaron por separado, se tomó esta decisión por falta de información en algunos procesos, y por similitudes en la operación de algunos procesos.

alimentación animal, sin molienda y sin transporte, porque se usa localmente.

Durante la cogeneración de electricidad y vapor existe un crédito ambiental, debido al aprovechamiento de la cáscara utilizada para generar energía eléctrica (7%), reemplazando a energía de la matriz argentina; y por el aprovechamiento como calor (57%), reemplazando a gas natural de red. Es decir que del total de energía contenida en la biomasa (17,6 MJ/kg de cáscara), el 7% se transforma en electricidad, el 57% en calor, mientras que el resto de la energía se pierde (Goti, 2015).

Por el lado del horno cementero, el crédito ambiental se consigue por evitar el uso de otro combustible tradicional, que podría ser gas natural, fueloil, leña u otros. En este estudio se asumió que un 82% de la energía de la cáscara es aprovechada como calor reemplazando a gas natural, de acuerdo al poder calorífico de ambos recursos. Es decir que el 82% de la energía contenida en la cáscara reemplaza gas natural (18% se pierde).

En lo que respecta al destino alimentación animal, se produce un ahorro energético derivado de evitar el uso de fuentes de fibra alternativas como componente de la dieta, en este caso, rollos de rastrojo de sorgo, basado en una relación 1:1 de contenido de fibra (De Leon, 2014).

El tegumento se usa para alimentación animal. Se considera el reemplazo de harina de soja, en función al contenido de proteínas. El tegumento del maní tiene un 13% de proteínas, mientras que la harina de soja un 47% (Grosso, 2014).

RESULTADOS

Se construyó un modelo promedio ponderado del sector manisero argentino (ver "Sector" en tabla 4), según la participación en el mercado de las cinco empresas procesadoras relevadas. Estas industrias procesan el 46% de la producción total anual, es decir, 470.000 t de maní en caja, de un total de un millón de toneladas, las que resultan en

223.000 t de maní confitería. La tabla 4 muestra la contribución individual al potencial de calentamiento global de cada una de las fases, para las empresas 1 a 5 (C1...C5), el promedio ponderado del sector (Sector) y la desviación estándar (STD).

Los resultados del Análisis de la Huella de Carbono son: el cultivo de maní contribuye con 87 kg CO₂ eq (37%) y el procesamiento industrial con 91 kg CO₂ eq (38%), respectivamente, mientras que el transporte contribuye con 59 kg CO₂ eq (25%). El análisis también tiene en cuenta la valorización de los subproductos cáscara y tegumento, y si bien las operaciones para concretar la valorización presentan algunas emisiones, los ahorros derivados del reemplazo son de 196 kg CO₂ eq (-83%), por lo que la Huella de Carbono alcanza un valor final de 41 kg CO₂ eq.

Si no se tuviera en cuenta el ahorro ambiental por el uso de los subproductos, los resultados de la Huella de Carbono serían 237 kg CO₂ eq.

En la producción del cultivo a campo, el punto crítico fue la cosecha (41%), debido a las emisiones por la combustión de gasoil, seguida por la producción de glifosato (8,8%), el pesticida más usado, que genera 10,5 kg CO₂ eq por kg de producto. Otros productos también generaron emisiones, tales como el herbicida 2,4-D y otros (9,3%) y los fungicidas (1,8%). El punto crítico en la fase industrial fue la recepción, prelimpieza, acopio y secado (34%), principalmente debido a la quema de GLP como fuente de energía para el calor. El transporte desde el campo a la industria (por camión) contribuyó con el 54%, y con 46% desde la industria hasta el puerto (por camión y por tren).

Resultados para productos elaborados

Solo una de las cinco industrias relevadas produce productos elaborados, que pueden ser vendidos directamente en puntos de venta, por lo que resultó de interés ampliar el estudio con una sola empresa para determinar la Huella

Kg CO ₂ eq / kg producto	Con valorización de subproductos	Sin valorización
Manteca de maní, todos los envases*	0,5	0,9
Manteca de maní, envase de 1/2 kg	0,8	1,2
Garrapiñada - praliné	0,7	1,0
Recubierto	0,7	1,0
Frito	0,4	0,7
Tostado	0,4	0,8
Aceite refinado	0,4	0,5
Aceite esencial	1,0	1,6
Harina	0,7	1,1
Grana	0,7	1,0

Tabla 5. Huella de Carbono de productos elaborados (kg de CO₂ eq por kg de producto).

*Promedio ponderado de manteca de maní envasada en envases plásticos, de acero, y en cajas de cartón con bolsas de polypropileno.

de Carbono de algunos productos tales como manteca de maní, maní tostado, maní frito, garrapiñada, maní recubierto, aceite refinado de maní, aceite esencial de maní, harina de maní y grana. Los resultados de la tabla 5 se expresan en kg CO₂ eq por kg de producto final, siguiendo la norma The International EPD® System, (2012).

La tabla 5 muestra los resultados para los productos considerados. El maní confitería y el maní blanchado se consideraron como insumo o ingrediente. Otros insumos fueron la energía (electricidad y gas natural), harina de trigo, azúcar, sal, aceite refinado, y packaging.

El packaging tiene un impacto significativo en los resultados, que se torna más importante cuando el producto se presenta en tamaños más reducidos. En algunos productos, tales como el maní recubierto, hay una contribución sustancial a los Gases de Efecto Invernadero (GEI) por parte de otros ingredientes, tales como harina, azúcar, sal, saborizadores, etc., representando el 50% del peso total. Dado que la asignación se basó en el valor económico, se puede observar, por ej., que el alto impacto del aceite esencial se explica principalmente por su alto precio.

Análisis de sensibilidad. Escenarios

Escenario 1: producción primaria con labranza reducida, en lugar de siembra directa. Si bien la mayoría de los campos que cultivan maní han adoptado la siembra directa como tecnología de trabajo, algunos de ellos aún mantienen la denominada "labranza reducida", que incluye algunas operaciones previas a la siembra, además de la aplicación de un paquete diferente de agroquímicos. Además este tipo de producción tiene un rendimiento 15% inferior a la siembra directa, aproximadamente. El resultado obtenido modelando este escenario, muestra un mayor impacto respecto al caso base, aunque de poca relevancia. Se trata de un 5% más de impacto, debido principalmente al menor rendimiento mencionado.

Escenario 2: traslado de producto terminado en tren, en lugar de la combinación camión más tren. Los relevamientos realizados en las industrias maniseras dan cuenta del uso de camiones como principal medio de transporte para el traslado de los productos ya industrializados hacia el puerto para su exportación. Debido a que existe una línea férrea que conecta la localidad de Gral. Deheza con el puerto de Rosario, se modela mediante este escenario el impacto ambiental de transportar la totalidad de la producción por tren. Los resultados indican que si bien la distancia recorrida no cambia, la utilización de un medio de transporte más "limpio" desde el punto de vista ambiental provoca una disminución en las emisiones asociadas al transporte y a la cadena del maní en su conjunto. La reducción es del 6% y se debe al menor consumo de combustible por tonelada y por kilómetro recorrido.

Escenario 3: reposición de nutrientes al suelo. La producción agrícola de maní trae aparejada la absorción de nutrientes del suelo por parte de la planta. Siguiendo el método del balance de nutrientes (IPNI, 2010) se estimó que

para un rendimiento de 30 t/ha, el maní se lleva 132,5 kg/ha de nitrógeno (N), 27,4 kg/ha de pentóxido de fósforo (P₂O₅); 40,3 kg/ha de óxido de potasio (K₂O); y 9 kg/ha de azufre (S). Para que el suelo quede en condiciones similares a las que tenía antes de la siembra del maní, es necesario reponer estos nutrientes, por lo que para este escenario se consideró el impacto de fertilizar el suelo con 288 kg de urea; 137,06 kg de fosfato diamónico (FDA); 67,20 kg de cloruro de potasio (ClK); y 50 kg de sulfato de calcio (CaSO₄). Se tiene en cuenta también el uso de un tractor y un fertilizador (Ecoinvent, 2014). Por un lado, los resultados indican que la producción y agregado de los fertilizantes generan un 160% más de impacto que en el caso base, manteniendo el rendimiento constante. Una limitante de este escenario es que no se consideraron los rendimientos marginales que se producirían por la reposición de nutrientes, porque este balance es un ejercicio teórico en el que se usaron datos de rendimiento promedio para la provincia de Córdoba, porque el cultivo de maní no se fertiliza en la práctica, y porque los modelos de simulación de rendimiento de maní escapan a los objetivos de este trabajo. Por otro lado, cabe mencionar que se analiza solo el impacto calentamiento global, sin considerar otros impactos que podrían verse beneficiados, tal es el caso del agotamiento de nutrientes de los suelos, ni tampoco la susceptibilidad de erosión de los suelos.

Se aprecia que los escenarios 1 y 2 no modifican sustancialmente el resultado del caso base, mientras que el escenario 3 sí lo hace. Los valores se exponen sin considerar la valorización de los subproductos del maní (cáscara y tegumento); para incluir este crédito habría que restarle a los valores de emisiones de CO₂ equivalente, 196 kg, obteniendo así los valores netos totales, tanto para el caso base, como para los escenarios.

CONCLUSIONES

Se analizó la Huella de Carbono de la cadena de valor del maní de Córdoba, Argentina. Este trabajo es el primero en calcular el potencial de calentamiento global (GWP) de la cadena del maní y sus productos. Los resultados se presentan para que puedan ser usados como un insumo de próximos trabajos de actualización como así también para que sirva de información de referencia para todos los productos alimenticios que usan el maní como ingrediente.

Los resultados del escenario base del Análisis de la Huella de Carbono permiten concluir que las dos principales etapas de la producción tienen aproximadamente el mismo impacto ambiental. Las etapas: producción primaria del cultivo y procesamiento industrial contribuyeron con el 37% y el 38%, respectivamente, al potencial de calentamiento global total de la cadena del maní, mientras que el transporte contribuyó con el 25%. La valorización de los subproductos reduce en -83% el GWP.

En la fase producción primaria del cultivo, hay potencial para optimizar el consumo del combustible diésel, espe-

cialmente durante la cosecha; como así también las cantidades de agroquímicos usados. Los puntos críticos en la producción primaria del cultivo son la cosecha (41%), la producción de glifosato (8,8%), seguido por el conjunto de otros herbicidas (9,3%), y los fungicidas (1,8%).

En la fase de procesamiento industrial, el punto crítico es la recepción, prelimpieza, acopio y secado (34%) debido al uso de combustibles fósiles, especialmente GLP en las plantas que no tienen acceso al gas natural. En la fase de transporte, desde el campo a la industria tiene mayor impacto (54%) que desde la industria al puerto (46%), debido a que el peso total transportado desde el campo a la industria es aproximadamente el doble que desde la industria al puerto, a pesar de que la distancia de esta última es aproximadamente el triple que la distancia desde el campo a la industria. Además, el transporte desde la industria al puerto tiene un menor impacto, por la combinación de camión y tren.

Con respecto a los productos elaborados, se concluye que cuanto menor sea el tamaño del envase, mayor será el impacto relativo. En algunos casos (garrapiñada y manteca en pote), el aporte del envase supera al del producto.

El análisis de sensibilidad muestra que la labranza reducida tiene un mayor impacto (+5%) que la siembra directa, debido a los menores rendimientos obtenidos (-15%). El transporte por tren tiene un menor impacto (-6%) que por camión. El balance de nutrientes aumenta el GWP en 159%, debido a la producción de urea (81%), fosfato diamónico (15%) y cloruro de potasio (3%).

Recomendaciones: por un lado, para optimizar el sistema de producción del cultivo, sugerimos que los productores minimicen la dosis de glifosato, en la que se ha encontrado una amplia variabilidad, porque este agroquímico tiene una Huella de Carbono de 10,5 kg por kg de producto. Por otro lado, sugerimos el uso de una esparcidora de semillas para el cultivo de cobertura, porque tiene un impacto significativamente menor que una sembradora de grano fino. La prelimpieza del maní en caja en el campo de origen puede ayudar a disminuir el transporte de tierra y material extraño. También debería evaluarse el secado del maní en caja en origen, tal como se hace en otros países, para evitar el transporte de humedad innecesaria. El sector se puede beneficiar de obras de infraestructura para la provisión de gas natural, ya que es una alternativa de menor impacto que el GLP. Existe un amplio potencial para formular proyectos de inversión para el aprovechamiento de la cáscara de maní, especialmente para aquellos que generen electricidad y calor. Deberían considerarse también estrategias y políticas públicas para extender el uso del tren como medio de transporte de cargas para todas las empresas procesadoras de maní. El packaging de los productos elaborados debería elegirse en función de su impacto ambiental.

Este análisis abre el camino para futuras líneas de investigación. Dentro de las limitantes de este estudio se puede mencionar que el cultivo de maní estudiado abarca una sola campaña de cultivo, comprendido en una rotación cada cuatro años con otros cultivos, tales como trigo, soja o maíz; o

bien con pasturas para producción animal. Un análisis integral del modelo de producción debería considerar el cultivo de maní como un componente más del sistema productivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto PNIND 1108074, Programa Cultivos Industriales, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en convenio con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Este estudio fue posible gracias a la información detallada, valiosa y crítica provista por las empresas miembros de la Cámara Argentina del Maní, las que dedicaron una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo para contestar el relevamiento y recibir los visitantes. La presentación de este trabajo en la VI International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America (CILCA 2015) fue financiada por la Fundación Maní Argentino y por la Universidad Católica de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- BAIGORRIA, T.; CAZORLA, C. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- BOLSA DE CEREALES DE CÓRDOBA. 2013. Departamento de Información Agroeconómica. Informe Especial N.º 54. Producción del cultivo de maní 2012/2013. (Disponible: <http://www.bccba.com.ar/> verificado: 15 de diciembre de 2016).
- BONGIOVANNI, R.; MORANDI, J.; TROILO, L. 2012. Competitividad y calidad de los cultivos industriales: caña de azúcar, mandioca, maní, tabaco, té y yerba mate. Ediciones INTA. Manfredi, Córdoba, Argentina.
- BRUE, S. L.; MCCONNELL, C.R. 2002. Economics. Principles, Problems and Policies (15th ed.). Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- DE LEON, M. 2014. Investigador en Producción Animal, INTA Manfredi. (R. Bongiovanni, entrevistador). ECOINVENT. 2014. Database version 3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (Disponible: <http://www.ecoinvent.org/>).
- ENVIRONMENTAL WORKING GROUP. 2011. Meat Eaters Guide. Methodology. (Disponible: <http://www.ewg.org/meateatersguide/> verificado: 15 de diciembre de 2016).
- GOTI, D. 2015. Cogeneración de energía en Aceitera General Deheza, Córdoba, Argentina. Probiomasa. (Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=oQbWP-dCA0M> verificado: 15 de diciembre de 2016).
- GROSSO, N.R. 2014. Investigador, Universidad Nacional de Córdoba. (R. Bongiovanni, entrevistador).
- GUINÉE, J.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. D.; HUIJBREGTS, M. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- HARO, R.; OTEGUI, M.E.; COLLINO, D.; DARDANELLI, J. 2007. Environmental effects on seed yield determination of irrigated peanut crops: links with radiation use efficiency and crop growth rate. Field Crops Research, 103, 217-228.

IPNI. 2010. Soil Fertility Manual. Peachtree Corners, GA 30092, EUA: International Plant Nutrition Institute (IPNI).

ISO. 2006. ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, International Organization for Standardisation (ISO).

ISO. 2013. ISO 14067: Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication. International Organization for Standardization (ISO).

PRÉ-CONSULTANTS. 2014. Simapro software. Países Bajos. (Disponible: <https://www.pre-sustainability.com/simapro>).

RAMSEY, S. 2010. American Peanut Council Sustainability Initiative. Keystone Report - Final Results - U.S. Peanut Resource Efficiency Measures All Regions. (Disponible: <http://www.peanut-susa.com/MainMenu/Industry-Research/Sustainability> verificado: 15 de diciembre de 2016).

SECRETARÍA DE ENERGÍA. 2014. Matriz energética nacional de Argentina. (Disponible: <http://www.energia.gov.ar/home/> verificado: 15 de diciembre de 2016).

SIMAPRO. 2014. PRé Consultants. Life Cycle Assessment Software version 8.0.3.14. (Disponible: <http://www.pre-sustainability.com/>).

THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM. 2012. Environmental Product Declaration. Product Category Rules (PCR) Fruits and Nuts. The International EPD® System Estocolmo, Suecia.:

UNCOMTRADE. 2015. United Nations Commodity Trade Statistics Database. (Disponible: <http://comtrade.un.org/db/> verificado: 15 de diciembre de 2016).

USDA. 2015. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Production, Supply and Demand Online. (Disponible: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx> verificado 15 de diciembre de 2016).

Lista de evaluadores 2016 (RIA, Vol. 42)

Los directores y el Comité Editorial de la Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) agradecen el acompañamiento de los siguientes profesionales. Su colaboración es de vital importancia para que la publicación goce de la más alta calidad y prestigio internacional en las disciplinas que publica.

Alejandro Rago	Marcos Giménez Zapiola
Alicia Granger	Maria Lorena Lacopini
Atilio Barneix	Marta Colabelli
Carolina Torres	Marta Miravalles
Celina Inés Borrajo	Milena Manzur
Claudia Vega	Mirta Daz
Daniel Casanovas	Mónica López Pereira
Daniel Vázquez	Nadia Arias
Fernando Andrade	Natalia Aguilar
Francisca Perera	Oswaldo Balbuena
Francisco La Rossa	Patricia Cornaglia
Gabriel Rech	Peter Searles
Hernán Vila	Roberto Antonio Sopena
José Carronca	Roberto De Ruyver
Juan Aller	Roberto Rubio
Juan Mattera	Rocío Soledad Martínez
Juan Pablo Edwards Molina	Santiago Callejas
Leonardo Minatel	Sivia Suhrine
Lidia Beatriz Donato	Sebastián Munilla Leguizamón
Luis Leite	Silvina Estela Pastor
Luis Morales	Susana Beatriz Perelman
Manuel Alvarez Alonso	Teresa Boca
Marcela Fabiana Gonzalez	Violeta Becerra

Pestivirus emergente HoBi, impacto en la salud animal y su importancia como contaminante de insumos biotecnológicos

Pecora, A.; Pérez Aguirreburualde, M.S.; Malacari, D.A.; Zabal, O.; Bauermann, F.; Ridpath, J.; Dus Santos, M.J.

Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos

Di Benedetto, A.; Tognetti, J.

Aspectos bio y agroclimáticos de la vid para vinificar en el valle Inferior del Río Negro

Del Barrio, R.A.; Gallo, S.L.; Martín, D.M.

Atmósferas controladas dinámicas: una alternativa para el control de la escaldadura superficial en peras

Candan, A.P.; Calvo, G.

Determinación del tamaño muestral para el seguimiento poblacional de tisanópteros (Insecta) en plantaciones tabacaleras de la provincia de Jujuy, Argentina

Rodríguez, S.O.; Zamar, M.I.

Beneficio del progreso genético en ovinos de la Argentina

Mueller, J.P.; Vozzi, P.A.; Giovannini, N.; Álvarez, J.M.

Modelación de la calidad nutritiva de pasturas defoliadas

Insúa, J.R.; Agnusdei, M.G.; Machado, C.F.; Berger, H.

Huella de carbono de la cadena de maní en Argentina

Bongiovanni, R.; Tuninetti, L.; Garrido, G.



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación